

Периодическая система элементов

1s	1	2
	H	He

1.008 4.003

1	2											13	14	15	16	17	18			
s		3	4									p								
		Li	Be										B	C	N	O	F	Ne		
		6.941	9.012										10.811	12.011	14.007	15.999	18.998	20.180		
		11	12										Al	Si	P	S	Cl	Ar		
		Na	Mg										26.982	28.086	30.974	32.066	35.453	39.948		
		22.990	24.305										31	32	33	34	35	36		
		19	20										Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
		K	Ca										69.723	72.61	74.922	78.96	79.904	83.80		
		39.098	40.078										39	40	41	42	43	48		
		37	38										Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Cd		
		Rb	Sr										88.906	91.224	92.906	95.94	(98)	101.07		
		85.468	87.62										44	45	46	47	48	112.411		
		55	56										Lu	Hf	Ta	W	Re	Pt		
		Cs	Ba										71	72	73	74	75	78		
		132.905	137.327										174.967	178.49	180.948	183.85	186.207	190.2		
		87	88										103	104	105	106	107	108		
		Fr	Ra										Lr	Ku	Ns	(262)	(263)	(?)		
		(223)	226.025										(260)	(261)	(262)	(263)	(?)	(?)		
f	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII					I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70						
	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb						
	38.906	140.115	140.908	144.24	(145)	150.36	151.965	157.25	158.925	162.50	164.93	167.26	168.934	173.04						
	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102						
	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No						
	227.028	232.038	231.036	238.029	237.048	(244)	(243)	(247)	(247)	(251)	(252)	(257)	(258)	(259)						

THE ELEMENTS

SECOND EDITION

Written and compiled by

JOHN EMSLEY

*Science Writer in Residence,
Imperial College, London
Visiting Professor in Chemistry
King's College, London*

CLARENDON PRESS · OXFORD
1991

Дж. Эмсли

Дж. Эмсли

Элементы

Перевод с английского
Е.А. Краснушкиной



Москва «Мир»
1993

Предисловие ко второму изданию

При подготовке первого издания этого справочника я надеялся, что, если книга будет пользоваться успехом и потребуется ее переиздание, можно будет ограничиться исправлением ошибок и добавлением новых данных. Я не ожидал тогда, что вопрос о втором издании встанет через два года. Однако реакция читателей и рецензентов сделала это необходимым.

В первом издании я, естественно, стоял на позиции чистого химика: информация о каждом элементе давалась как о целом атоме и его составляющих, т.е. от ядра "наружу". Иными словами, имелись разделы об ядерных свойствах, свойствах электронных оболочек и свойствах собственно веществ, которые я, следуя традиции, подразделил на химические и физические. Приведено также краткое объяснение названия элемента, имя первооткрывателя, время и место открытия.

Но почему на этом нужно остановиться? Сведения об элементах важны для биологов, медиков, геологов и даже специалистов по мировой экономике. Это учтено во втором издании. Здесь появился раздел "В окружающей среде (биологическая роль, распространенность, геологические сведения)". Указана распространенность на Солнце, в земной коре и в океанах; приведены важнейшие руды или источники элементов, данные о годовом производстве и указаны известные запасы; дана информация о биологической роли элементов для живых организмов, их уровнях содержания в крови, костной и мышечной тканях человека, а также среднее суточное потребление и токсическая (и даже летальная) доза.

Во второе издание добавлены данные о двух элементах - 104 и 105 (хотя информация о них весьма ограничена). Уменьшен объем таблиц в конце книги - остались только те, которые полезны в целях обучения или сравнения свойств. И в конце я поместил вопросник, который читатель может заполнить и послать издателю.

При подготовке второго издания я хотел бы поблагодарить всех, откликнувшихся на первое издание - своими критическими замечаниями, поддержкой, советами и помощью. Это: Т.А.Бэк, С.Б.Балига, Р.Е.Бэнкс, М.Берри, Ф.Брайтигам, П.Дж.Брюс, Р. де Паскаль, Дж.Диллон, Дж.Б.Фармер, Ф.Галуей, Н.Н.Гринвуд, М.Гриффин, Э.Гримбл, Т.К.Хэлстед, В.Ф.Харриган, Д.А.Харрис, А.Ф.Харрисон, Л.А.Хоббс, М.Кенуорд, Дж.Кинг, А.Лекиш, Д.Мак-Кэри, Д.Марджерисон, Р.Мейсон, П.Г.Нельсон, С.К.Найбург, Дж.Томас, Д.Р.Тэрнер, Дж.Уэхтер и М. Уитфилд.

Особую благодарность я хотел бы выразить администрации издательства Oxford University Press, Альфреду и Изабель Бейдер из Aldrich Chemical Company и Маршаллу и Мэри Смоли из Macfarland Smith, без которых первое издание не получило бы такого успеха, который оно имело. Наконец, я благодарен моей дочери Элен за ее практическую помощь и, что очень важно, моей жене Джоан за ее поддержку и за многое другое.

Лондон
Сентябрь 1990

Дж.Э.

ББК 24.12
Э58
УДК 541.43

Эмсли Дж.
Э58 Элементы: Пер. с англ. - М.: Мир, 1993. - 256 с., ил.
ISBN 5-03-002422-0

Справочник, составленный автором из Великобритании, не имеет аналогов в мировой научной литературе. Содержит разнообразные и весьма ценные данные о химических, физических и некоторых биологических свойствах, а также сведения об истории открытия, происхождении названия и некоторую геологическую информацию о химических элементах.

Для широкого круга читателей: научных работников, студентов, аспирантов, преподавателей высшей и средней школы.

Э 1704000000 - 121
041(01) - 93 КБ-52-92-339

ББК 24.12

Редакция литературы по химии

Федеральная целевая программа книгоиздания России

Справочно-энциклопедическое издание

Джон Эмсли

ЭЛЕМЕНТЫ

Заведующий редакцией академик О.А. Реутов

Зам. зав. редакцией Т.И. Почкаева

Ведущий редактор Т.И. Почкаева

Редактор О.А. Половнева

Художник Ю.С. Урманчеев

Художественные редакторы Н.В. Дубова, Л.М. Аленичева

ИБ № 7831

Оригинал-макет подготовлен на персональном компьютере И.И. Массухом.

Лицензия Л.Р. № 010174 от 22.01.92 г.

Сдано в набор 15.06.93. Подписано к печати 15.10.93. Формат 70x100/16. Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура таймс. Объем 8 бум. л. Усл. печ. л. 20,80. Усл. кр.-отт. 21,45. Уч.-изд. л. 21,61. Изд. № 3/8114. Тираж 30000 экз. Заказ 857. С121.

Издательство "Мир" Министерства печати и информации Российской Федерации. 129820, ГСП, Москва, И-110, 1-й Рижский пер., 2.

Можайский полиграфкомбинат Министерства печати и информации Российской Федерации. г. Можайск, ул. Мира, 93.

ISBN 5-03-002422-0 (русск.)
ISBN 0-19-855568-7 (англ.)

© John Emsley 1989, 1991
© The book was originally published in the English language by Oxford University Press, Oxford, England

© Перевод на русский язык, Краснушкина Е.А., 1993

Предисловие к первому изданию

Большинству хорошо известно, что все вокруг состоит из ограниченного числа химических элементов. Ученые, почти без исключения, чаще или реже нуждаются в той или иной информации о химических элементах (простых веществах), и удивительно, что такого рода информацию бывает не так-то легко найти. Даже химикам иногда сложно отыскивать некоторые сведения об элементах. Химики имеют в своем распоряжении отличные подборки цифровых данных, но, поскольку авторы этих подборок видят мир через призму неорганической, органической, аналитической или физической химии, справочники составлены соответственно.

Как ни странно, составление справочника по свойствам собственно элементов, видимо, не относится ни к чьим основным интересам. Этим только и можно объяснить столь долгое отсутствие такого; хочется надеяться, что книга, которую вы сейчас держите в руках, заполняет этот пробел. Ее следует рассматривать как общий справочник, к которому могли бы обращаться при необходимости ученые любой специальности. Широкий интерес к химическим элементам стал для меня очевидным, когда я несколько лет назад готовил для журнала "New Scientist" юбилейную "Периодическую таблицу", посвященную 150-летию Дмитрия Менделеева, предложившего в 1869 году периодическую систему элементов.

Я начал собирать сведения о химических элементах много лет назад. Сначала я просто купил общую тетрадь, примерно в сотню страниц, и вверху каждой страницы написал название элемента. С годами эта подборка цифровой информации о каждом элементе перестала удерживаться в переплете - появлялось все больше и больше вложенных в тетрадь дополнительных листочеков. Отредактированный вариант этой подборки вы сейчас и держите в руках. Здесь приведены не все данные о каждом элементе. Иначе и не могло быть, так как я был ограничен объемом: две страницы на один элемент, хотя и старался разместить на них как можно больше информации.

Для каждого элемента его свойства сведены в разделы о свойствах химических, физических, ядерных и электронных; даны также сведения об истории и происхождении названия, кое-что о распространенности и биологической роли. Все данные в основных таблицах выражены в единицах СИ, подробности о переводе их в другие часто используемые единицы измерения приведены в разделе "Как пользоваться справочником "Элементы".

Последняя часть книги включает сдвоенные таблицы свойств - в порядке атомных номеров элементов и упорядоченные по величине соответствующего свойства. Мне казалось, что такие таблицы полезны, так как при этом можно охватить по возможности все элементы для каждого свойства; ведь лишь для ограниченного набора свойств информация имеется для всех или большинства элементов.

Наконец, я не привожу явных обоснований для включения таблиц с такими "очевидными" данными, как алфавитный список элементов с химическими символами и алфавитный перечень химических символов с полными названиями. Необходимость этого я осознал, когда готовил свой вариант Периодической таблицы для "New Scientist". Многие ученые - нехимики полагают, что химики хотят слишком много; мы ведь сразу понимаем, что W - это вольфрам, а Sn - это олово, в то же время многие нехимики нуждаются в соответствующем подтверждении.

Лондон
Декабрь 1987

Дж.Э.

Как пользоваться справочником

Любопытное свойство численных данных в справочниках состоит в том, каким образом они меняются от одной книги к другой. Обычно имеют место отклонения порядка 2%, небольшие, но раздражающие. Необходимость стандартизации данных признана рядом организаций, таких, как Международный союз теоретической и прикладной химии (ИЮПАК) и Национальное бюро стандартов США (НБС). Когда такими авторитетными структурами созданы специальные комитеты для того, чтобы отбирать данные и решать, какие значения наиболее достоверны, моя задача как автора заметно облегчается. Например, таблицы термодинамических данных были взяты мною из книги, выпущенной НБС, а значения стандартных потенциалов восстановления - из публикаций ИЮПАК.

Вместо того чтобы включать в справочник альтернативные значения или диапазоны значений, я исходил из того, что можно полагаться на те данные, которые использовались хорошо известными специалистами - составителями справочников "CRC handbook of chemistry and physics" [1] и "Lange's handbook of chemistry" [2], даже если данные в этих справочниках приведены в единицах, отличных от СИ. Большие объемы химической информации содержатся также в книгах [3-6]. Далее будут указаны источники информации, пояснено использование единиц СИ и сделаны рекомендации для перевода приведенных данных в другие часто используемые на практике единицы.

Открытие, название и относительные атомные массы

Официальной организацией, отвечающей за одобрение присвоенных элементам названий и формул и аутентичность их атомных масс, является ИЮПАК. Принятые в США названия алюминия (*aluminum*) и цезия (*cesium*) так близки к рекомендованным (*aluminium* и *caesium*), что это не создает проблем, кроме той, что в случае цезия несколько меняется положение элемента в алфавитном списке. Эти изменения описаны в издаваемом ИЮПАК журнале "Pure and Applied Chemistry", где печатается вся официальная информация. Приведенные в книге относительные атомные массы взяты из публикации [Pure and Applied Chemistry, 1986, 58, 1677].

Наиболее подробно история открытия элементов описана в книге Уикса и Лейсестера [Weeks M.E., Leicester H.M., Discovery of the Elements, Journal of Chemical Education, Easton, Penn., 1968]. Краткие очерки об открытии каждого элемента можно найти также в книге [1]. Кроме того, время от времени "Journal of Chemical Education" печатает великолепные статьи, посвященные истории отдельных элементов.

В публикациях Болла [Ball D.W., Journal of Chemical Education, 1985, 62, 787] и Старка и Уоллеса [Stark J.G., Wallace H.G., Education in Chemistry, 1970, 152] объясняется, как были даны названия химическим элементам.

**Химические
свойства**

Описание свойств

Краткое описание свойств элементов и их реакционной способности по отношению к воздуху, воде, кислотам и щелочам основано на данных, приведенных в работах [7-9]. Энциклопедия химических элементов [Encyclopedia of the chemical elements, ed. Hampel C.A., Reinhold Book Corporation, New York, 1968] дает очень подробные, хотя иногда и устаревшие сведения о применении всех элементов. Данные об

использовании лантаноидов взяты из книги Килбурна [Kilbourn J.T., Metallurgical applications of lanthanides and yttrium, Molycorp Inc., White Plains, NY, 1987].

Радиусы

Для перевода радиусов, указанных в пикометрах (пм), в метры нужно делить на 10^{12} ; для перевода в нанометры (нм) делить на 1000; в ангстремы (Å) - на 100.

Радиус атома зависит от ряда факторов: состояния окисления, степени ионизации и координационного числа (которое для металлов обычно равно 12). Если атом входит в молекулу, определяют два радиуса: ковалентный, характеризующий роль данного атома в образовании связи, и вандерваальсов, который относится к взаимодействию атома со всем окружающим миром вне молекулы. Значения этих радиусов приводятся во многих справочниках и пособиях (по-видимому, лучшие [2, 4]).

Электроотрицательность

Эта характеристика плохо определена, хотя смысл ее вполне ясен. Она отражает способность атома притягивать к себе электроны. Чем выше электроотрицательность, тем сильнее эта способность. Фтор является наиболее электроотрицательным из всех элементов.

Значения электроотрицательностей были впервые рассчитаны Полингом; метод его расчетов основан на энергиях связей. Время от времени эти значения пересматриваются, например [Allred A.L., Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry, 1961, 17, 215]. В большинстве случаев в литературе, например [4], приводятся значения Полинга. Оллред со-вместно с Рочоу разработали альтернативный метод расчета исходя из эффективного ядерного заряда и ковалентного радиуса атома [Allred A.L., Rochow E.G., Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry, 1958, 5, 261]. Приведенные здесь значения (по Оллреду) уточнялись также другими авторами. Электроотрицательности, как по Полингу, так и по Оллреду, как правило, безразмерные величины.

Пирсон [Pearson R.G., Inorganic Chemistry, 1988, 27, 734] предложил шкалу абсолютной электроотрицательности, которая определяется как среднее из первого ионизационного потенциала и сродства к электрону для нейтрального атома. Обе последние величины были взяты Пирсоном в электрон-вольтах (эВ), следовательно, и значения абсолютной электроотрицательности получились в электрон-вольтах и в этих же единицах приведены здесь. Для пересчета из электрон-вольт в кДж/моль нужно умножить эти значения на 96,486. Значения электроотрицательности по обычной шкале лежат в диапазоне от 0 до 4, а для абсолютной электроотрицательности этот диапазон шире - от 0 до 10,41. Перевод абсолютной электроотрицательности в единицы СИ, как правило, ничего не прибавляет к существу дела.

Точный расчет абсолютной электроотрицательности f-элементов невозможен, так как для них неизвестны точные значения сродства к электрону; известно только, что оно ≤ 50 кДж/моль. Поэтому к значениям абсолютной электроотрицательности индивидуальных f-элементов следует относиться с осторожностью. Для инертных газов абсолютную электроотрицательность можно рассчитать более точно, и для криптона (6,8 эВ) и ксенона (5,85 эВ) эти значения имеют смысл, поскольку известны соединения данных элементов. Можно привести также значения абсолютной электроотрицательности для гелия, неона и аргона, из которых следует, что эти элементы обладают очень высокой электроотрицательностью (например, для гелия 12,3 эВ). Поскольку они не образуют молекул, значения электроотрицательности приведены в квадратных скобках.

Эффективный заряд ядра Z_e

Аналогично электроотрицательности эту характеристику легче осмыслить, чем рассчитать. Хотя величину Z_e можно вычислить для любого электрона, вращающегося вокруг ядра, химики интересуют лишь значения Z_e относительно электронов валентной оболочки. Z_e - это заряд, создаваемый протонами и уменьшенный в результате экранирования остальными электронами атома. Существует ряд несколько отличающихся способов оценки этого экранирования и соответственно набор значений Z_e . Такие значения были вычислены Слейтером [Slater J.C., Physical Reviews, 1930, **36**, 57]; Клементи и Раймонди [Clementi E., Raimondi D.L., Journal of Chemical Physics, 1963, **38**, 2686]; Клементи, Раймонди и Райнхардтом [Clementi E., Raimondi D.L., Reinhardt W.P., Journal of Chemical Physics, 1967, **47**, 1300] и Фрезе-Фишером [Froese-Fisher C., Atomic Data, 1972, **4**, 301; Atomic Data and Nuclear Data Tables, 1973, **12**, 87].

Стандартные потенциалы восстановления E°

На приведенных в справочнике схемах степень окисления элемента уменьшается слева направо. Значения потенциалов даны в вольтах. Чем выше значение E° , тем больше окислительная способность элемента-окислителя в данной реакции; чем меньше E° , тем слабее восстановитель. Эти схемы взяты из справочника [Standard potentials in aqueous solutions, Bard A.J., Parsons R., Jordan J. (eds), Marcel Dekker (for IUPAC), New York, 1985]. Значения E° можно также найти в работах [1-6].

Состояния окисления

Будучи во многом формальным, понятие степени окисления все же широко используется при описании изменений, происходящих с элементом в ходе химических реакций. Следовательно, это дает удобный способ классификации и описания соединений элемента. Из множества соединений, известных для элементов в различных степенях окисления, я счел нужным по возможности привести здесь формулы оксидов, гидроксидов или кислот, гидридов, фторидов и хлоридов ("и т.д." после хлоридов означает соответствующие бромиды и иодиды), а также формулы частиц, существующих в водных (aq) растворах солей элемента. Приведены также формулы характерных солей, комплексов и металлоорганических соединений; в других случаях указано лишь, что такие соединения существуют (детали можно найти в работах [7-9]).

Ковалентные связи

Для перевода длин связей r , указанных в пикометрах, в метры нужно делить на 10^{12} ; для перевода в нанометры (нм) делить на 1000; для перевода в ангстремы (Å) делить на 100. Для перевода энергий (энталпий) связей E , указанных в кДж/моль, в ккал/моль нужно делить на 4,184.

Данные взяты из разных источников, а именно длины связей - из работ [1, 4], энергии связей - из [1, 3, 4] и справочника [Bond energies, ionization potentials and electron affinities, Vedeneev V.I., Gurvich L.V., Kondrat'yev V.N., Medvedev V.A., Frankevich Ye.L., Edward Arnold, London, 1966; Веденеев В.И. и др. Энергии разрыва химических связей. Потенциалы ионизации и сродство к электрону. - М., 1962]. Для многих связей r и E приведены также в [SI chemical data, Aylward G.H., Findley T.J.V., Wiley, Sidney, 1971].

Физические свойства

Температуры плавления и кипения

Эти значения приведены в кельвинах (К). Их можно перевести в градусы Цельсия ($^{\circ}\text{C}$), вычитая 273,15. Данные взяты из работы [1], с небольшими вариациями эти данные можно найти также во всех основных справочниках [2-9]. Для газов приведены также критическая температура, критическое давление и критиче-

ский объем. Давления приведены в килопаскалях (кПа); чтобы перевести их в бары, нужно делить на 100, для перевода в мм рт.ст. умножить на 7,500; для перевода в атмосферы делить на 101,325. Данные взяты из книги [The properties of gases and liquids, Reid R.C., Prausnitz J.M., Sherwood T.K., 3rd edn., McGraw-Hill, New York, 1977].

Энталпии плавления $H_{\text{пл}}$ и испарения $H_{\text{исп}}$

Эти значения приведены в кДж/моль, их можно перевести в ккал/моль, путем деления на 4,184. Данные взяты в основном из работы [1] (где они приведены в единицах СГС), а также из работ [4,6] (в единицах СИ). Для $\Delta H_{\text{исп}}$ данные взяты главным образом из работы [6].

Термодинамические свойства

Для перевода значений, приведенных в кДж/моль, в ккал/моль нужно делить на 4,184; для перевода энтропии из Дж/(моль·К) в ед. СГС, т.е. кал/(моль·К), также делить на 4,184. Чтобы перевести удельную теплоемкость C_p в кал/(г·К), нужно разделить сначала на 4,184, а затем на относительную атомную массу данного элемента.

Термодинамические параметры взяты из справочника [The NBS tables of chemical thermodynamic properties, Wagman D.D., Evans W.H., Parker V.B., National Bureau of Standards, Washington DC, 1982], подготовленного для НБС совместно Американским химическим обществом (American Chemical Society) и Американским институтом физики (American Institute of Physics). Хотя термодинамические параметры элементов можно найти и в работах [1-5], таблицы, составленные НБС, предпочтительнее, и данные в них приведены в единицах СИ.

Плотность

Поскольку в СИ основная единица массы - килограмм (кг), длины - метр (м), в качестве единицы плотности следует использовать кг/м³. Более часто, однако, употребляется размерность г/см³; для перехода к этой размерности нужно делить на 1000.

Во многих литературных источниках (например, [2]) приводятся плотности только при одной температуре (конкретно 293 К), а в других (например, [6]) - при различных температурах и в единицах СИ. Приводимые нами плотности для элементов в твердом состоянии взяты в основном из работы [1]. Там же можно найти плотности для жидкостей при их температуре плавления, собранные Лангом.

Теплопроводность

Единица СИ для этой величины - Вт/(м·К); для перевода в Вт/(см·К) надо делить на 100.

Данные взяты из работы [Ho C.Y., Powell R.W., Liley P.E., Journal of Physical Chemistry Reference Data, 1974, 3, suppl.1]. Для углерода (в направлениях, перпендикулярных и параллельных осям в графите) данные взяты из работы [1]. Данные по теплопроводности можно найти также в работе [2].

Электрическое сопротивление

Единица СИ для этой величины - Ом·м, электрическое сопротивление металлов имеет порядок 10⁻⁸ Ом·м. Для перехода к наиболее часто используемой размерности мкОм·см нужно умножить значения в Ом·м на 10⁸.

Данные взяты из работы [1]. В работе [6] (с. 102-103) также приведены электрические сопротивления (в Ом·м) при температурах 78, 273, 373, 573 и 1473 К. Значения в единицах, отличных от СИ, можно найти в работе [3] (с. 580-684).

Удельная магнитная восприимчивость χ

Значения рассчитаны из объемной магнитной восприимчивости (безразмерной величины) путем деления на плотность (в кг/м³). Чтобы перевести массовую магнитную восприимчивость в единицах СИ (м³/кг) в единицы СГС (см³/г), нужно умножить на $1000/4\pi$, т.е. на 79,6. Для перехода к мольной магнитной восприимчивости надо умножить на 79,6 и относительную атомную массу элемента. Использование единиц СИ для магнитных характеристик вещества обсуждается в работе [Quickenden T.I., Marshall M.C., Journal of Chemical Education, 1972, **49**, 114.]

По магнитной восприимчивости данные взяты из книг [Constantes selectionnees. Diamagnetisme et paramagnetisme, Foex P., Masson et Cie, Paris, 1957; Modern magnetism, Bates L.F., 4th ed., Cambridge University Press, Cambridge, 1963]. Данные для некоторых лантаноидов взяты из работы [Lock J.M., Proceedings of the Physical Society, 1957, **B70**, 476, 566]. В работе [1] приведены значения мольной магнитной восприимчивости в единицах СГС.

Температурный коэффициент линейного расширения α

Единицы измерения этой величины одинаковы как в системе СИ, так и в СГС, а именно К⁻¹. Часто ее значения даются как $10^8\alpha$. Данные взяты из работы [3] (с. 580-684).

Мольный объем (или атомный объем)

Выражение этой величины в системе единиц СИ представляет некоторую проблему, поскольку единица объема в СИ - это м³. Традиционно атомный объем получают, как частное от деления относительной атомной массы элемента (в г) на плотность (в г/см³), следовательно, в см³. Чтобы выразить мольный объем в м³, нужно умножить на 10⁶. Однако выражение его таким образом подразумевает, что плотность измеряется в г/м³, что отнюдь не является общепринятым.

Поскольку атомные объемы элементов зависят от плотности, они также зависят от фазового состояния, аллотропной модификации и температуры. Здесь данные относятся по возможности к твердому веществу при комнатной температуре (298 К) или для указанных условий и взяты главным образом из работы [Singman C.N., Journal of Chemical Education, 1984, **61**, 137].

Тип кристаллической решетки

Чтобы перевести параметры элементарной ячейки в ангстремы (Å), нужно делить на 100; для перевода в нм делить на 1000.

Сокращения: ОЦК - объемноцентрированная кубическая решетка, ГЦК - гранецентрированная кубическая решетка.

Данные взяты из [Landolt-Borstein, New Series, Group III, Vol.6, Hellwege K.H., Hellwege A.M. (eds)]. Данные о кристаллической структуре можно также найти в работах [3,5,9] и книге [The structures of the elements, Donohue J., John Wiley and Sons, 1974].

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения

Эти значения взяты из таблиц, подготовленных Международным союзом кристаллографистов (International Union of Crystallographers) [International tables for X-ray crystallography, Vol.III, Physical and Chemical Tables, section 3.2, Kynock Press, Birmingham, UK, 1962].

Сечение захвата тепловых нейтронов

Барн определяется как 10⁻²⁴ см² или 10⁻²⁸ м². Данные взяты из работы [1].

**ядерные
свойства**

Основные изотопы

Приведены все стабильные изотопы и наиболее долгоживущие радиоактивные, а также те, которые используются в научных исследованиях. Распространенность в природе для некоторых короткоживущих нуклидов, входящих в природную цепочку распада, указана как "следы". Период полураспада $T_{1/2}$ выражен в секундах (с), минутах (мин), часах (ч), днях или годах. Тип распада обозначается следующим образом: β^- - испускание электрона, β^+ - испускание протона, α - α -распад, ЭЗ - электронный захват, ИП - изомерный переход, СД - самопроизвольное деление. Некоторые ядра могут распадаться двумя путями. В скобках приводятся энергии излучения (в МэВ). Наличие γ -излучения обозначается как γ .

Данные о нуклидах взяты из работы [1]. Аналогичные таблицы приведены в работах [2,3]. Наиболее подробный перечень можно найти в [Tables of isotopes, Lederer C.M., Shirley V.S., 7th ed., John Wiley and Sons, New York, 1978]. В этой работе приведены полные данные о 2600 известных изотопах, и ее издание осуществлялось при участии НБС (US NBS Office of Standard Reference Data).

Ядерный спин I приведен в единицах $\hbar/2\pi$. Ядерный магнитный момент приведен в ядерных магнетонах с диамагнитной поправкой. Для обеих величин данные взяты из [Nuclear spins and moments, G.H.Fuller, Journal of Physical Chemistry Reference Data, 1976, 5, 835].

Применение изотопов в различных областях обозначено как "ЯМР", "метка" и "в медицине". Детали, касающиеся ядерного магнитного резонанса (ЯМР), приведены сразу за таблицей основных изотопов. Данные о радиоактивных изотопах, используемых как метки и применяемых в медицине, взяты из [Merck Index, 10th edition, ed. by M.Windholz, Merck & Co., Inc., Rahway NY, 1983; Isotopes, products and services catalog, Oak Ridge National Laboratory, P.O.Box X, Oak Ridge, Tennessee 37831, USA; Biochemicals, The Radiochemical Centre, P.O.Box 16, Amersham, Bucks, HP7 9LL, UK]. Данные о доступных изотопах и их радиационных характеристиках содержатся также в приложениях к книге [Radionuclide tracers, M.F. L'Annunziata, Academic Press, New York, London, 1987].

Ядерный магнитный резонанс

Если имеются данные для двух ядер, заключенные в скобки относятся к реже используемому в ЯМР. Ядерные спины даны в таблице основных изотопов.

Относительная чувствительность дана для постоянного поля и при одинаковом количестве ядер. Абсолютная чувствительность, или восприимчивость, обычно выражена относительно $^{13}\text{C} = 1,00$.

Гиромагнитное отношение приводится в рад/(Тл·с); часто представлено в единицах γ , связанных с рад/(Тл·с) множителем 10^7 . Таким образом, для ^1H $\gamma = 26,75$. γ - это коэффициент пропорциональности между частотой и напряженностью поля, размерность рад/(Тл·с) получается как частное частота/напряженность.

Квадрупольный момент дан в m^2 . Его можно выразить в cm^2 путем умножения на 10^4 или в барнах - умножением на 10^{28} .

Частота соответствует сигналу ^1H $\text{Si}(\text{CH}_3)_4$, который точно равен 100 МГц при напряженности магнитного поля 2,3488 Тл. Для ЯМР-спектрометров с сигналом ^1H при 60, 90, 200, 250, 360 и 400 МГц частота и напряженность поля меняются линейно. Приведенные частоты надо умножить на 0,6, 0,9, 2, 2,5, 3,6 и 4 соответственно.

Таблицы, касающиеся ЯМР, составлены по следующим источникам: [Handbook of high resolution multinuclear NMR, C.Brevard and P. Granger, John Wiley & Sons, New York, 1981; NMR and the periodic table, R.K. Harris and B.E.Mann, Academic Press, London, 1978;

Основное электронное состояние и терм

Эти величины приводятся в большинстве учебников по неорганической химии, например [7-8]. Мы пользовались данными книги [Handbook of atomic data, S.Fraga, J.Kagwowski, K.M.S. Saxena, Elsevier, Amsterdam, 1976].

Свойства
электронной
оболочки

Сродство к электрону

Для перевода значений, выраженных в кДж/моль, в электрон-вольты (эВ) следует делить на 96,486 ; в МДж/моль - разделить на 1000.

Сродство к электрону обычно считают положительным, если присоединение электрона к атому сопровождается выделением энергии, как это почти всегда справедливо для процесса $M \rightarrow M^+$, и отрицательным, если энергия поглощается, как при добавлении второго электрона, $M \rightarrow M^2+$. Это соглашение о знаках противоположно принятому для приводимых энергий ионизации, как и для большинства других изменений энергии.

Хотя некоторые значения сродства к электрону даны во многих учебниках химии, а в работах [1-2] приведены подробные перечни (в эВ), данные в этом справочнике основаны на работе [H. Hotop and W.C. Lineberger, Journal of Physical Chemistry Reference Data, 1985, 14, 731] (также выражены в эВ). Ранняя работа [R.J. Zollweg, Journal of Chemical Physics, 1969, 50] также содержит некоторые данные для тяжелых элементов. Их изменение от элемента к элементу обсуждалось в работе [E.C.M. Chen and W.E. Wentworth, Journal of Chemical Education, 1975, 52, 486].

Энергии ионизации (потенциалы ионизации)

Чтобы перейти от кДж/моль к электрон-вольтам (эВ), следует делить на 96,486; к МДж/моль - делить на 1000.

Для большинства элементов известны с высокой точностью энергии ионизации (удаления) первого, второго, третьего, четвертого и пятого электронов, для легких элементов - и последующих электронов. В скобках приведены менее надежные значения. Для некоторых элементов известны энергии ионизации вплоть до десятой ступени.

Энергии ионизации приводят многие учебники и обзорные работы, причем некоторые из них - в единицах СИ, например [4]. В разные моменты времени НБС публиковало такие данные, начиная с [Moore E.C. Atomic energy levels, volume III, NBS Circular 467, 1958]. В работе [1] ссылаются на книгу [Analyses of optical spectra, NSRDS-NBS 34. Office of Standard Reference Data, NBS, Washington DC, 1970]. Для актиноидов и лантаноидов данные взяты из статьи [Martin W.C., Hagan L., Reader J., Sugar J. Journal of Physical Chemistry Reference Data, 1974, 3, 771].

Основные линии в атомном спектре

Длины волн даны в нанометрах (нм); для перехода к ангстремам (Å) следует умножить на 10. Приведены наиболее интенсивные линии, самые интенсивные выделены. Линии нейтральных атомов обозначены "форма I", а однократно заряженных ионов M^+ "форма II". Применение в атомно-абсорбционной спектрометрии отмечено аббревиатурой AA; эти данные основаны на публикации [Pye Unicam atomic absorption data book, P.J. Whiteside, 3rd edition, Pye Unicam, Cambridge, UK, 1979]. Для некоторых трансурановых элементов, показывающих много интенсивных линий в спектре, перечислены только первые семь линий нейтральных атомов.

Данные отобраны из сводки Line spectra of the elements, J. Reader and C.H. Corliss [1]; эта работа выполнена под эгидой Committee on Line Spectra of the Elements National Academy of Science - National Research Council, USA.

В окружающей среде

Распространенность

Для атмосферы, земной коры и океана данные приводятся в частях на миллион, т. е. в кубических сантиметрах на кубический метр (атмосфера), граммах на тонну (1000 кг) или в миллиграммах на килограмм (кора Земли)*. Относительная распространенность элементов на Солнце взята из работы [Ross J.E., Aller L.H. Science, 1976, **191**, 1223]; она выражена относительно водорода (распространенность которого принята равной $1 \cdot 10^{12}$). Приводится логарифм этой относительной распространенности. Эти данные можно также найти в приложении А к работе [10]. Соответствующие значения для мышьяка, селена, теллура, иода, tantalа, криптона и ксенона не приведены, так как их спектральные линии замаскированы линиями более распространенных элементов. Данные для некоторых других элементов, особенно для тяжелых радиоактивных, также опущены из-за слишком малого их содержания.

Данные о содержании элементов в атмосфере взяты из работы [6]. Для земной коры приведены усредненные данные табл. 3.3 из работы [11].

Концентрация элементов в океанах, их время пребывания и степень окисления взяты в основном по данным [M. Whitfield and D.R. Turner, Aquatic surface chemistry (гл. 17, сс. 457-493), ed. by W. Stumm, John Wiley & Sons Inc., New York, 1987]. Они выражены в (массовых) частях на миллион, то есть в миллиграммах (элемента) на килограмм (океанской воды). Их можно перевести в единицы молярной концентрации, если умножить на относительную плотность океанской воды (средняя плотность при 277 K 1,028 г/см³), а затем делить на 1000 и относительную атомную массу элемента. Для относительно редких элементов более точные данные приведены в приложении А работы [10]. Они основаны в свою очередь на следующих источниках: [K.W. Bruland, Trace elements in the ocean, Chemical oceanography, vol. 8, ed. by J. Riley and R. Chester, Academic Press, New York, 1983; P. Henderson, Inorganic geochemistry, Pergamon Press, Oxford, 1982; K. Schwuchau, Extraction of metals from seawaters, Topics in Current Chemistry, 1984, **124**, 91].

Уитфилд и Тернер подразделили элементы на накапливающиеся, возобновляемые и выводимые, в соответствии с профилями их содержания в океане. Накапливающимся соответствует время пребывания более 10^5 лет, а их концентрация мало меняется с глубиной. Возобновляемые имеют время пребывания 10^3 - 10^5 лет, их концентрация увеличивается с глубиной; наконец, рассеиваемые элементы характеризуются временем пребывания менее 1000 лет и снижением концентрации с глубиной. Читатель, интересующийся средним значением, должен взять среднее из данных для Атлантического и Тихого океанов.

Геологические сведения

Основные минералы и источники перечислены в книге [7]. В работе [11] указаны важнейшие минералы и мировое производство (т/год). Для ряда важнейших элементов данные взяты из: [W. Buchner, R. Schliebs, G. Winter and K.H. Buchel, Industrial inorganic

* В русском издании эти данные приведены в процентах (%). - Прим. перев.

chemistry, transl. by D.R. Terrell, CVH, Weinheim, 1989]; в последнем источнике приводятся также сведения об известных запасах. Для 55 коммерчески важных элементов данные приводятся в [Annual Review of Mining 1986, Mining Journal Ltd., London]. Эти две публикации дают, по мнению автора, картину, характерную для 1985 г., "нормального" года для мировой экономики. В книге [J.J. Ferguson, Inorganic chemistry and the earth, Pergamon Press, Oxford, 1982] также приведены полезные сведения, в частности о запасах многих важнейших металлов.

Данные, характеризующие производство, относятся к мировому производству элемента или его важнейших соединений. Для некоторых элементов, однако, их следует интерпретировать с осторожностью. Данные для углерода взяты из [BP Statistical review of world energy, London, June, 1990]; для редкоземельных (f) элементов в качестве источника использовали данные [Molycorp Inc., White Plains, NY], а платиновых металлов - [Johnson Matthey, London, UK].

Биологическая роль

Информация об основных элементах взята из работы [11] и книги [Handbook of vitamins, minerals and hormones, 2nd edn., R.J. Kutsky, Van Nostrand Reinhold, New York, 1981]. Термин "стимулятор" относится к общему влиянию на метаболизм человека; "канцерогенный" означает могущий вызывать раковые заболевания; "тератогенный" - могущий вызывать уродства.

В книге [11] приведены таблицы элементного состава различных тканей человеческого организма в частях на миллион, т. е. миллиграмм на килограмм сухого массы. Приведено также общее содержание элемента в организме (на массу 70 кг). Элементный состав человеческой крови (цельная кровь) представлен в мг на дм³ (т.е. литр); данные взяты из [11]. Из того же источника взяты сведения о среднем поступлении с пищей, токсической и летальной для человека дозах. В ряде случаев (это указывается специально) данные относятся к крысам.

Токсикологические сведения об элементах характеризуют не только сами элементы, но и те или иные их соединения. Полезными источниками информации являются [Metal Toxicology in mammals, (2 vols.), T.D. Luckey and B. Venugopal, Plenum Press, New York, 1977; Handbook of toxicity of inorganic compounds, ed. by H.G. Seiler, H. Sigel, Marcel Dekker, New York, 1988]. В них приведены данные для большинства элементов, упорядоченные по алфавиту.

Литература

1. CRC Handbook of Chemistry and Physics, ed. by R.C. Weast, 70th edn., CRC Press, Boca Raton, Florida, 1989.
2. Lange's Handbook of Chemistry, ed. by J.A. Dean, 13th edn., McGraw-Hill, New York, 1985.
3. Moses A.J., The Practising Scientist's Handbook, Van Nostrand Reinhold, New York, 1978.
4. Ball M.C., Norbury A.H.. Physical Data for Inorganic Chemists, Longman, London, 1974.
5. Handbook of the Physicochemical Properties of the Elements, ed. by G.V. Samsonov, IFI-Plenum, New York, 1968.
6. Kaye G.W.C., T.H. Laby, Tables of physical and chemical constants, 14th edn., Longman, London, 1973.
7. Greenwood N.N., Earnshaw A., Chemistry of the elements, Pergamon Press, Oxford, 1984.

8. Cotton F.A., Wilkinson G., Advanced inorganic chemistry, 5th edn., John Wiley & Sons, New York, 1988.
9. Bailar J.C., Emeleus H.J., Nyholm R., Trotman-Dickenson A.F. (eds.), Comprehensive inorganic chemistry (5 vols), Pergamon Press, Oxford, 1973.
10. Cox P.A., The elements: their origin, abundance and distribution, Oxford University Press, Oxford, 1989.
11. Bowen H.J.M., Environmental chemistry of the elements, Academic Press, London, 1979.



ЭЛЕМЕНТЫ

Принятые сокращения:
д.о. - данные отсутствуют

N

Атомный номер: 7

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12.0000$): 14,00674

Химические свойства

Бесцветный газ без запаха (N_2). При комнатной температуре практически нереакционноспособен. Образует огромное множество органических и неорганических соединений. Используется в производстве удобрений, кислот (HNO_3), взрывчатых веществ, пластмасс и т.д.

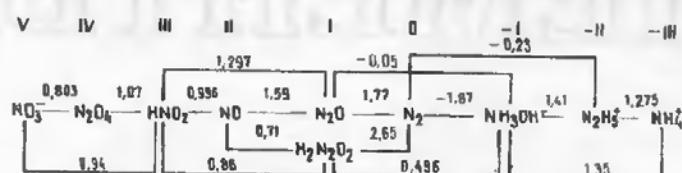
Радиус, пм: атомный 71, ковалентный (простая связь) 70, вандерваальсов 154

Электроотрицательность: 3,04 (по Полингу), 3,07 (по Оллреду), 7,30 эВ (абсолютная)

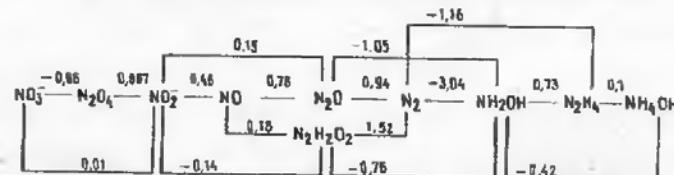
Эффективный заряд ядра: 3,90 (по Слейтеру), 3,83 (по Клементи), 3,46 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

Кислый раствор



Щелочной раствор



Ковалентная связь	r, пм	E , кДж/моль
N-H	101	390
N-N	147	160
N=N	125	415
N≡N	110	946
N-Cl	195	193

Состояния окисления

N^{III}	$\text{NH}_3, \text{NH}_4^+(\text{aq})$
N^{II}	$\text{N}_2\text{H}_4, \text{N}_2\text{H}_5^+(\text{aq})$
$\text{N}^{\text{-I}}$	NH_2OH
N^0	N_2
N^{II}	NO
N^{III}	$\text{HNO}_2, \text{NO}_2(\text{aq}), \text{NF}_3$
N^{IV}	$\text{N}_2\text{O}_4 \leftrightarrow 2 \text{NO}_2$
N^{V}	$\text{HNO}_3, \text{NO}_3(\text{aq})$

Физические свойства

Температура плавления, К: 63,29

Температура кипения, К: 77,4

$\Delta H_{\text{пп}}, \text{ кДж/моль}$: 0,720

$\Delta H_{\text{исп}}, \text{ кДж/моль}$: 5,577

Критическая температура, К: 126,2

Критическое давление, кПа: 3390

Критический объем, см³/моль: 89,5

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ, \text{ кДж/моль}$	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ, \text{ кДж/моль}$	$S^\circ, \text{ Дж/(К·моль)}$	$C_p, \text{ Дж/(К·моль)}$
Газообразное (N_2)	0	0	191,61	29,125
Газообразное (атом.)	472,704	455,563	153,298	20,786

Плотность, кг/м³: 1026 [тв., 21 К]; 880 [жидкость при т. кип.], 1,2506 [газ, 273 К]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 0,02598 [300 К] (газ)

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $-5,4 \cdot 10^{-9}$ (г.)

Мольный объем, см³: 13,65 [21 К]

Тип кристаллической решетки (параметры ячейки, пм); пространственная группа

$\alpha\text{-N}_2$ кубическая ($a = 564,4$); $\text{P}2_1\bar{3}$

$\beta\text{-N}_2$ гексагональная плотноупакованная ($a = 404,2$; $c = 660,1$); $\text{P}6_3/\text{тпс}$

$T(\alpha \rightarrow \beta) = 35$ К

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 7,52; MoK_α 0,916

Открыт в 1772 г. Д. Резерфордом (Эдинбург, Шотландия)
[От греч. *nitron genes* - образующий селитру]

Азот

(Nitrogen)

Ядерные свойства

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 1,91
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 8
Диапазон изотопных масс: 12→18

Основные изотопы

Нуклид ^a	Атомная масса	Распростране- нность в при- роде, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распа- да, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{14}N	14,003074	99,63	Стабилен		$1+$	+0,40376	ЯМР
^{15}N	15,000108	0,37	Стабилен		$1/2+$	-0,28319	ЯМР

^aДолгоживущие радиоактивные изотопы отсутствуют: ^{13}N имеет $T_{1/2} = 9,97$ мин

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$): $1,01 \cdot 10^{-3}$

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$): 5,69

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с): $1,9331 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²: $1,6 \cdot 10^{-30}$

Частота ($^1\text{H} = 1,00$ МГц; 2,3488 Тл), МГц: 7,224

Стандарт: MeNO_2 или NO_3^-

Основное электронное состояние: $[\text{He}]2s^22p^3$

Терм: $^4S_{3/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: -7

Основные линии

в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
399,500	II
463,054	II
500,515	II
567,956	II
746,831	I
1246,962	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	1402,3	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	53 265,6
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	2856,1	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	64358,7
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	4578,0	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	7474,9	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	9440,0	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	

Свойства захватной области

в воздухе

Биологическая роль

Входит в состав ДНК; цикл азота в природе

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: 7,2

Костная ткань, %: 4,3

Кровь, мг/л; данные отсутствуют

Ежедневный прием с пищей: данные отсутствуют, но доза высока

Токсическая доза: некоторые соединения азота токсичны

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 1,8 кг

Распространенность

Солнце (относительно Н = $1 \cdot 10^{12}$): $8,71 \cdot 10^{-7}$

Земная кора, %: $25 \cdot 10^{-4}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $0,8 \cdot 10^{-8}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: $0,27 \cdot 10^{-4}$

Тихий океан, в поверхностных слоях: $0,8 \cdot 10^{-8}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $0,64 \cdot 10^{-4}$

Время пребывания, лет: 5000

Геохимическая классификация:

возобновляется

Степень окисления: V

Атмосфера, об.%: 78,09

Геологические сведения

Основные источники: сжиженный воздух

Мировое производство, т/год: $44 \cdot 10^6$

Запасы, т: $3,9 \cdot 10^{15}$ (в атмосфере)

Ac

Атомный номер: 89
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 227

**Химические
свойства**

Мягкий, серебристо-белый металл, светящийся в темноте. Реагирует с водой с выделением H_2 .

Радиус, пм: Ac^{3+} 118, атомный 187,8

Электроотрицательность: 1,1 (по Полингу), 1,00 (по Оллреду)

Эффективный заряд ядра: 1,80 (по Слейтеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	III	0
Кислый раствор	Ac^{3+}	-2,13
Щелочного раствора	Ac(OH)_3	-2,6
		Ac
		Ac

Состояния окисления

Ac^0 ($d^1 s^2$)

Ac^{III} ([Rn]) Ac_2O_3 , нерастворимый Ac(OH)_3
 $[\text{AcH}_2 \text{ и } \text{AcH}_3 - \text{вероятно, соединения } \text{Ac}^{III}]$

**Физические
свойства**

Температура плавления, К: 1320 ± 50

Температура кипения, К: 3470 ± 300

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: 14,2

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 293

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p° , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	56,5	27,2
Газообразное	406	366	188,1	20,84

Плотность, кг/м³: 10060 [293 К]

Теплопроводность, Вт/(м К): 12 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом м: данные отсутствуют

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: данные отсутствуют

Мольный объем, см³: 22,6

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $14,9 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры ячейки, пм); пространственная группа

ГЦК ($a = 531,1$); Fm3m

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: данные отсутствуют

Открыт в 1899 г. А. Дебьерном (Париж, Франция)
[От греч. aktinos - луч]

Актиний

(Actinium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 810 (^{227}Ac)
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 26
Диапазон изотопных масс: 210 → 232

Ядерные
свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распространенность в природе, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Применение
^{225}Ac	225,023205	0	10,0 дней	α (5,935); γ	3/2		Метка
^{227}Ac	227,027750	Следы	21,77 года	β^- (0,0410) 98,6%; α (5,043); 1,4% γ	3/2-	+1,1	ЯМР
^{228}Ac	228,031015	Следы	6,13 ч	β^- (2,142); γ	3+		ЯМР

ЯМР

^{227}Ac

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$): --

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$): --

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл · с): $3,5 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²: $1,7 \cdot 10^{-28}$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц: 13,1

Основное электронное состояние: [Rn]6d¹7s²

Терм: $^2\text{D}_{3/2}$

Средство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: данные отсутствуют

Свойства
электронной
оболочки

Основные линии

в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
386,312	II
408,844	II
416,840	II
438,641	II
450,720	II
591,085	II

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	499	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	(7300)
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1170	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	(9200)
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	1900	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(10500)
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	(4700)	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(11900)
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	(6000)	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(15800)

в окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; в природе не встречается, но должен быть токсичен из-за своей радиоактивности
Содержание в человеческом организме: нулевое

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{-12}$):
данные отсутствуют
Земная кора, %: следы
Морская вода, %: нет

Геологические сведения

Основные источники: продукт разложения ^{235}U с содержанием в урановых рудах $0,2 \cdot 10^{-6}\%$. Получается в миллиграммовых количествах при нейтронной бомбардировке ^{226}Rn .

Al

Атомный номер: 13

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 26,98154**Химические свойства**

Твердый, прочный, серебристо-белый металл; защищен оксидной пленкой от взаимодействия с воздухом и водой. Растворим в горячих концентрированных растворах HCl и NaOH. Чрезвычайно широко применяется в виде металла и сплавов в самолетостроении, строительной промышленности, для изготовления контейнеров, фольги и т.п.

Радиус пм: Al^{3+} 57, ковалентный 125; атомный 143,1; вандерваальсов 205

Электроотрицательность: 1,61 (по Полингу); 1,47 (по Оллреду); 3,23 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 3,50 (по Слейтеру); 4,07 (по Клементи); 3,64 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

Кислый раствор	III		0
	Al^{3+}	-1,678	Al
	AlF_6^{3-}	-2,067	Al
Щелочи раствор	Al(OH)_3	-2,300	Al
	Al(OH)_4^-	-2,3100	Al

Ковалентная связь	r , пм	E , кДж/моль	Состояния окисления	
			Al^{I}	Al^{III}
Al-H	~170	285		AlCl (в газовой фазе)
Al-C	224	225		Al_2O_3 (аморфный),
Al-O	162	585		AlO(OH) , $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$
Al-F	163	665		(aq), соли Al^{3+} , AlH_3 ,
Al-Cl	206	498		LiAlH_4 , AlF_3 , Na_3AlF_6 ,
Al-Al	286	~200		Al_2Cl_6

Температура плавления К: 933,52

Температура кипения К: 2740

$\Delta H_{\text{пл}}$, Дж/моль: 10,67

$\Delta H_{\text{исп}}$, Дж/моль: 293,72

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	28,33	24,35
Газообразное	326,4	285,7	165,54	21,38

Плотность кг/м³: 2698 [293 К]; 2390 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 237 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $2,6548 \cdot 10^{-8}$ [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $+7,7 \cdot 10^{-9}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 10,00

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $23,03 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры ячейки, пм); пространственная группа

ГЦК ($a = 404,959$), Fm3m

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 48,6; MoK_α 5,16

Открыт в 1825 г. Хансом Кристианом Эрстедом (Копенгаген, Дания)
[От лат. *alumen* - квасцы]

Алюминий (Aluminum)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 0,233
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 11
Диапазон изотопных масс: 22→31

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полу- в распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распа- да, МэВ	Ядерный спин /	Ядерный магнитный момент μ	Приме- нение
^{26}Al	25,986892	0	$7,4 \cdot 10^5$ лет	β^+ (4,003) 82%; 5+ Э3, 18%; γ			Метка
^{27}Al	27,981540	100	Стабилен		5/2+	+3,6415	ЯМР

ЯМР

^{27}Al

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$): 0,21
Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$): $1,17 \cdot 10^3$
Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с): $6,9704 \cdot 10^7$
Квадрупольный момент, м²: $0,4193 \cdot 10^{-28}$
Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц: 26,057
Стандарт: $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$

Основное электронное состояние: [Ne]3s²3p¹

Терм: $^2\text{P}_{1/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: 44

Свойства затекущей оболочки

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
308,215	I
309,271 (AA)	I
309,281 (AA)	I
394,401	I
396,152	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	577,4	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	18376
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1816,6	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	23293
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2744,6	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	27457
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	11575	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	31857
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	14839	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	38459

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; накапливается в организме с ежедневным приемом пищи; играет роль в развитии болезни Альц-хаймера

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань %: 0,7-2,8·10⁻⁴

Костная ткань %: 4,27·10⁻⁴

Кровь мг/л: 0,39

Ежедневный прием с пищей: 2,45 мг

Токсическая доза: 5 г

Летальная доза: данные отсутствуют

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 61 мг,

Распространенность

Солнце (относительно H = 1·10¹²): 3,3 · 10⁶

Земная кора 10⁻⁶%: 8,2

Морская вода %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: 9,7 · 10⁻⁸

Атлантический океан, в глубинных слоях: 5,2 · 10⁻⁸

Время пребывания лет: 150

Геохимическая классификация: выводится

Степень окисления: III

Геологические

сведения

Основные руды и источники: бокситы обнаруживаются в виде бемита $[\text{AlO(OH)}_3]$ и гиббсита $[\text{Al}(\text{OH})_3]$.

Мировое производство т/год: 15·10⁶

Запасы т: 6·10⁹

Ам

Атомный номер: 95
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12.0000$): (243)

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Радиоактивен; серебристый металл, не встречающийся в природе. Подвержен воздействию воздуха, водяного пара и кислот, но не щелочей.

Радиус, пм: Am^{6+} 80, Am^{5+} 86, Am^{4+} 92, Am^{3+} 107, атомный 184

Электроотрицательность: 1,3 (по Полингу), д.о. (по Оллреду)

Эффективный заряд ядра: 4,65 (по Слейтеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	VI	V	IV	III	II
Кислый раствор	$\text{AmO}_2^{2+} \frac{1,59}{1,20}$	$\text{AmO}_2^+ \frac{0,82}{-}$	$\text{Am}^{4+} \frac{2,62}{-}$	$\text{Am}^{3+} \frac{-2,07}{-0,90}$	Am
Щелочной раствор	$\text{AmO}_2(\text{OH})_2 \frac{0,9}{-}$	$\text{AmO}_2(\text{OH}) \frac{0,7}{-}$	$\text{AmO}_2 \frac{0,22}{-}$	$\text{Am}(\text{OH})_3 \frac{-2,53}{-}$	Am

Состояния окисления

Am^{II} (f ⁷)	AmO , AmCl_2 и т.д.
Am^{III} (f ⁶)	Am_2O_3 , AmF_3 , AmCl_3 и т.д., $[\text{AmCl}_6]^{3-}$, Am^{3+} (aq)
Am^{IV} (f ⁵)	AmO_2 , AmF_4
Am^{V} (f ⁴)	AmO_2^+ (aq) }
Am^{VI} (f ³)	AmO_2^{2+} (aq) }

Неустойчивы из-за восстановления продуктами радиоактивного распада

Температура плавления, К: 1267

Температура кипения, К: 2880

$\Delta H_{\text{пп}}$, кДж / моль: 14,4

$\Delta H_{\text{ исп}}$, кДж / моль: 238,5

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H^\circ_{\text{обр}}$, кДж / моль	$\Delta G^\circ_{\text{обр}}$, кДж / моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	д.о.	д.о.
Газообразное	д.о.	д.о.	д.о.	д.о.

Плотность, кг / м³: 13670 [293 К]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 10 (оценка) [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $68 \cdot 10^{-8}$

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: $+5 \cdot 10^{-8}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 17,78

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: данные отсутствуют

Тип кристаллической решетки (параметры ячейки, пм); пространственная группа

α -Ам гексагональная плотноупакованная ($a = 346,80$; $c = 1124,0$), Р6₃/mmc

β -Ам ГЦК ($a = 489,4$); Fm3m

$T (\alpha \rightarrow \beta) = 1347$ К

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: данные отсутствуют

Открыт в 1944 г. Г. Т. Сиборгом, Р. А. Джеймсом, Л. О. Морганом и А. Гиорсо (Чикаго, США)
[От англ. America]

Америций (Americium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 74 (^{243}Am)
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 14
Диапазон изотопных масс: 237→247

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распространенность в природе, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Применение
^{241}Am	241,056823	0	432,2 года	α (5,637); γ	5/2-	+1,61	Метка; в медицине
^{243}Am	243,061375	0	$7,37 \cdot 10^3$ лет	α (5,439); γ	5/2-	+1,61	ЯМР

^{243}Am

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):

Квадрупольный момент, м²:

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

Свойства захватной оболочки

Основное электронное состояние: [Rn]5f⁷7s²

Терм: $^8\text{S}_{7/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: данные отсутствуют

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма	Длина волны, нм	Форма
283,226	II	392,625	II
348,331	II	408,929	II
351,013	I	428,926	I
356,916	II	450,945	II
367,312	I	457,559	II
377,750	II	466,279	II
605,464			I

Энергии ионизации, кДж/моль

- 1. $M \rightarrow M^+$
- 2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$
- 3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$
- 4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$
- 5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; в природе не встречается, но должен быть токсичен из-за радиоактивности

Содержание в человеческом организме: нулевое

Распространенность

Солнце (относительно H = 1·10⁻¹²):

данные отсутствуют

Земная кора, %: нет

Морская вода, %: нет

Геологические сведения

Основные источники: получен в виде ^{243}Am в количестве 100 г при нейтронной бомбардировке ^{239}Pu .

Аг

Атомный номер: 18
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 39,948

Химические свойства

Бесцветный газ, без запаха, содержится в воздухе (1%). Используется для создания инертной атмосферы в лампах и в высокотемпературной металлургии.

Радиус, пм: атомный 174, вандерваальсов 191

Электроотрицательность: д.о. (по Полингу), д.о. (по Оллреду), [7,70 эВ (абсолютная)]

Эффективный заряд ядра: 6,75 (по Слейтеру), 6,76 (по Клементи), 7,52 (по Фрезе-Фишеру)

Состояния окисления

Ar^0

$\text{Ar}_8(\text{H}_2\text{O})_{46}$ и $\text{Ar}(\text{хинолин})_3$. Это не истинные соединения, а клатраты, в которых атомы Ar встроены внутрь решетки других молекул.

Физические свойства

Температура плавления, К: 83,78

Температура кипения, К: 87,29

$\Delta H_{\text{пп}}, \text{ кДж/моль: } 1,21$

$\Delta H_{\text{исп}}, \text{ кДж/моль: } 6,53$

Критическая температура, К: 150,8

Критическое давление, кПа: 4870

Критический объем, см³/моль: 74,9

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ, \text{ кДж/моль}$	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ, \text{ кДж/моль}$	$S^\circ, \text{ Дж/(К·моль)}$	$C_p, \text{ Дж/(К·моль)}$
Газообразное	0	0	154,843	20,786

Плотность, кг/м³: 1656 [40 К]; 1380 [жидкость при т. кип.], 1,784 [273 К]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 0,0177 [300 К] (газ)

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $-6,16 \cdot 10^{-9}$ (газ)

Мольный объем, см³: 24,12 [40 К]

Тип кристаллической решетки (параметры ячейки, пм); пространственная группа

ГЦК (40 К) ($a = 531,088$); Fm3m

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK α 123; MoK α 13,5

Открыт в 1894 г. лордом Рэлеем (Англия) и сэром Уильямом Рамзаем (Бристоль, Англия)
[От греч. argos - неактивный]

Аргон
(Argon)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 0,650 - 0,030

Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 15

Диапазон изотопных масс: 32→46

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распростране- нность в при- роде, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распа- да, МэВ	Ядерный спин /	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{36}Ar	35,967545	0,337	Стабилен		0+		
^{37}Ar	36,966776	0	34,8 дня	$\text{Э3}(0,814)$; нет γ	$3/2^+$	+0,95	
^{38}Ar	37,962732	0,063	Стабилен		0+		
^{39}Ar	38,962314	0	269 лет	β^- (3,44); нет γ	$7/2^-$	-1,3	
^{40}Ar	39,962384	99,600	Стабилен		0+		

Основное электронное состояние: $[\text{Ne}]3s^23p^6$

Терм: 1S_0

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: -35 (рассчит.)

**Свойства
зализитронной
оболочки**

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
696,5431	I
706,7218	I
750,3869	I
801,4786	I
811,5311	I
912,2967	I
965,7786	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	1520,4	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	8811
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	2665,2	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	12021
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	3928	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	13844
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	5770	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	40759
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	7238	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	46186

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; не токсичен, но может вызывать асфиксию

Содержание в человеческом организме: очень низкое

Распространенность

Солнце (относительно Н = $1 \cdot 10^{12}$):

$1 \cdot 10^{-6}$

Земная кора, %: $1,2 \cdot 10^{-4}$

Морская вода %: $0,45 \cdot 10^{-4}$

Время пребывания, лет: 28000

Степень окисления: 0

Атмосфера, % (об.): 0,98

Геологические сведения

Основные источники: сжиженный воздух

Мировое производство, т/год:

700000

Запасы, т: $6,6 \cdot 10^{13}$ (в атмосфере)

At

Атомный номер: 85
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12.0000$): (210)

Химические свойства

Радиоактивный неметалл. Относительно мало изучен из-за короткого периода полу-распада.

Радиус, пм: At^{5+} 57, At 227

Электроотрицательность: 2,2 (по Полингу), 1,96 (по Оллреду), 6,2 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 7,60 (по Слейтеру), 15,16 (по Клементи), 19,61 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	V	I	0	-I
Кислый раствор	HAtO_3	1,4	HAtO	0,7
Щелочного раствора	AtO_3^-	0,5	AtO^-	0,0

Ковалентная связь	r , пм	E , кДж/моль
At-At	~290 (расчет)	110

Состояния окисления

At^{-1}	([Rn])	At^- (aq)
At^1	($s^2 p^4$)	AtBr_2^-
At^{III}	($s^2 p^2$)	AtO_3^- (aq)

Температура плавления, К: 575 (расчет)

Температура кипения, К: 610 (расчет)

$\Delta H_{\text{пп}}$, кДж/моль: 23,8

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: данные отсутствуют

Физические свойства

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p° , Дж/(К·моль)
Твердое(α)	0	0	д.о.	д.о.
Газообразное	д.о.	д.о.	д.о.	д.о.

Плотность, кг/м³: данные отсутствуют

Теплопроводность, Вт/(м·К): 1,7 [300 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: данные отсутствуют

Мольный объем, см³: данные отсутствуют

Тип кристаллической решетки (параметры ячейки, пм); пространственная группа

Данные отсутствуют

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: данные отсутствуют

Получен Д. Р. Корсоном, К. Р. Маккензи и Э. Сегре в 1940 г.
 (Калифорнийский университет, США)
 [Греч. *astatos*- неустойчивый]

Астат
 (Astatine)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: данные отсутствуют
 Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 29
 Диапазон изотопных масс: 196→219

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полурас- пада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядер- ный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ
^{210}At	209,987126	0	8,1 ч	Э3 (3,98); α (5,63) < 1%	5+	
^{211}At	210,987469	0	7,2 ч	Э3 (0,784) 59%; α (5,981) 41%	9/2-	

Основное электронное состояние: $[\text{Xe}]4\text{f}^{14}5\text{d}^{10}6\text{s}^26\text{p}^5$

Терм: $^3\text{P}_{3/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж / моль: 270

**Свойства
электронной
оболочки**

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
216,225	I
224,401	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	930	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	(7500)
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1600	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	(8800)
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	(2900)	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(13300)
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	(4000)	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(15400)
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	(4900)	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(17700)

Излучающий спектр

Биологическая роль
 Отсутствует; токсичен из-за радиоактивности
 Содержание в человеческом организме: нулевое

Распространенность
 Солнце (относительно Н = $1 \cdot 10^{-12}$):
 данные отсутствуют
 Земная кора, %: следовые количества в некоторых минералах
 Морская вода, %: данные отсутствуют

Геологические сведения
 Основные источники: может быть получен различными способами:
 например, при нейтронной бомбардировке ^{209}Bi получается ^{113}At , но в очень малых количествах (взвесить не удается)

Ba

Атомный номер: 56

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12.0000$): 137,327

Химические свойства

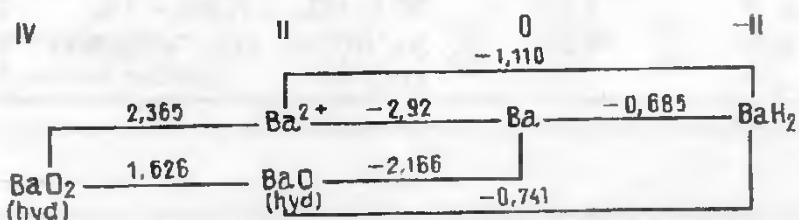
Сравнительно мягкий, серебристо-белый металл. Получается из BaO нагреванием с алюминием. Взаимодействует с воздухом и водой. Используется главным образом в виде BaSO_4 в буровых растворах при добыче нефти и газа; в небольших количествах применяется при производстве красок, стекол и т.п.

Радиус, пм: Ba^{2+} 143, атомный 217,3, ковалентный 198

Электроотрицательность: 0,89 (по Полингу), 0,97 (по Оллреду), 2,4 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 2,85 (по Слейтеру), 7,58 (по Клементи), 10,27 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В



Состояния окисления

Ba^{II} ([Xe])	BaH_2 , BaO , Ba(OH)_2 (основание), BaO_2 (пероксид), Ba^{2+} (aq), BaF_2 , BaCl_2 и т.д., BaCO_3 , BaSO_4 (нерасторим), множество других солей
--------------------------------	--

Температура плавления, К: 1002

Температура кипения, К: 1910

$\Delta H_{\text{пп}}, \text{ кДж/моль}$: 7,66

$\Delta H_{\text{исп}}, \text{ кДж/моль}$: 150,9

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ, \text{ кДж/моль}$	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ, \text{ кДж/моль}$	$S^\circ, \text{ Дж/(К·моль)}$	$C_p, \text{ Дж/(К·моль)}$
Твердое	0	0	62,8	28,07
Газообразное	180	146	170,243	20,786

Плотность, кг/м³: 3594 [293 К]; 3325 [жидкость при т. пл.]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 18,4 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $50 \cdot 10^{-8}$ [273 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $+1,9 \cdot 10^{-9}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 38,21

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $(18,1-21,0) \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры ячейки, пм); пространственная группа

ОЦК ($a = 502,5$); $\text{Im}3m$

Фаза высокого давления: ($a = 390,1$, $c = 615,5$), $\text{P}6_3\text{mmc}$

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 330; MoK_α 43,5

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 1,3
 Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 35
 Диапазон изотопных масс: 120→148

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распростра- ненность природе, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и энергия распа- да, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Приме- нение
^{130}Ba	129,906282	0,106	Стабилен		0+		
^{132}Ba	131,905042	0,101	Стабилен		0+		
^{133}Ba	132,905988	0	10,53 года	Э3 (0,52); γ	$1/2^+$		Метка
^{134}Ba	133,904486	2,417	Стабилен		0+		
^{135}Ba	134,905665	6,592	Стабилен		$3/2^+$	+0,8365	ЯМР
^{135m}Ba		0	28,7 ч	ИП (0,268); γ	$11/2^-$		Метка
^{136}Ba	135,904553	7,854	Стабилен		0+		
^{137}Ba	136,905812	11,23	Стабилен		$3/2^+$	+0,9357	ЯМР
^{138}Ba	137,905232	71,70	Стабилен		0+		
^{140}Ba	139,910581	0	12,76 дня	β^- (1,03); γ	0+		Метка

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$): $4,9 \cdot 10^{-4}$

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$): 1,83

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с): $2,6575 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²: $0,18 \cdot 10^{-28}$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц: 9,934

Стандарт: $\text{BaCl}_2(\text{aq})$

Основное электронное состояние: $[\text{Xe}]6s^2$

Терм: 1S_0

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: -46

Основные линии

в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
350,111	I
455,403	II
493,409	II
553,548(АА)	II
614,172	II
649,690	II
705,994	I

**Энергии ионизации,
кДж/моль**

1. $M \rightarrow M^+$	502,8	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	(7700)
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	965,1	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	(9000)
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	(3600)	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(10200)
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	(4700)	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(13500)
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	(6000)	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(15100)

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; токсичен; стимулятор Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: $0,09 \cdot 10^{-4}$

Костная ткань, %: $(3 - 7) \cdot 10^{-4}$

Кровь, мг/л: 0,068

Ежедневный прием с пищей: 0,60 - 1,7 мг

Токсическая доза: 200 мг

Летальная доза: 3,7 г

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 22 мг

Распространенность

Солнце (относительно $H = 1 \cdot 10^{12}$): 128

Земная кора, %: $5 \cdot 10^{-2}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $4,7 \cdot 10^{-7}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: $9,3 \cdot 10^{-7}$

Тихий океан, в поверхностных слоях: $4,7 \cdot 10^{-7}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $20,0 \cdot 10^{-7}$

Время пребывания, лет: 10000

Геохимическая классификация:

Возобновляется

Степень окисления: II

Геологические сведения

Основные руды: барит [BaSO_4]

Мировое производство BaSO_4 , т/год: $6 \cdot 10^6$

Запасы, т: $450 \cdot 10^6$

**Свойства
электронной оболочки**

Be

Атомный номер: 4

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 9,01218

Химические свойства

Серебристо-белый, блестящий, сравнительно мягкий металл; получается, например, при электролизе расплава BeCl_2 . Не взаимодействует с воздухом и водой даже при температуре красного каления. Используется в сплавах с медью и никелем и придает им прекрасную электро- и теплопроводность. Сплавы с медью применяются для изготовления неискрящего электроинструмента.

Радиус, пм: Be^{2+} 34, атомный 113,3, ковалентный 89

Электроотрицательность: 1,57 (по Полингу), 1,47 (по Оллреду), 4,9 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 1,95 (по Слейтеру), 1,91 (по Клементи), 2,27 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

II	0
Be^{2+}	Be

Ковалентная связь	r , пм	E , кДж/моль
Be-H	163	226
Be-O	133	523
Be-F	143	615
Be-Cl	177	293
Be-C	193	
Be-Be	222,6	

Состояния окисления

Be^{II}	BeO, $[\text{Be}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$ (aq), BeF_2 , BeCl_2 и т.д., BeCO_3 , соли	Be(OH) ₂ , BeH ₂
-------------------------	---	--

Физические свойства

Температура плавления, К: 1551 ±5

Температура кипения, К: 3243 (при повышенном давлении)

$\Delta H_{\text{пл.}}$, кДж/моль: 9,80

$\Delta H_{\text{исп.}}$, кДж/моль: 308,8

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр.}}^\circ$: кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр.}}^\circ$: кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	9,50	16,44
Газообразное	324,6	286,6	136,269	20,786

Плотность, кг/м³: 1847,7 [293 К]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 200 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $4,0 \cdot 10^8$ [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $-1,3 \cdot 10^{-8}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 4,88

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $11,5 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры ячейки, пм); пространственная группа

α -Be гексагональная плотноупакованная ($a = 228,55$; $c = 358,32$), Р $\bar{6}_3$ /тмс

β -Be ОЦК ($a = 255,15$); I $m\bar{3}m$

$T(\alpha \rightarrow \beta) = 1523$ К

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 1,50; MoK_α 0,298

Открыт в 1797 г. Н.-Л. Вокленом (Париж, Франция). Выделен в 1828 г. Ф. Велером (Берлин, Германия) и независимо А. А. Б. Бюсси (Париж, Франция).
[От греч. *bergyllos* - берилл]

Бериллий

(Beryllium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 0,0092
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 6
Диапазон изотопных масс: 6→11

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полураспа- да $T_{1/2}$	Тип и энергия распа- да, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Приме- нение
^7Be	7,016928	0	53,29 дней	Э3 (0,862); γ	$3/2^-$		Метка
^9Be	9,012182	100	Стабилен		$3/2^-$	-1,1776	ЯМР
^{10}Be	10,013534	Следы	$1,6 \cdot 10^6$ лет	β -(0,555); нет γ	0^+		

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):	$^{^9}\text{Be}$
Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):	$1,39 \cdot 10^{-2}$
Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):	78,8
Квадрупольный момент, м ² :	$3,7589 \cdot 10^7$
Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:	$5,2 \cdot 10^{-30}$
Стандарт: $\text{Be}(\text{NO}_3)_2$ (aq)	14,053

Основное электронное состояние: $[\text{He}]2s^2$

Терм: 1S_0

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: -18

Свойства электронной оболочки

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
234,861 (AA)	I
381,345	I
436,099	II
467,333	II
467,342	II
527,081	II

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	899,4
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1757,1
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	14848
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	21006

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; токсичен (замещает Mg в ферментах), канцероген; пары и пыль вызывают заболевания легких (бериллиоз).

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: $0,76 \cdot 10^{-7}$

Костная ткань, %: $0,3 \cdot 10^{-6}$

Кровь, мг/л: $< 1 \cdot 10^{-5}$

Ежедневный прием с пищей: 0,01 мг

Токсическая доза: данные отсутствуют

Летальная доза: данные отсутствуют

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 0,036 мг

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):

14

Земная кора, %: $2,6 \cdot 10^{-4}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $8,8 \cdot 10^{-12}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: $17,5 \cdot 10^{-12}$

Тихий океан, в поверхностных слоях: $3,5 \cdot 10^{-12}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $22 \cdot 10^{-12}$

Время пребывания, лет: 4000

Геохимическая классификация: возобновляется

Степень окисления: II

Геологические сведения

Основные руды и минералы: берилл [Be₃Al₂Si₆O₁₈]; берtrandит [Be₄Si₂O₇(OH)₂].

Мировое производство, т/год: 364

Запасы, т: 400000

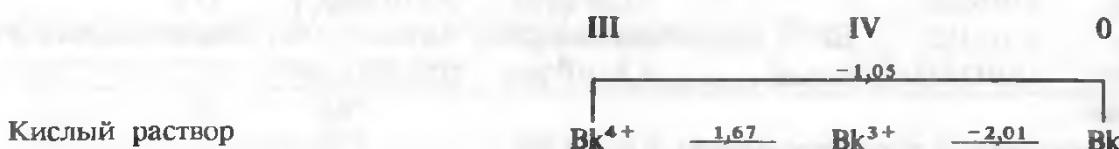
Bk

Атомный номер: 97
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): (247)

Химические свойства

Радиоактивный, серебристый металл. Взаимодействует с кислородом, водяным паром и кислотами, но не со щелочами.
Радиус, пм: Bk^{2+} 118; Bk^{3+} 98; Bk^{4+} 87
Электроотрицательность: 1,3 (по Полингу), д.о. (по Оллреду)
Эффективный заряд ядра: 1,65 (по Слейтеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В



Состояния окисления

Bk	(f^9)	BkO
Bk ^{III}	(f^8)	Bk ₂ O ₃ , BkF ₃ , BkCl ₃ и т.д., [BkCl ₆] ³⁻ , Bk ³⁺ (aq)
Bk ^{IV}	(f^7)	BkO ₂ , BkF ₄

Физические свойства

Температура плавления, К: данные отсутствуют

Температура кипения, К: данные отсутствуют

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: данные отсутствуют

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: данные отсутствуют

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	д.о.	д.о.
Газообразное	д.о.	д.о.	д.о.	д.о.

Плотность, кг/м³: 14790 [293 К]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 10 (оценка) [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: данные отсутствуют

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: данные отсутствуют

Мольный объем, см³: 16,70

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: данные отсутствуют

Тип кристаллической решетки (параметры ячейки, пм); пространственная группа

Данные отсутствуют

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: данные отсутствуют

Получен в декабре 1949 г. С. Дж. Томпсоном, А. Гиорсо и Г. Т. Сиборгом (Беркли, Калифорния, США)
[От англ. Berkeley]

Берклий

(Berkelium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 710 (^{249}Bk)
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 10
Диапазон изотопных масс: 243→250

Ядерные
свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная massa	Распространенность в природе, %	Период полу-распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Применение
^{247}Bk	247,070300	0	$1,4 \cdot 10^3$ лет	α (5,889); γ	$3/2^-$		
^{249}Bk	249,074980	0	320 дней	β^-	$7/2^+$	2,0	

Основное электронное состояние: $[\text{Rn}]5f^97s^2$

Терм: $^6\text{H}_{15/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: данные отсутствуют

Свойства
заслуживающие
изучения

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
329,972	
325,219	
328,875	
329,935	
333,526	
340,828	
342,695	

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	601
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	

В окружающей среде

Биологическая роль
Отсутствует; токсичен из-за радиоактивности
Содержание в человеческом организме: нулевое

Распространенность
Солнце (относительно Н = $1 \cdot 10^{12}$):
данные отсутствуют
Земная кора, %: нулевое
Морская вода, %: нулевое

Геологические сведения

Основные источники: получается в миллиграммовых количествах в виде ^{249}Bk при нейтронной бомбардировке ^{239}Pu

B

Атомный номер: 5

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12.0000$): 10,81

Химические свойства

Неметалл, существует в нескольких аллотропных модификациях. Аморфный бор представляет собой темный порошок, не взаимодействует с кислородом, водой, кислотами и щелочами. Образует бориды с большинством металлов. Применяется для получения боросиликатных стекол, синтетических моющих средств и ингибиторов горения.

Радиус, пм: B^{3+} 23, ковалентный 88, атомный 831, вандерваальсов 208

Электроотрицательность: 2,04 (по Полингу), 2,01 (по Оллреду), 4,29 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 2,60 (по Слейтеру), 2,42 (по Клементи), 2,27 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

HІ	0
B(OH)_3	-0,890
BF_4^-	-1,284

Ковалентная связь	r , пм	E , кДж/моль	Состояния окисления
B-H	119	381	B ^{III}
B-H-B	132	439	B_2O_3 , H_3BO_3 (= B(OH)_3), бораты, например бура, $\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 8(\text{H}_2\text{O})$,
B-C	156	372	B_2H_6 , B_4H_{10} и т.д., NaBH_4 , BF_3 , BCl_3 и т.д.
B-O	136	523	
B-F	129	644	
B-Cl	174	444	
B-B	175	335	

Физические свойства

Температура плавления, К: 2573

Температура кипения, К: 3931

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: 22,2

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 538,9

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	5,86	11,09
Газообразное	562,7	518,8	153,45	20,799

Плотность, кг/м³: 2340 (β -ромбоэдр.) [293 К]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 27,0 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: 18000 [273 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $-7,8 \cdot 10^{-9}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 4,62

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $5 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры ячейки, пм); пространственная группа

Тетрагональная ($a = 874,0$; $c = 506$); $\text{P}4_2/\text{nnm}$

α -B ромбоэдрическая ($a = 506,7$; $\alpha = 58^\circ 4'$); $\text{R}\bar{3}\text{m}$

β -B ромбоэдрическая ($a = 1014,5$; $\alpha = 65^\circ 12'$); $\text{R}\bar{3}\text{m}$, R32, R3m

Ромбическая ($a = 1015$; $b = 895$; $c = 1790$)

Моноклинная ($a = 1013$; $b = 893$; $c = 1786$; $\alpha \sim 90^\circ$; $\beta \sim 90^\circ$; $\gamma \sim 90^\circ$) или триклиническая

Гексагональная ($a = 1198$; $c = 954$)

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 2,39; MoK_α 0,392

Открыт в 1808 г. Ж.Л. Гей-Люссаком и Л.Ж. Тенаром (Париж, Франция) и сэром Гемфри Дэви (Лондон, Англия)
[От арабск. *вигаq*]

Бор (Boron)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 3837^{10}B , $0,005^{11}\text{B}$
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 6
Диапазон изотопных масс: 8→13

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия рас- пада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{10}B	10,012937	19,9	Стабилен		3+	+1,8007	ЯМР
^{11}B	11,009305	80,1	Стабилен		3/2-	+2,6886	ЯМР

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$): $1,99 \cdot 10^{-2}$

^{11}B

0,17

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$): 22,1

754

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с): $2,8740 \cdot 10^7$

$8,5794 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²: $7,4 \cdot 10^{-30}$

$3,55 \cdot 10^{-30}$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц: 10,746

32,084

Стандарт: $\text{Et}_2\text{O}/\text{BF}_3$

Основное электронное состояние: [He]2s²2p¹

Терм: $^2\text{P}_{1/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: 26,7

Свойства электронной оболочки

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
208,891	I
208,957	I
249,667	I
249,773(АА)	I
345,129	I
1166,004	I
1166,247	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	800,6
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	2427
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	3660
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	25025
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	32822

В окружающей среде

Биологическая роль

Важен для растений; в избытке токсичен

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: $(0,33 - 1) \cdot 10^{-4}$

Костная ткань, %: $(1,1 - 3,3) \cdot 10^{-4}$

Кровь, мг/л: 0,13

Ежедневный прием с пищей: 1-3 мг

Токсическая доза: 4 г

Летальная доза: данные отсутствуют

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): данные отсутствуют

Распространенность

Солнце (относительно $H = 1 \cdot 10^{12}$):

< 125

Земная кора, %: $1 \cdot 10^{-3}$

Морская вода, %: $4,41 \cdot 10^{-4}$

Время пребывания, лет: $1 \cdot 10^7$

Геохимическая классификация: на-
капливается

Степень окисления: III

Геологические сведения

Основные руды и источники: Бура $\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$; колеманит $\text{Ca}_2[\text{B}_3\text{O}_4(\text{OH})_3]_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и др.

Мировое производство, т/год: $1 \cdot 10^6$ (в пересчете на B_2O_3)

Запасы, т: $270 \cdot 10^6$ (в пересчете на B_2O_3)

Bг

**Атомный номер 35
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$) 79,904**

Химические свойства

Темно-красная густая жидкость, с резким запахом. Соединения брома используются в качестве топливных добавок, пестицидов, ингибиторов горения и в фотографии.

Радиус, пм: ковалентный 114,2, Br⁻ 196, вандерваальсов 195

Электроотрицательность: 2,96 (по Полингу), 2,74 (по Оллреду), 7,59 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 7,60 (по Слейтеру), 9,03 (по Клементи), 10,89 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	VII	V	I	0	-I
			1,478		
Кислый раствор	BrO_4^-	$\frac{1,853}{\text{BrO}_3^-}$	$\frac{1,447}{\text{HBrO}}$	$\frac{1,604}{\text{Br}_2}$	$\frac{1,0652}{\text{Br}_2(\text{aq})}$
			1,341		$\frac{1,0874}{\text{Br}^-}$
Щелочного раствора	BrO_4^-	$\frac{1,025}{\text{BrO}_3^-}$	$\frac{0,492}{\text{BrO}^-}$	$\frac{0,455}{\text{Br}_2}$	$\frac{1,0652}{\text{Br}^-}$
			0,584		$\frac{0,766}{\text{Br}^-}$

Ковалентная связь	r, пм	E, кДж/моль
Br-H	140,8	366
Br-C	194	285
Br-O	160	234
Br-F	176	285
Br-Br	229	193
Br-B	187	410
Br-Si	215	310
Br-P	218	264

Состояния окисления

Br ^I	([Kr])	Br ⁻ (aq), HBr, KBr и т.д.
Br ^I	(s ² p ⁴)	Br ₂ O, BrCl ₂ ⁻
Br ^{III}	(s ² p ²)	BrF ₃ , BrF ₄ ⁻
Br ^{IV}	(s ² p ¹)	BrO ₂
Br ^V	(s ²)	BrO ₃ ⁻ (aq), BrF ₅ , BrF ₆ ⁻
Br ^{VII}	(d ¹⁰)	KBrO ₄ , BrF ₆ ⁺

Физические свойства

Температура плавления, К: 265,9

Температура кипения, К: 331,93

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: 10,8

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 30,0

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	152,231	75,689
Газообразное	111,884	82,396	175,022	20,786

Плотность, кг/м³: 4050 [123 К]; 3122,6 [293 К]; 7,59 [газ]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 0,122 [300 К] (жидк.)

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: -4,44 · 10⁻⁹ (жидк.)

Мольный объем, см³: 19,73 [123 К]

Тип кристаллической решетки (параметры ячейки, пм); пространственная группа

Орторомбическая (120 К) ($a = 673,7$; $b = 454,8$; $c = 876,1$); Смса

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 99,6; MoK_α 79,8

Открыт в 1826 г. А.Ж. Баларом (Монпелье, Франция) и С. Левигом (Гейдельберг, Германия)
[От греч. *bromos* - зловоние]

Бром (Bromine)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 6,8
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 28
Диапазон изотопных масс: 72→92

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распростране- нность в при- роде, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и энергия распа- да, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Приме- нение
^{77}Br	76,921378	0	57,0 ч	Э3 (1,365); β^+ ; 1+ γ			Метка
^{79}Br	78,918336	50,69	Стабилен		3/2-	+2,1064	ЯМР
^{81}Br	80,916289	49,31	Стабилен		3/2-	+2,2706	ЯМР
^{82}Br	81,914802	0	35,30 ч	β^+ (3,093); γ	5-	$\pm 1,6270$	Метка

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):	$[^{79}\text{Br}]$	^{81}Br
Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):	$7,86 \cdot 10^{-2}$	$9,85 \cdot 10^{-2}$
Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):	226	227
Квадрупольный момент, м ² :	$6,7023 \cdot 10^7$	$7,2246 \cdot 10^7$
Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:	$0,33 \cdot 10^{-28}$	$0,28 \cdot 10^{-28}$
Стандарт: NaBr(aq)	25,053	27,006

Основное электронное состояние: [Ar]3d¹⁰4s²4p⁵

Терм: $^3\text{P}_{3/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: 324,7

Свойства затекущий оболочки

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
614,860	I
635,073	I
655,980	I
663,162	I
751,296	I
827,244	I
844,655	I
926,542	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	1139,9	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	8550
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	2104	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	9940
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	3500	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	18600
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	4560	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(23900)
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	5760	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(28100)

в окружающей среде

Биологическая роль

Не изучена; Br⁻ мало токсичен, Br₂ очень токсичен
Содержание в человеческом организме:
Мышечная ткань, %: $7,7 \cdot 10^{-4}$
Костная ткань, %: $6,7 \cdot 10^{-4}$
Кровь, мг/л: 4,7
Ежедневный прием с пищей: 0,8 - 24 мг
Токсическая доза: 3 г
Летальная доза: > 36 г
Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 260 мг

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):
данные отсутствуют
Земная кора, %: $0,37 \cdot 10^{-4}$
Морская вода, %: $65 \cdot 10^{-4}$
Время пребывания, лет: $1 \cdot 10^8$
Геохимическая классификация:
накапливается
Степень окисления: -1

Геологические сведения

Основные запасы и источники:
соленые озера, природные рассолы,
Мертвое море, морская вода
Мировое производство Br₂, т/год:
330000
Запасы, т: практически неограничены

V

Атомный номер: 23

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 50,9415

Химические свойства

Блестящий, серебристый металл, в чистом виде мягкий. Устойчив к коррозии благодаря образованию защитной оксидной пленки. Реагирует с концентрированными кислотами, но не с расплавами щелочей. Применяется главным образом в сплавах и легированных стальях.

Радиус, пм: V^{2+} 72, V^{3+} 65, V^{4+} 61, V^{5+} 59, атомный 132,1

Электроотрицательность: 1,63 (по Полингу), 1,45 (по Оллреду), 3,6 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 3,30 (по Слейтеру), 4,98 (по Клементи), 6,65 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

V	IV	III	II	I	0
		-0,236			
		0,668			
Кислый раствор ($\text{pH} < 3$)	VO_2^+ 1,000	VO^+ $\frac{0,337}{0,361}$	V^{3+} -0,255	V^{2+} -1,13	V
Щелочнй раствор ($\text{pH} > 12$)	VO_4^{3-} 2,19	HV_2O_5 $\frac{0,542}{0,749}$	V_2O_3 -0,486	VO -0,820	V
			0,120		

Состояния окисления

V^{III}	(d ⁸)	$[\text{V}(\text{CO})_5]^{3-}$ (редко)
V^{I}	(d ⁶)	$[\text{V}(\text{CO})_6]$
V^0	(d ⁵)	$[\text{V}(\text{CO})_6]$
V^{I}	(d ⁴)	$[\text{V}(\text{дипиридил})_3]^+$
V^{II}	(d ³)	VO , $[\text{V}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ (aq), VF_2 , VCl_2 , комплексы
V^{III}	(d ²)	V_2O_3 , $[\text{V}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ (aq), VF_3 , VCl_3 , $[\text{VCl}_4]^-$
V^{IV}	(d ¹)	VO_2 , VO^{2+} (aq), VF_4 , VCl_4 , комплексы
V^{V}	(d ⁰ , [Ar])	V_2O_5 , VO_2^+ (aq), VO_4^{3-} (aq, щелочь), VF_5 , VF_6^- , комплексы

Физические свойства

Температура плавления, К: 2160

Температура кипения, К: 3650

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж / моль: 17,6

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: 458,6

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p° , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	28,91	24,89
Газообразное	514,21	754,43	182,298	26,012

Плотность, кг / м³: 6110 [292 К]; 5550 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт/(м · К): 30,7 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $24,8 \cdot 10^{-8}$ [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: $+6,28 \cdot 10^{-8}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 8,34

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $8,3 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

ОЦК ($a = 302,40$); Im3m

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см²/г: CuK_α 233; MoK_α 27,5

Открыт в 1801 г. А.М. дель Рио (Мехико, Мексика); повторно открыт в 1831 г. Н.Г. Селфстремом (Фалун, Швеция)
[Назван в честь Vanadis - скандинавской богини]

Ванадий (Vanadium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 5,06
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 11
Диапазон изотопных масс: 44→55

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и распада, МэВ	Энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{48}V	47,952257	0	15,98 дня	β^+ (4,015); γ		4+	1,63	Метка
^{49}V	48,948517	0	331 день	β^+ (0,601); нет γ		7/2-	4,47	Метка
^{50}V	49,947161	0,25	$> 3,9 \cdot 10^{17}$ лет	β^+		6+	3,34745	ЯМР
^{51}V	50,943962	99,75	Стабилен			7/2-	+5,1574	ЯМР

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):	$5,55 \cdot 10^{-2}$	$[^{50}\text{V}]$	^{51}V
Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):	0,755		0,38
Гиromагнитное отношение, рад/(Тл·с):		$2,6491 \cdot 10^7$	$7,0362 \cdot 10^7$
Квадрупольный момент, м ² :		$+0,21 \cdot 10^{-28}$	$-0,052 \cdot 10^{-28}$
Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:	9,970		26,289
Стандарт: VOCl_3			

Основное электронное состояние: $[\text{Ar}]3d^34s^2$

Терм: ${}^4\text{F}_{3/2}$
Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: 50,7

Свойства электронной оболочки

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
318,398	I
318,540 (AA)	I
411,178	I
437,924	I
438,472	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	650	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	12362
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1414	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	14489
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2828	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	16760
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	4507	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	19860
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	6294	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	22240

В окружающей среде

Биологическая роль

Важен для некоторых форм жизни, включая человека; стимулятор

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: $2 \cdot 10^{-6}$

Костная ткань, %: $0,35 \cdot 10^{-6}$

Кровь, мг/л: < 0,0002

Ежедневный прием с пищей: 0,04 мг

Токсическая доза: 0,25 мг

Летальная доза: 2-4 мг

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 0,11 мг

Распространенность

Солнце (относительно $H = 1 \cdot 10^{12}$):

$1,05 \cdot 10^{-4}$

Земная кора, %: $160 \cdot 10^{-4}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $1,1 \cdot 10^{-7}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: данные отсутствуют

Тихий океан, в поверхностных слоях: $1,6 \cdot 10^{-7}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $1,8 \cdot 10^{-7}$

Время пребывания, лет: 50 000

Геохимическая классификация: возобновляется

Степень окисления: V

Геологические сведения

Основные источники: патронит $[\text{VS}_4]$, ванадинит $[\text{Pb}_5(\text{VO}_4)_3\text{Cl}]$; получается попутно из руд других элементов и венесуэльской нефти
Мировое производство, т/год: 7000
Запасы, т: данные отсутствуют

Bi

Атомный номер: 83

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 208,9804

Химические свойства

Хрупкий металл, с серебристым блеском, розоватый. Устойчив к действию кислорода и воды. Растворяется в концентрированной азотной кислоте. Образует основной оксид. Применяется в сплавах, в электронике, в производстве катализаторов, лекарственных, косметических средств и красителей.

Радиус, пм: Bi^{5+} 74, Bi^{3+} 96, ковалентный 152, атомный 155, вандерваальсов 240

Электроотрицательность: 2,02 (по Полингу), 1,67 (по Оллреду), 4,69 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 6,30 (по Слейтеру), 13,34 (по Клементи), 16,90 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

V	III	0	-III
Bi^{5+}	Bi^{3+}	0,317	-0,97

Ковалентная связь	r, пм	E, кДж/моль
Bi-H	д.о.	194
Bi-C	230	143
Bi-O	232	339
Bi-F	235	314
Bi-Cl	248	285
Bi-Bi	309	200

Состояния окисления

Bi^{III}	BiH_3
Bi^{I}	Bi^+ , катионные кластеры Bi_3^+ , Bi_5^{3+} , Bi_9^{5+} и т.д.
Bi^{III}	Bi_2O_3 , $\text{Bi}(\text{OH})_3$, $\text{Bi}^{3+}(\text{aq})$, BiOCl , BiF_3 , BiCl_3 и т.д., $[\text{BiBr}_6]^{3-}$, соли
Bi^{V}	Bi_2O_5 (неустойчив), $[\text{Bi}(\text{OH})_6](\text{aq})$, NaBiO_3 , BiF_5 , KBiF_6

Физические свойства

Температура плавления, К: 544,5

Температура кипения, К: 1833 ± 5

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: 10,48

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 179,1

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	56,74	25,52
Газообразное	207,1	168,2	187,005	20,786

Плотность, кг/м³: 9747 [293 К]; 10050 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 7,87 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $106,8 \cdot 10^{-8}$ [273 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $-1,684 \cdot 10^{-8}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 21,44

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $13,4 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры ячейки, пм); пространственная группа

Ромбодрическая ($a = 454,950$, $c = 1186,225$); R $\bar{3}$ m

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 240, MoK_α 120

**Упоминается в XV веке; первооткрыватель неизвестен
[От нем. *bisemutum*]**

Висмут

(Bismuth)

**Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 0,034
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 35
Диапазон изотопных масс: 190→215**

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Приме- нение
^{206}Bi	205,978478	0	6,243 дня	Э3 (3,761); γ	6+	+4,56	Метка
^{207}Bi	206,987446	0	32,3 года	Э3 (2,40); γ	9/2-	4,10	
^{208}Bi	207,979717	0	$3,68 \cdot 10^5$ лет	Э3 (2,878); γ	5+		
^{209}Bi	208,980347	100	Стабилен		9/2-	+4,110	ЯМР
^{210m}Bi		0	$3 \cdot 10^6$ лет	α (4,96); β^- ; γ	9-		
^{210}Bi	209,984095	Следы	5,01 дня	β^- (1,16); α ; нет γ	1-	-0,044	Метка

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):

^{209}Bi

0,13

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

777

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):

$4,2986 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²:

$-0,4 \cdot 10^{-28}$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

16,069

Стандарт: KBF₆

Основное электронное состояние: [Xe]4f¹⁴5d¹⁰6s²6p³

Терм: $^4S_{3/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: 91,3

Основные линии

в атомном спектре

Энергии ионизации, кДж/моль

Свойства зеленой области

Длина волны, нм	Форма
202,121	I
206,170	I
211,026	I
223,061 (AA)	I
289,798	I
306,772	I

1. $M \rightarrow M^+$	703,2	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	8520
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1610	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	(10300)
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2466	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(12300)
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	4372	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(14300)
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	5400	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(16300)

в природной среде

Биологическая роль

Отсутствует; нетоксичен

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: $0,32 \cdot 10^{-5}$

Костная ткань, %: $< 0,2 \cdot 10^{-4}$

Кровь, мг/л: ~0,016

Ежедневный прием с пищей: 0,006 - 0,02 мг

Токсическая доза: данные отсутствуют

Летальная доза: данные отсутствуют

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): данные отсутствуют, но невелико

Распространенность

Содице (относительно H = 1 · 10^{12}): < 80

Земная кора, %: $0,48 \cdot 10^{-5}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $6,1 \cdot 10^{-12}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: данные отсутствуют

Тихий океан, в поверхностных слоях:

$4 \cdot 10^{-12}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $0,4 \cdot 10^{-12}$

Время пребывания, лет: данные отсутствуют

Геохимическая классификация: выводится

Степень окисления: III

Геологические сведения

Основные руды и источники: бисмит [$\alpha\text{-Bi}_2\text{O}_3$], бисмутинит [Bi_2S_3], бисмутит [$(\text{BiO})_2\text{CO}_3$]; основной способ получения - в виде побочного продукта при выплавке свинца и меди

Мировое производство, т/год: 3000

Запасы, т: данные отсутствуют

H

Атомный номер: 1
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 1,00794

Химические свойства

Бесцветный газ, без запаха, не растворяется в воде. На воздухе горит, образует с воздухом взрывоопасные смеси. Используется для получения аммиака, циклогексана, метанола и т.д.

Радиус, пм: H⁻ 154, атомный 78, ковалентный 30, вандерваальсов 120; H⁺ 10⁻⁵

Электроотрицательность: 2,20 (по Полингу), д.о. (по Оллреду), 7,18 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 1,00 (по Слейтеру), 1,00 (по Клементи), 1,00 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	I	0	-I
Кислый раствор	H ₃ O ⁺	0,00	-2,25
Щелочного раствора	H ₂ O	0,828	-2,25

Ковалентная связь	r, пм	E, кДж/моль
H-H	74,14	453,6
H-F	91,7	566
H-Cl	127,4	431
H-Br	140,8	366
H-I	160,9	299
См. также другие элементы - ковалентные связи с водородом		
² H- ² H	74,14	447,3

Физические свойства

Температура плавления, К: 14,01

Температура кипения, К: 20,28

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: 0,12

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 0,46

Тройная точка, К: 13,96

Критическая температура, К: 33,2

Критическое давление, кПа: 1297

Критический объем, см³/моль: 65,0

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S [°] , Дж/(К·моль)	C _p , Дж/(К·моль)
Газообразное (H ₂)	0	0	130,684	28,824
Газообразное (атом.)	217,965	203,247	114,713	20,784

Плотность, кг/м³: 76,0 [тв., 11 К], 70,8 [жидкость при т.кип.], 0,08988 [газ, 273 К]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 0,1815 [300 К] (газ)

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: -2,50 · 10⁻⁸ (газ)

Мольный объем, см³: 13,26 [11 К]

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

H₂ гексагональная плотноупакованная ($a = 377,6$; $c = 616,2$); P6₃/mmc

²H₂ гексагональная плотноупакованная ($a = 360,0$; $c = 585,8$); P6₃/mmc

H₂ кубическая ($a = 533,8$); Fm3m

²H₂ кубическая ($a = 509,2$); Fm3m

H₂ тетрагональная ($a = 450$; $c = 368$); I4

²H₂ тетрагональная ($a = 338$; $c = 560$)

T(гексагональная→кубическая) = 4,5 К

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 0,435; MoK_α 0,380

Индивидуальность как элемента доказана в 1766 г. Г. Кавендишем (Лондон, Англия)
[От греч. hydro genes - порождающий воду]

Водород (Hydrogen)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 0,332
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 3
Диапазон изотопных масс: 1→3

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полурас- пада $T_{1/2}$	Тип и энергия рас- пада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^1H	1,007825	99,985	Стабилен		$1/2$	+2,79284	ЯМР
^2H	2,0140	0,015	Стабилен		1	+0,85743	ЯМР
^3H	3,01605	0	12,26 года	β^- (0,01861); нет γ	$1/2$	+2,97896	Метка, в медицине

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):	^1H	^2H	^3H
(по определению)		$9,65 \cdot 10^{-3}$	1,21
Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):	5680	$8,2 \cdot 10^{-6}$	-
Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):	$26,7510 \cdot 10^7$	$4,1064 \cdot 10^7$	$28,5335 \cdot 10^7$
Квадрупольный момент, м ² :	-	$2,73 \cdot 10^{-31}$	-
Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:	100,000	15,351	106,663
Стандарт: $\text{Si}(\text{CH}_3)_4$			

Основное электронное состояние: $1s^1$

Терм: $^2S_{1/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: 72,8

Свойства затекущей оболочки

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
434,047	
486,133	
656,272	
656,285	
1875,10	

Энергии ионизации, кДж/моль

$1. M \rightarrow M^+$	1312,0
------------------------	--------

В окружающей среде

Биологическая роль

Входит в состав ДНК
Содержание в человеческом организме:
Мышечная ткань, %: 9,3
Костная ткань, %: 6,2
Кровь, мг/л: в составе воды
Ежедневный прием с пищей: главным образом в виде воды
Токсическая доза: нетоксичен
Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 7 кг

Распространенность

Солнце (относительно $H = 1 \cdot 10^{12}$):
принят за стандарт
Земная кора, %: 0,152
Морская вода, %: входит в состав воды
Атмосфера, об.%: $0,53 \cdot 10^{-4}$

Геологические сведения

Основные источники: метан ($\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} = 3 \text{ H}_2 + \text{CO}$); побочный продукт нефтепереработки и в химической промышленности; электролиз воды
Мировое производство, т/год: $360 \cdot 10^9$
Запасы, т: практически неограничены

W

Химические свойства

Атомный номер: 74

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 183,85

Получается в виде темно-серого тугоплавкого порошка. Металл - блестящий, серебристо-белый. Устойчив к действию кислорода, кислот и щелочей. Используется в сплавах, нитях накаливания для электрических ламп и для изготовления режущего инструмента.

Радиус, пм: W^{4+} 68, W^{6+} 62, атомный 137,0, ковалентный 130

Электроотрицательность: 2,36 (по Полингу), 1,40 (по Оллреду), 4,40 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 4,35 (по Слейтеру), 9,85 (по Клементи), 14,22 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	VI	V	IV	0
		-0,090		
Кислый раствор	W_0_3	-0,029	W_2O_5	-0,031
			W_0_2	-0,119
				W
		-1,074		
Щелочной раствор	$\text{W}_0_4^{2-}$	-1,259	W_0_2	-0,982
				W

Состояния окисления

W^{IV}	(d ¹⁰)	$[\text{W}(\text{CO})_4]^{4-}$
W^{II}	(d ⁸)	$[\text{W}(\text{CO})_5]^{2-}$
W^{I}	(d ⁷)	$[\text{W}_2(\text{CO})_{10}]^{2-}$
W^0	(d ⁶)	$\text{W}(\text{CO})_6$
W^{II}	(d ⁴)	WCl_2 , WBr_2 , WI_2 , комплексы
W^{III}	(d ³)	WCl_3 , WBr_3 , WI_3 , комплексы
W^{IV}	(d ²)	WO_2 , WF_4 , WCl_4 и т.д., WS_2 , комплексы
W^{V}	(d ¹)	W_2O_5 , WF_5 , WCl_5 , WF_6^- , комплексы
W^{VI}	(d ^{0,f14})	WO_3 , WO_4^{2-} , WF_6 , WCl_6 , WOCl_4 , поливольфраматы, комплексы

[Не существует аква-ионов W ни в одном из состояний окисления]

Физические свойства

Температура плавления, К: 3680±20

Температура кипения, К: 5930

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж / моль: 35,2

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: 799,1

Термодинамические свойства (298, 15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	32,64	24,27
Газообразное	849,4	807,1	173,950	21,309

Плотность, кг / м³: 19300 [293 К]; 17700 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 174 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $5,65 \cdot 10^{-8}$ [300 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: $+4,0 \cdot 10^{-9}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 9,53

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $4,59 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

ОЦК ($a = 316,522$); Im3m

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 172; MoK_α 99,1

Выделен в 1783 г. Ф.д'Элуюром и Х.Х.д'Элуюром
(Вергара, Испания)
[От шведск. tung sten - тяжелый камень]

Вольфрам (Tungsten)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 18,4
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 29
Диапазон изотопных масс: 160→190

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распростране- нность в при- роде, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Приме- нение
^{180}W	179,946701	0,12	Стабилен		0+		
^{182}W	181,948202	26,3	Стабилен		0+		
^{183}W	182,950220	14,28	Стабилен		1/2-	+0,11778	ЯМР
^{184}W	183,950928	30,7	Стабилен		0+		
^{185}W	184,953416	0	74,8 дня	β^- (0,433); γ	3/2-		Метка
^{186}W	185,954357	28,6	Стабилен		0+		
^{187}W	186,957153	0	23,9 ч	β^- (1,312); γ	3/2-	0,688	Метка

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):	$7,20 \cdot 10^{-4}$
Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):	0,0589
Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):	$1,1145 \cdot 10^7$
Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:	4,161
Стандарт: WF_6	

Основное электронное состояние: $[\text{Xe}]4f^{14}5d^46s^2$

Терм: $^5\text{D}_0$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж / моль: 78,6

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
202,998	II
207,911	II
255,135 (AA)	I
400,875	I
407,436	I
429,461	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	770	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	(5900)
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	(1700)	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	(2300)	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	(3400)	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	(4600)	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	

Свойства электронной облачек

В окружающей среде

Биологическая роль

Не изучена
Содержание в человеческом организме:
Мышечная ткань, %: данные отсутствуют
Костная ткань, %: $0,25 \cdot 10^{-7}$
Кровь, мг/л: 0,001
Ежедневный прием с пищей:
0,001 - 0,015 мг
Токсическая доза: данные отсутствуют
Летальная доза: > 30 мг (для крыс)
Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): данные отсутствуют

Распространенность

Солнце (относительно Н = $1 \cdot 10^{12}$):
50
Земная кора, %: $1 \cdot 10^{-4}$
Морская вода, %: $9,2 \cdot 10^{-9}$
Время пребывания, лет: данные отсутствуют
Степень окисления: VI

Геологические сведения

Основные руды: шеелит $[\text{CaWO}_4]$, вольфрамит $[(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4]$
Мировое производство, т/год: 45100
Запасы, т: $1,5 \cdot 10^6$

Gd

Атомный номер: 64

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 157,25

Химические свойства

Серебристо-белый металл семейства редкоземельных элементов. Медленно реагирует с кислородом и водой, растворяется в кислотах. Применяется в производстве магнитов, огнеупоров, в электронике, для нейтронной радиографии, в сплавах, в частности с железом для изготовления магнитооптических регистрирующих устройств.

Радиус, пм: Gd^{3+} 97, атомный 180,2, ковалентный 161

Электроотрицательность: 1,20 (по Полингу), 1,11 (по Оллреду), $\leq 3,3$ эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 2,85 (по Слейтеру), 8,22 (по Клементи), 11,28 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	III		0
Кислый раствор	Gd^{3+}	-2,28	Gd
Щелочного раствора	Gd(OH)_3	-2,82	Gd

Состояния окисления

Gd^{II}	(f^8)	GdI_2
Gd^{III}	(f^7)	Gd_2O_3 , Gd(OH)_3 , GdF_3 , GdCl_3 и т.д., $[\text{Gd}(\text{H}_2\text{O})_x]^{3+}$ (aq), соли и комплексы Gd^{3+}

Физические свойства

Температура плавления, К: 1586

Температура кипения, К: 3539

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж / моль: 15,5

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: 311,7

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж/(К · моль)	C_p° , Дж/(К · моль)
Твердое	0	0	68,07	37,03
Газообразное	397,5	359,8	193,314	27,547

Плотность, кг / м³: 7900,4 [298 К]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 10,6 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $134,0 \cdot 10^{-8}$ [298 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: $+6,030 \cdot 10^{-5}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 19,90

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $8,6 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

α -Gd гексагональная плотноупакованная ($a = 363,60$, $c = 578,26$); P6₃/mmc

β -Gd ОЦК ($a = 405$); Im3m

$T(\alpha \rightarrow \beta) = 1535$ К

Фаза высокого давления: ($a = 361$, $c = 2603$), R3m

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 439; MoK_α 64,4

Открыт в 1880 г. Ж.Ш. Галиссар де Мариньяком (Женева, Швейцария). Выделен в 1886 г. П.-Э. Лекок де Буабодраном (Париж, Франция)
[Назван в честь финского химика Ю. Гадолина]

Гадолиний (Gadolinium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 49000
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 23
Диапазон изотопных масс: 143m→163

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распа- да, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Приме- жение
^{152}Gd	151,919786	0,20	$1,1 \cdot 10^{14}$ лет	α (2,24)	0+		
^{153}Gd	152,921745	0	241,6 дня	β^+ (0,243); γ	$3/2^-$		Метка
^{154}Gd	153,920861	2,18	Стабилен		0+		
^{155}Gd	154,922618	14,80	Стабилен		$3/2^-$	-0,27	ЯМР
^{156}Gd	155,922118	20,47	Стабилен		0+		
^{157}Gd	156,923956	15,65	Стабилен		$3/2^-$	-0,36	ЯМР
^{158}Gd	157,924099	24,84	Стабилен		0+		
^{160}Gd	159,927049	21,86	Стабилен		0+		

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$): $2,79 \cdot 10^{-4}$

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$): 0,124

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с): $-0,8273 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²: $1,6 \cdot 10^{-28}$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц: 3,819

^{155}Gd

$5,44 \cdot 10^{-4}$

0,292

$-1,0792 \cdot 10^7$

$2 \cdot 10^{-28}$

4,774

Основное электронное состояние: $[\text{Xe}]4f^75d^16s^2$

Терм: $^9\text{D}_2$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: ≤50

Свойства электронной оболочки

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
342,247	II
364,619	II
368,413	I
376,839	II
368,305	I
407,870 (AA)	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	592,5	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1167	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	1990	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	4250	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$		10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; малотоксичен; стимулятор

Содержание в человеческом организме: д.о., но невелико

Распространенность Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$): 13,2

Земная кора, %: $7,7 \cdot 10^{-4}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $5,2 \cdot 10^{-11}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: $9,3 \cdot 10^{-11}$

Тихий океан, в поверхностных слоях: $6,0 \cdot 10^{-11}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $15 \cdot 10^{-11}$

Время пребывания, лет: 300

Геохимическая классификация: возобновляется

Степень окисления: III

Геологические сведения

Основные минералы и источники: монацит $[(\text{Ce}, \text{La}, \dots) \text{PO}_4]$; бастнезит $[(\text{Ce}, \text{La}, \dots) (\text{CO}_3)_2 \text{F}]$

Мировое производство, т/год: ~100

Запасы, т: ~10

Ga

Атомный номер: 31
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 69,723

Химические свойства

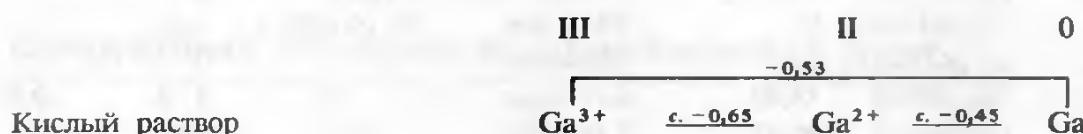
Мягкий, серебристо-белый металл; устойчив к воздействию воздуха и воды. Растворим в кислотах и щелочах. Характеризуется самым большим температурным диапазоном существования в жидким состоянии по сравнению со всеми другими элементами. С фосфором, мышьяком или сурьмой обладает свойствами полупроводника. Используется в светодиодах и в производстве микроволнового оборудования.

Радиус, пм: Ga^{3+} 62, Ga^+ 113, атомный 122,1, ковалентный 125

Электроотрицательность: 1,81 (по Полингу), 1,82 (по Оллреду), 3,2 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 5,00 (по Слейтеру), 6,22 (по Клементи), 6,72 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В



Состояния окисления

Ga^I	(s^2)	Ga_2O , GaCl_2 и т.д., $\text{Ga}_2\text{Cl}_4 = \text{Ga}^{\text{I}}[\text{Ga}^{\text{III}}\text{Cl}_4]$
Ga^{II}	(s^1)	$[\text{Ga}_2\text{Cl}_6]^{2-}$
Ga^{III}	($[d^{10}]$)	Ga_2O_3 , Ga(OH)_3 , $[\text{Ga}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}(\text{aq})$, GaF_3 , Ga_2Cl_6 , GaCl_6^{3-}

Физические свойства

Температура плавления, К: 302,93

Температура кипения, К: 2676

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж / моль: 5,59

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: 256,1

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	40,88	25,86
Газообразное	277,0	238,9	169,06	25,36

Плотность, кг / м³: 5907 [293 К]; 6113,6 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 40,6 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $27 \cdot 10^{-8}$ [273 К] (зависит от оси)

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: $-3,9 \cdot 10^{-9}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 11,81

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $11,5 \cdot 10^{-6}$ (вдоль оси *a*); $31,5 \cdot 10^{-6}$ (вдоль оси *b*); $16,5 \cdot 10^{-6}$ (вдоль оси *c*);

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

α -Ga орторомбическая (*a* = 451,86; *b* = 765,70; *c* = 452,58); Стса

β -Ga ромбическая (*a* = 290; *b* = 813; *c* = 317); Стсм (метастабильная фаза)

γ -Ga ромбическая (*a* = 1060; *b* = 1356; *c* = 519); Сmc2₁

$T(\gamma \rightarrow \alpha) = 238$ К

Фаза высокого давления: (*a* = 279; *c* = 438); I4 / mmm

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 67,9; MoK_α 60,1

Открыт в 1875 г. Полем-Эмилем Лекок де Буабодраном (Париж, Франция)
[От лат. Gallia - Франция]

Галлий (Gallium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 2,9
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 23
Диапазон изотопных масс: 62→83

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полураспа- да $T_{1/2}$	Тип и энергия рас- пада, МэВ	Ядер- ный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Применение
^{67}Ga	66,928420	0	78,25 ч	β^- (1,001); γ	3/2-	+1,8507	В медицине, метка
^{69}Ga	68,925580	60,11	Стабилен		3/2-	+2,01659	ЯМР
^{71}Ga	70,924700	39,89	Стабилен		3/2-	+2,56227	ЯМР
^{72}Ga	71,926365	0	13,95. ч	β^- (3,99); γ	3-	-0,13224	Метка

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$): [^{69}Ga]

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$): $6,91 \cdot 10^{-2}$

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с): 237

Квадрупольный момент, м²: $6,420 \cdot 10^7$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц: $0,178 \cdot 10^{-28}$

Стандарт: $\text{Ga}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ 319

$8,158 \cdot 10^7$

$0,112 \cdot 10^{-28}$

30,495

Основное электронное состояние: $[\text{Ar}]3\text{d}^{10}4\text{s}^24\text{p}^1$

Терм: $^2\text{P}_{1/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж / моль: ~30

Основные линии

в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
287,424 (AA)	I
294,364	I
403,299	I
417,204	I
639,656	I
641,344	I

Энергии ионизации,

кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	578,8	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	(11400)
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1979	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	(14400)
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2963	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(17700)
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	6200	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(22300)
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	(8700)	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(26100)

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; стимулятор

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: $0,14 \cdot 10^{-6}$

Костная ткань, %: данные отсутствуют

Кровь, мг/л: < 0,08

Ежедневный прием с пищей: данные отсутствуют, но доза невелика

Токсическая доза: малотоксичен

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): данные отсутствуют

Распространенность

Солнце (относительно $H = 1 \cdot 10^{12}$): 63I

Земная кора, %: $18 \cdot 10^{-4}$

Морская вода, %: $3 \cdot 10^{-9}$

Время пребывания, лет: 10000

Геохимическая классификация: данные отсутствуют

Степень окисления: III

Геологические сведения

Основные руды и источники: присутствует в количествах более 1% в минералах других элементов. Извлекается как побочный продукт при очистке цинка и меди.

Мировое производство, т/год: 30

Запасы, т: данные отсутствуют

Hf

Атомный номер: 72
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 178,49

Химические свойства

Блестящий, серебристый, пластичный металл. Устойчив к коррозии благодаря оксидной пленке, но порошок гафния воспламеняется на воздухе. Не взаимодействует с кислотами (за исключением HF) и щелочами. Применяется в контрольных стержнях для ядерных реакторов, высокотемпературных сплавах и керамике.

Радиус, пм: Hf⁴⁺ 84, атомный 156,4, ковалентный 144

Электроотрицательность: 1,3 (по Полингу), 1,23 (по Оллреду), 3,8 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 3,15 (по Слейтеру), 9,16 (по Клементи), 13,27 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

IV	0
Hf ⁴⁺	-1,70
HfO ₂	-1,57

Состояния окисления

Hf ^I	(d ³)	HfCl?
Hf ^{II}	(d ²)	HfCl ₂ ?
Hf ^{III}	(d ¹)	HfCl ₃ , HfBr ₃ , HfI ₃ , Hf ³⁺ востанавливает воду
Hf ^{IV}	(d ⁰ f ¹⁴)	HfO ₂ , Hf(OH) ³⁺ (aq), HfF ₄ , HfCl ₄ и т.д., HfF ₆ ²⁻ , HfF ₇ ³⁻ , HfF ₈ ⁴⁻

Физические свойства

Температура плавления, К: 2503

Температура кипения, К: 5470

$\Delta H_{\text{пп}}$, кДж / моль: 25,5

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: 661,1

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	43,56	25,73
Газообразное	619,2	576,5	186,892	20,803

Плотность, кг / м³: 13310 [293 К]; 12000 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 23,0 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $35,1 \cdot 10^{-8}$ [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: $+5,3 \cdot 10^{-9}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 13,41

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $5,9 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

α -Hf гексагональная плотноупакованная ($a = 319,46$; $c = 505,10$); P6₃/mmc

β -Hf кубическая ($a = 362$)

$T(\alpha \rightarrow \beta) = 2033$ К

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 159; MoK_α 91,7

Открыт в 1923 г. Д. Костером и Д. Хевеши (Копенгаген, Дания)
[От лат. Hafnia - Копенгаген]

Гафний (Hafnium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 104
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 33
Диапазон изотопных масс: 158→184

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распростране- нность в при- роде, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распа- да, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{172}Hf	171,939460	0	1,87 лет	Э3 (0,35); γ	0+		Метка
^{174}Hf	173,940044	0,16	Стабилен	α (2,55)	0+		
^{175}Hf	174,941507	0	70 дней	Э3 (0,686)	5/2-	0,70	Метка
^{176}Hf	175,941406	5,21	Стабилен		0+		
^{177}Hf	176,943217	18,6	Стабилен		7/2+	+0,7935	
^{178}Hf	177,943696	27,30	Стабилен		0+		
^{179}Hf	178,945812	13,63	Стабилен		9/2+	-0,6409	ЯМР
^{180}Hf	179,946545	35,10	Стабилен		0		
^{181}Hf	180,949096	0	42,4 дня	β^- (1,027); γ	1/2-		Метка
^{182}Hf	181,950550	0	$9 \cdot 10^6$ лет	β^- (0,431)	0+		Метка

ЯМР (плохо наблюдается)

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):

^{177}Hf

^{179}Hf

$2,16 \cdot 10^{-4}$

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

0,88

0,27

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):

$+0,945 \cdot 10^7$

$-0,609 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²:

$4,5 \cdot 10^{-28}$

$5,1 \cdot 10^{-28}$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

3,120

1,869

Основное электронное состояние: [Xe]4f¹⁴5d²6s²

Терм: $^3\text{F}_2$

Средство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: ~0

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
201,278	II
202,818	II
286,637	I
289,826	I
307,288 (AA)	I
329,980	II
368,224	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	642	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1440	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2250	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	3216	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$		10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$

Свойства электронной оболочки

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; нетоксичен

Содержание в человеческом организме: данные отсутствуют

Распространенность

Солнце (относительно $H = 1 \cdot 10^{12}$):

6

Земная кора, %: $5,3 \cdot 10^{-4}$

Морская вода, %: $7 \cdot 10^{-10}$

Время пребывания, лет: данные отсутствуют

Геохимическая классификация: данные отсутствуют

Степень окисления: IV

Геологические сведения

Основные руды и источники: альвит $[(\text{Hf}, \text{Th}, \text{Zr})\text{SiO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}]$; но получают Hf как побочный продукт при очистке циркония

Мировое производство, т/год: ~50

Запасы, т: данные отсутствуют

Не

Атомный номер: 2

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 4,002602

Химические свойства

Бесцветный газ, без запаха. Химически неактивен. Используется при водолазных работах на больших глубинах, в аэростатах (в том числе метеорологических) и в приборах для низкотемпературных исследований.

Радиус, пм: атомный 128, вандерваальсов 122

Электроотрицательность: д.о. (по Полингу), д.о. (по Оллреду), [12,3 эВ (абсолютная)]

Эффективный заряд ядра: 1,70 (по Слейтеру); 1,69 (по Клементи); 1,62 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

Данные отсутствуют

Ковалентные связи

Не образует

Состояния окисления

Только He^0 (газ)

Физические свойства

Температура плавления, К: 0,95 (под давлением)

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 0,082

Температура кипения, К: 4,216

Критическая температура, К: 5,19

$\Delta H_{\text{пп}}$, кДж/моль: 0,021

Критическое давление, кПа: 227

Критический объем, см³/моль: 57,3

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Газообразное	0	0	126,150	20,786

Плотность, кг/м³: д.о. [тв.]; 124,8 [жидкость при т. кип.], 0,1785 [газ, 273 К]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 0,152 [300 К] (газ)

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: -5,9 · 10⁻⁹ (газ)

Мольный объем, см³: 32,07 [4 К]

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

α -Не гексагональная плотноупакованная ($a = 353,1$; $c = 569,3$); Р6₃/mmc [$T = 1,15$ К, $p = 6,69$ МПа]

β -Не ГЦК ($a = 424,0$); Fm3m [$T = 16$ К, $p = 127$ МПа]

γ -Не ОЦК ($a = 411$); Im3m [$T = 1,73$ К, $p = 2,94$ МПа]

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 0,383; MoK_α 0,207

**Открыт в 1895 г. сэром Уильямом Рамзаем (Лондон, Англия) и независимо П.Клеве и Н.А.Лангле (Упсала, Швеция)
[От греч. helios - солнце]**

**Гелий
(Helium)**

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: ~0,007

Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 5

Диапазон изотопных масс: 3→8, кроме 7

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распространенность в природе, %	Период полу-распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Применение
^3He	3,01603	0,000138	Стабилен		1/2	-2,12762	ЯМР, метка
^4He	4,00260	99,999862	Стабилен		3/2-		

ЯМР (для соединений неизвестен)

^3He

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):

0,44

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

0,00326

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):

$-20,378 \cdot 10^7$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

76,178

Основное электронное состояние: $1s^2$

Терм: 1S_0

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж / моль: 0,0

Основные линии

в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
388,865	
587,562	
1083,025	
1083,034	
1868,534	
2058,130	

Энергии ионизации, кДж/моль

$M \rightarrow M^+$	2372,3
$M^+ \rightarrow M^{2+}$	5250,4

**Свойства
электронной
оболочки**

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; не токсичен, но может вызывать асфиксию

Содержание в человеческом организме: данные отсутствуют, но очень мало

Распространенность

Солнце (относительно $H = 1 \cdot 10^{12}$): $6,31 \cdot 10^{-10}$

Земная кора, %: $0,8 \cdot 10^{-6}$

Морская вода, %: $4 \cdot 10^{-10}$

Время пребывания, лет: данные отсутствуют

Степень окисления: 0

Атмосфера, об.%: $5,2 \cdot 10^{-4}$

Геологические сведения

Основные источники: природный газ может содержать до 7% гелия

Мировое производство, т/год:

~ 4600

Запасы, т: данные отсутствуют; в атмосфере содержится $3,7 \cdot 10^8$

Ge

Атомный номер: 32
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12.0000$): 72,61

Химические свойства

Германий сверхвысокой чистоты - это серебристо-белый, хрупкий неметалл. Устойчив к воздействию воздуха и воды, а также кислот (кроме азотной) и щелочей. Применяется в полупроводниках, сплавах и специальных стеклах для инфракрасной оптики.

Радиус, пм: Ge^{2+} 90, атомный 122,5, ковалентный 122, Ge^{4-} 272

Электроотрицательность: 2,01 (по Полингу), 2,02 (по Оллреду), 4,6 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 5,65 (по Слейтеру), 6,78 (по Клементи), 7,92 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	IV	II	0	-IV
Кислый раствор	GeO_2 —0,370	GeO 0,255	Ge —0,29	GeH_4
	Ge^{4+} 0,00	Ge^{2+} —0,247		

[Щелочные растворы содержат несколько форм.]

Ковалентная связь	r , пм	E , кДж/моль
Ge-H	152,9	288
Ge-C	194	237
Ge-O	165	363
Ge-F	170	464
Ge-Cl	210	340
Ge-Ge	241	163

Состояния окисления

Ge^{II} (s^2) GeO , GeS , GeF_2 , GeCl_2 и т.д.
 Ge^{IV} (d^{10}) GeO_2 , GeH_4 и т.д., GeF_4 ,
 GeCl_4 и т.д., GeF_6^{2-} , GeCl_6^{2-} ,
 GeS_2 , $[\text{GeO}(\text{OH})_3]^{(\text{aq})}$

Физические свойства

Температура плавления, К: 1210,6

Температура кипения, К: 3103

$\Delta H_{\text{пп}}$, кДж/моль: 34,7

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 334,3

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	31,09	23,347
Газообразное	376,6	335,9	167,900	30,731

Плотность, кг/ м^3 : 5323 [293 К]; 5490 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 59,9 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: 0,46 [295 К]

Удельная магнитная восприимчивость, $\text{м}^3/\text{кг}$: $-1,328 \cdot 10^{-9}$ (тв.)

Мольный объем, см^3 : 13,64

Температурный коэффициент линейного расширения, K^{-1} : $5,57 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

Кубическая ($a = 565,754$); Fd3m, структура алмаза

Фазы высокого давления: ($a = 488,4$; $c = 269,2$); I4₁/amd

($a = 593$; $c = 698$); P4₃2₁2

($a = 692$); ОЦК

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), $\text{см}^2/\text{г}$: CuK_{α} 75,6; MoK_{α} 64,8

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 2,2
 Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 24
 Диапазон изотопных масс: 64→83

Ядерные
 свойства

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распа- да, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Приме- нение
^{68}Ge	67,928096	0	288 дней	Э3 (0,11); γ	0+		Метка
^{70}Ge	69,924250	20,5	Стабилен		0+		
^{71}Ge	70,924953	0	11,2 дня	Э3 (0,236); γ	1/2-	+0,547	Метка
^{72}Ge	71,922079	27,4	Стабилен		0+		
^{73}Ge	72,923463	7,8	Стабилен		9/2+	-0,87946	ЯМР
^{74}Ge	73,921177	36,5	Стабилен		0+		
^{76}Ge	75,921401	7,8	Стабилен		0+		
^{77}Ge	76,923548	0	11,30 ч	β^- (2,70); γ	7/2+		Метка

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):



$$1,4 \cdot 10^{-3}$$

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

$$0,617$$

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):

$$-0,9331 \cdot 10^7$$

Квадрупольный момент, м²:

$$-0,2 \cdot 10^{-28}$$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

$$3,488$$

Стандарт: $\text{Ge}(\text{CH}_3)_4$

Основное электронное состояние: [Ar]3d¹⁰4s²4p²

Терм: $^3\text{P}_0$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: 116

Основные линии

в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
204,171	I
206,866	I
209,426	I
259,253	I
265,117	I
265,157 (AA)	I

Энергии ионизации,
 кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	762,1	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	(11900)
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1537	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	(15000)
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	3302	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(18200)
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	4410	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(21800)
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	9020	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(27000)

Свойства
 электронной
 оболочки

Радиоактивные изотопы

Биологическая роль

Отсутствует; стимулятор

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: $0,14 \cdot 10^{-4}$

Костная ткань, %: данные отсутствуют

Кровь, мг/л: ~0,44

Ежедневный прием с пищей: 0,4 - 1,6 мг

Токсическая доза: нетоксичен

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): данные отсутствуют

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):

3160

Земная кора, %: $1,8 \cdot 10^{-4}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $0,07 \cdot 10^{-10}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: $0,14 \cdot 10^{-10}$

Тихий океан, в поверхностных слоях: $0,35 \cdot 10^{-10}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $7,00 \cdot 10^{-10}$

Время пребывания, лет: 20000

Геохимическая классификация:

возобновляется

Степень окисления: IV

Геологические сведения

Основные минералы и источники: германит $[\text{Cu}_3(\text{Ge}, \text{Fe})(\text{S}, \text{As})_4]$ (редкий минерал); часто сопутствует другим элементам. Ge извлекают как побочный продукт очистки цинка и меди

Мировое производство, т/год: 80

Запасы, т: данные отсутствуют

No

Атомный номер: 67
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 164,93032

Химические свойства

Серебристый металл семейства редкоземельных элементов. Медленно реагирует с кислородом и водой, растворяется в кислотах. Применяется для концентрирования шлаков в высоких магнитных полях.

Радиус, пм: Ho³⁺ 89, атомный 176,6, ковалентный 158

Электроотрицательность: 1,23 (по Полингу), 1,10 (по Оллреду), $\leq 3,3$ эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 2,85 (по Слейтеру), 8,44 (по Клементи), 11,60 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	III	0
Кислый раствор	Ho ³⁺	-2,33
Щелочной раствор	Ho(OH) ₃	-2,85
	Ho	Ho

Состояния окисления

Ho^{III} (f^{10}) Ho₂O₃, Ho(OH)₃, Ho(H₂O)_x³⁺ (aq), со-
ли Ho³⁺, HoF₃, HoCl₃ и т.д., HoCl₆³⁻,
комплексы

Физические свойства

Температура плавления, К: 1747

Температура кипения, К: 2968

$\Delta H_{\text{пп}}$, кДж/моль: 17,2

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 251,0

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	75,3	27,15
Газообразное	300,8	264,8	195,59	20,79

Плотность, кг/м³: 8795 [298 К]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 16,2 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $87 \cdot 10^{-8}$ [298 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $+5,49 \cdot 10^{-8}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 18,75

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $9,5 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

α -No гексагональная плотноупакованная ($a = 357,73$; $c = 561,58$); P6₃/mmc

β -No ОЦК ($a = 396$); Im3m

T ($\alpha \rightarrow \beta$) вблизи точки плавления

Фаза высокого давления: ($a = 334$; $c = 2410$); R $\bar{3}m$

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 128; MoK_α 73,9

**Открыт в 1878 г. П. Клеве (Упсала, Швеция) и независимо
М. Делафонтеином и Ж.-Л. Соре (Женева, Швейцария)
[От лат. Holmia - Стокгольм]**

**Гольмий
(Holmium)**

**Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 65
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 39
Диапазон изотопных масс: 148→170**

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распростра- ненность природе, %	Период полу- в распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распа- да, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{165}Ho	164,930319	100	Стабилен		$7/2^-$	+4,173	ЯМР
^{166}Ho	165,932281	0	1,117 дня	β^- (1,854)	0-		Метка

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):

^{165}Ho

0,18

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

$1,16 \cdot 10^3$

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):

$5,710 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²:

$2,82 \cdot 10^{-28}$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

20,513

Основное электронное состояние: [Xe]4f¹¹6s²

Терм: $^4\text{I}_{15/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: ≤50

**Свойства
захватывающей
оболочки**

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
345,600	II
379,675	II
381,073	II
389,102	II
405,393	I
410,384 (AA)	I
416,303	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	580,7
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1139
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2204
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	4100
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; малотоксичен; стимулятор

Содержание в человеческом организме: д.о., но невелико

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):

данные отсутствуют

Земная кора, %: $1,4 \cdot 10^{-4}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $2,4 \cdot 10^{-11}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: $2,9 \cdot 10^{-11}$

Тихий океан, в поверхностных слоях: $1,6 \cdot 10^{-11}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $5,8 \cdot 10^{-11}$

Время пребывания, лет: данные отсутствуют

Геохимическая классификация: возобновляется

Степень окисления: III

Геологические сведения

Основные минералы и источники: монацит $[(\text{Ce}, \text{La}, \dots) \text{PO}_4]$; бастнезит $[(\text{Ce}, \text{La}, \dots)(\text{CO}_3)_2 \text{F}]$

Мировое производство, т/год: ~100

Запасы, т: ~ 10^6

Dy

Атомный номер: 66
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 162,50

Химические свойства

Серебристый, реакционноспособный, твердый металл семейства редкоземельных элементов. Окисляется кислородом, бурно реагирует с водой, растворяется в кислотах. Применяется в сплавах для изготовления магнитов.

Радиус, пм: Dy³⁺ 91, атомный 177,3, ковалентный 159

Электроотрицательность: 1,22 (по Полингу), 1,10 (по Оллреду)

Эффективный заряд ядра: 2,85 (по Слейтеру), 8,34 (по Клементи), 11,49 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	IV	III	II	I
			- 2,29	
Кислый раствор	Dy ⁴⁺ $\frac{5,7}{3,5}$	Dy ³⁺ $\frac{-2,5}{-2,80}$	Dy ²⁺ $\frac{-2,2}{-2,80}$	Dy
Щелочного раствора	DyO ₂ $\frac{3,5}{\cdot \text{Dy(OH)}_3}$			

Состояния окисления

Dy ^{II}	(f ¹⁰)	DyCl ₂ , DyI ₂
Dy ^{III}	(f ⁹)	Dy ₂ O ₃ , Dy(OH) ₃ , DyF ₃ , DyCl ₃ и т.д., Dy(H ₂ O) _x ³⁺ (aq), соли Dy ³⁺ , DyCl ₆ ³⁻
Dy ^{IV}	(f ⁸)	Cs ₃ DyF ₇

Физические свойства

Температура плавления, К: 1685

Температура кипения, К: 2835

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж / моль: 17,2

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: 293

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p' , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	74,77	28,16
Газообразное	290,4	254,4	196,63	20,79

Плотность, кг / м³: 8550 [293 К]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 10,7 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $57,0 \cdot 10^{-8}$ [273 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: $+8,00 \cdot 10^{-6}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 19,00

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $10,0 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры ячейки, пм); пространственная группа

Ромбическая ($a = 359,5$; $b = 618,3$; $c = 567,7$); Стмт

Гексагональная плотноупакованная ($a = 359,03$; $c = 564,75$); Р6₃/ммс

ОЦК ($a = 398$); Им3м

T (ромбич. \rightarrow гексагон.) = 86 К

Фаза высокого давления: ($a = 334$; $c = 245$); R3m

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 286; MoK_α 70,6

Открыт в 1886 г. Полем-Эмилем Лекок де Буабодраном
(Париж, Франция)
[От греч. dysprositos - получаемый с трудом]

Диспрозий

(Dysprosium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 920
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 24
Диапазон изотопных масс: 147м→168

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распространенность в природе, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Применение
^{154}Dy	153,924429	0	$3 \cdot 10^6$ лет	α	0+		
^{156}Dy	155,925277	0,06	Стабилен		0+		
^{158}Dy	157,924403	0,10	Стабилен		0+		
^{160}Dy	159,925193	2,34	Стабилен		0+		
^{161}Dy	160,926930	18,9	Стабилен		5/2+	-0,48	ЯМР
^{162}Dy	161,926795	25,5	Стабилен		0+		
^{163}Dy	162,928728	24,9	Стабилен		5/2-	+0,673	ЯМР
^{164}Dy	163,929171	28,2	Стабилен		0+		

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):	$4,17 \cdot 10^{-4}$	^{161}Dy	^{163}Dy
Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):	0,509		1,12 $\cdot 10^{-3}$
Гиромагнитное отношение, рад/(Тл · с):		-0,9206 $\cdot 10^7$	1,2750 $\cdot 10^7$
Квадрупольный момент, м ² :		$1,4 \cdot 10^{-28}$	$1,6 \cdot 10^{-28}$
Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:	3,294		4,583

Основное электронное состояние: [Xe]4f¹⁰6s²

Терм: $^5\text{I}_8$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж / моль: данные отсутствуют

Основные линии

в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
353,170	II
364,540	II
394,468	II
396,839	II
404,597	I
418,682	I
421,172 (AA)	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	571,9	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1126	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2200	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	4001	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$		10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$

Свойства электронной оболочки

в окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; малотоксичен; стимулятор

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: д.о., но невелико

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):

11,5

Земная кора, %: $6 \cdot 10^{-4}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $8 \cdot 10^{-11}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: $9,6 \cdot 10^{-11}$

Время пребывания, лет: 300

Геохимическая классификация: возобновляется

Степень окисления: III

Геологические сведения

Основные минералы и источники: монацит [(Ce, La, ...) PO_4]; бастнезит [(Ce, La, ...)(CO₃)F]

Мировое производство, т/год: ~100

Запасы, т: ~10

Eu

Атомный номер: 63
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 151,965

**Химические
свойства**

Редко встречающийся и наиболее реакционноспособный элемент из семейства редкоземельных. Мягкий, серебристый металл, быстро взаимодействующий с кислородом и водой. Применяется мало. Возможно использование в сплавах для изготовления сверхпроводящих пленок.

Радиус, пм: Eu^{2+} 112, Eu^{3+} 98, атомный 204,2, ковалентный 185

Электроотрицательность: д.о. (по Полингу), 1,01 (по Оллреду), $\leq 3,1$ эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 2,85 (по Слейтеру), 8,11 (по Клементи), 11,17 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	III	II	0
		-1,99	
Кислый раствор	Eu^{3+} -0,35	Eu^{2+} -2,80	Eu
Щелочного раствора	Eu(OH)_3 -2,51		Eu

Состояния окисления

Eu^{II}	(f ⁷)	EuO , EuS , EuF_2 , EuCl_2 и т.д.
Eu^{III}	(f ⁶)	Eu_2O_3 , Eu(OH)_3 , EuF_3 , EuCl_3 и т.д., $\text{Eu}(\text{H}_2\text{O})_x^{3+}$ (aq), соли Eu^{3+} , комплексы

**Физические
свойства**

Температура плавления, К: 1095

Температура кипения, К: 1870

$\Delta H_{\text{пп.}}$, кДж/моль: 10,5

$\Delta H_{\text{исп.}}$, кДж/моль: 175,7

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр.}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр.}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	77,78	27,66
Газообразное	175,3	142,2	188,795	20,786

Плотность, кг/м³: 5243 [293 К]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 13,9 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $90,0 \cdot 10^{-8}$ [298 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $+2,81 \cdot 10^{-6}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 28,98

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $32 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

ОЦК ($a = 458,20$); $\text{Im}3m$

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 425; MoK_α 61,5

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 4600
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 26
Диапазон изотопных масс: 141 м → 160

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная мас- са	Распределя- емость в природе, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин /	Ядерный магнитный момент μ	Приме- нение
^{151}Eu	150,919847	47,8	Стабилен		5/2+	+3,464	ЯМР
^{152}Eu	151,921742	0	13,4 года	Э3 (1,876) 72%; 3- β^- (1,822) 28%; γ	3-	-1,924	Метка
^{152m}Eu		0	9,3 ч	β^- ; γ	0-		Метка
^{153}Eu	152,921225	52,2	Стабилен		5/2+	+1,530	ЯМР

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):	0,18	^{151}Eu	^{153}Eu
Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):	$4,64 \cdot 10^2$		45,7
Гиромагнитное отношение, рад/(Тл · с):	$6,5477 \cdot 10^7$		$2,9371 \cdot 10^7$
Квадрупольный момент, м ² :	$1,16 \cdot 10^{-28}$		$2,9 \cdot 10^{-28}$
Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:	24,801		10,951

Основное электронное состояние: $[\text{Xe}]4f^76s^2$

Терм: $^8S_{7/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: ≤ 50

Основные линии

в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
318,967	II
412,974	II
420,505	II
459,402 (AA)	I
462,722	I
466,187	I

**Энергии ионизации,
кДж/моль**

1. $M \rightarrow M^+$	546,7
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1085
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2404
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	4110
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	

**Свойства
электронной
выводки**

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; малотоксичен

Содержание в человеческом организме: д.о., но невелико

Распространенность

Солнце (относительно $H = 1 \cdot 10^{12}$):

б

Земная кора, %: $2,1 \cdot 10^{-4}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $0,9 \cdot 10^{-11}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: $1,6 \cdot 10^{-11}$

Тихий океан, в поверхностных слоях: $1,0 \cdot 10^{-11}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $2,7 \cdot 10^{-11}$

Время пребывания, лет: 500

Геохимическая классификация:
возобновляется

Степень окисления: III

**Геологические
сведения**

Основные минералы и источники:
моанцит $[(\text{Ce}, \text{La}, \dots)\text{PO}_4]$; бастнезит

$[(\text{Ce}, \text{La}, \dots)(\text{CO}_3)\text{F}]$

Мировое производство, т/год: ≈ 100

Запасы, т: ~10

Fe

Атомный номер: 26
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 55,847

Химические свойства

Радиус, пм: Fe^{2+} 82, Fe^{3+} 67, атомный (α-форма) 124,1, ковалентный 116,5

Электроотрицательность: 1,83 (по Полингу), 1,64 (по Оллреду), 4,06 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 3,75 (по Слейтеру), 5,43 (по Клементи), 7,40 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

VI	III	II	0
		-0,04	
Кислый раствор (рН 0)	$\text{Fe}^{3+} \quad 0,771$	$\text{Fe}^{2+} \quad -0,44$	Fe
	$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} \quad 0,361$	$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{2-} \quad -1,16$	Fe
Щелочный раствор (рН 14)	$\text{FeO}_4^{2-} \quad \sim 0,55$	$\text{FeO}_2^- \quad \sim -0,69$	$\text{HFeO}_2^- \quad \sim -0,8$
			Fe

Состояния окисления

Fe^{II}	(d^{10})	$\text{Fe}(\text{CO})_4^{2-}$ (редко)
$\text{Fe}^{\text{-I}}$	(d^9)	$\text{Fe}_2(\text{CO})_8^{2-}$ (редко)
Fe^{0}	(d^8)	$\text{Fe}(\text{CO})_5$
Fe^{I}	(d^7)	$[\text{Fe}(\text{NO})(\text{H}_2\text{O})_5]^{2+}$ (редко)
Fe^{II}	(d^6)	$\text{FeO}, \text{FeS}_2 [= \text{Fe}^{\text{II}}\text{S}_2^{2-}], \text{Fe}(\text{OH})_2, [\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}(\text{aq}),$ $\text{FeF}_2, \text{Fe}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$ и т.д.
Fe^{III}	(d^5)	$\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Fe}_3\text{O}_4 [= \text{Fe}^{\text{II}}\text{O} \cdot \text{Fe}^{\text{III}}\text{O}_3], \text{FeF}_3, \text{FeCl}_3,$ $\text{FeO}(\text{OH}), [\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}(\text{aq})$ и т.д.
Fe^{IV}	(d^4)	Некоторые комплексы (редко)
Fe^{V}	(d^3)	$\text{FeO}_4^{3-} ?$
Fe^{VI}	(d^2)	FeO_4^{2-}

Физические свойства

Температура плавления, К: 1808

Температура кипения, К: 3023

$\Delta H_{\text{пл.}}$, кДж/моль: 14,9

$\Delta H_{\text{исп.}}$, кДж/моль: 351,0

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр.}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр.}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	27,28	25,10
Газообразное	416,3	370,7	180,490	25,677

Плотность, кг/м³: 7874 [293 К]; 7035 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 80,2 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $9,71 \cdot 10^{-8}$ [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: ферромагнетик

Мольный объем, см³: 7,09

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $12,3 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

α -Fe ОЦК ($a = 286,645$); Im3m

β -Fe не истинная аллотропная модификация

γ -Fe ГЦК ($a = 364,68$); Fm3m

δ -Fe ОЦК ($a = 293,22$); Im3m

$T(\alpha \rightarrow \gamma) = 1183$ К

$T(\gamma \rightarrow \delta) = 1663$ К

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK α 308; MoK α 38,5

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 2,56
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 16
Диапазон изотопных масс: 49→63

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин / квантовый число	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{52}Fe	51,948114	0	8,28 ч	β^+ (2,37) 57%; Э3 (2,37) 43%; γ	0+		Метка
^{54}Fe	53,939612	5,82	Стабилен		0+		
^{55}Fe	54,938296	0	2.7 года	Э3 (0,2314); нет γ	3/2-		Метка, в медицине
^{56}Fe	55,934939	91,18	Стабилен		0+		
^{57}Fe	56,935396	2,1	Стабилен		1/2-	+0,09044	ЯМР
^{58}Fe	57,933277	0,28	Стабилен		0+		
^{59}Fe	58,934877	0	44,51 дня	β^- (1,565); γ	3/2+	0,29	Метка, в медицине
^{60}Fe	59,934080	0	$\sim 10^5$ лет	β^- (0,243)	0+		

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):	$3,37 \cdot 10^{-5}$
Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):	$4,2 \cdot 10^{-3}$
Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):	$0,8661 \cdot 10^7$
Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:	3,231
Стандарт: $\text{Fe}(\text{CO})_5$	

Основное электронное состояние: $[\text{Ar}]3d^64s^2$

Терм: $^5\text{D}_4$

Средство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: 15,7

**Основные линии
в атомном спектре**

Длина волны, нм	Форма
248,327 (AA)	I
248,814	I
252,285	I
344,061	I
371,994	I
373,713	I
374,556	I
835,991	I

**Энергии ионизации,
кДж/моль**

1. $M \rightarrow M^+$	759,3	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	9600
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1561	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	12100
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2957	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	14575
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	5290	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	22678
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	7240	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	25290

**Свойства
электронной
оболочки**

В окружающей среде

Биологическая роль

Существенно важен для всех форм жизни

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: $1,8 \cdot 10^{-2}$

Костная ткань, %: $(0,03 - 3,8) \cdot 10^{-2}$

Кровь, мг/л: 447

Ежедневный прием с пищей: 6 - 40

мг

Токсическая доза: 200 мг

Летальная доза: 7 - 38 г

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 4,2 г

Распространенность

Солнце (относительно Н = $1 \cdot 10^{12}$):
 $3,16 \cdot 10^{-7}$

Земная кора, %: 4,1

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $1 \cdot 10^{-8}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: $4 \cdot 10^{-8}$

Тихий океан, в поверхностных слоях: $0,1 \cdot 10^{-8}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $1 \cdot 10^{-8}$

Время пребывания, лет: 98

Геохимическая
возобновляется

Степень окисления: III

**Геологические
сведения**

Основные руды: гематит $[\text{Fe}_2\text{O}_3]$, магнетит $[\text{Fe}_3\text{O}_4]$, сидерит $[\text{FeCO}_3]$

Мировое производство, т/год: $7,16 \cdot 10^8$

Запасы, т: $1,1 \cdot 10^{11}$

Au

Атомный номер: 79
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 196,96654

Химические свойства

Мягкий металл, характерного желтого цвета. Самый ковкий и самый пластичный из всех металлов. Устойчив к действию воздуха, воды, кислот (за исключением смеси $\text{HNO}_3 - \text{HCl}$) и щелочей. Применяется в виде банковских слитков, в ювелирном деле, в электронике, для изготовления стекол (окрашенных и теплоотражающих).

Радиус, пм: Au^+ 137, Au^{3+} 91, атомный 144,2, ковалентный 134

Электроотрицательность: 2,54 (по Полингу), 1,42 (по Оллреду), 5,77 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 4,20 (по Слейтеру), 10,94 (по Клементи), 15,94 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	III	I	0
Кислый раствор	Au^{3+} 1,36 1,52	Au^+ -1,83	Au
	AuCl_4^- 0,926 1,002	AuCl_2^- -1,154	Au
	$\text{Au}(\text{SCN})_4^-$ 0,623 0,636	$\text{Au}(\text{SCN})_2^-$ -0,662	Au

Состояния окисления

Au^{-1}	(d ¹⁰ s ²)	$[\text{Au}(\text{NH}_3)_n]^-$ в жидком NH_3
Au^0	(d ¹⁰ s ¹)	Кластеры, например $[\text{Au}_8(\text{PPh}_3)_8]^{2+}$
Au^I	(d ¹⁰)	Au_2S , $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ и другие комплексы
Au^{II}	(d ⁹)	Редко, но известен ряд комплексов
Au^{III}	(d ⁸)	Au_2O_3 , $\text{Au}(\text{OH})_4^-$ (aq), AuCl_4^- (aq), $\text{AuCl}_3(\text{OH})^-$ (aq), Au_2S_3 , AuF_3 , Au_2Cl_6 , AuBr_3 , комплексы
Au^V	(d ⁶)	AuF_5
Au^{VII}	(d ⁴)	AuF_7

Температура плавления, К: 1337,58

Температура кипения, К: 3080

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж / моль: 12,7

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: 324,4

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	47,40	25,418
Газообразное	336,1	326,3	180,503	20,786

Плотность, кг / м³: 19320 [293 К]; 17280 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 317 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $2,35 \cdot 10^{-8}$ [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: $-1,78 \cdot 10^{-9}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 10,19

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $14,16 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

ГЦК ($a = 407,833$); Fm3m

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 208; MoK_α 115

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 98,7
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 39
Диапазон изотопных масс: 176→204

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распред- ленность в природе, %	Период полураспа- да $T_{1/2}$	Тип и энергия рас- пада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{195}Au	194,965013	0	186,1 дней	Э3 (0,230); γ	$3/2^+$	+0,148	Метка
^{197}Au	196,966543	100	Стабилен		$3/2^+$	+0,1457	ЯМР
^{198}Au	197,968217	0	2,693 дня	β^- (1,372); γ	2-	+0,5934	Метка, в медицине
^{199}Au	198,968740	0	3,14 дня	β^- (0,453); γ	$3/2^+$	+0,2715	Метка

ЯМР (детектируется плохо)

^{197}Au

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$): $2,51 \cdot 10^{-5}$

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$): 0,06

Гиromагнитное отношение, рад/(Тл · с): $0,357 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²: $0,58 \cdot 10^{-28}$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц: 1,712

Основное электронное состояние: [Xe]4f¹⁴5d¹⁰6s¹

Терм: $^2\text{S}_{1/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж / моль: 222,8

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
201,200	I
202,138	I
242,795 (AA)	I
267,595	I
274,825	I
312,278	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	890,1	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	(7000)
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1980	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	(9300)
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	(2900)	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(11000)
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	(4200)	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(12800)
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	(5600)	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(14800)

**Свойства
электронной
оболочки**

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; стимулятор

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: данные отсутствуют

Костная ткань, %: $0,016 \cdot 10^{-4}$

Кровь, мг/л: $(0,1\text{-}4,2) \cdot 10^{-4}$

Ежедневный прием с пищей: данные отсутствуют, но доза невелика

Токсическая доза: нетоксичен

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): данные отсутствуют

Распространенность Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):

5,6

Земная кора, %: $0,11 \cdot 10^{-6}$

Морская вода, %: $\sim 1 \cdot 10^{-9}$

Время пребывания, лет: данные отсутствуют

Геохимическая классификация: данные отсутствуют

Степень окисления: +I

Геологические сведения

Основные минералы и источники:
встречается в виде металла

Мировое производство, т/год: 1423

Запасы, т: 15 000

In

Атомный номер: 49
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 114,82

Химические свойства

Мягкий, серебристо-белый металл. Устойчив к воздействию воздуха и воды, растворяется в кислотах. Легкоплавкие сплавы индия используются в предохранительных устройствах. Полупроводники на основе InAs и InSb применяются в транзисторах, термисторах и т.д.

Радиус, пм: In^{3+} 92, In^+ 132, атомный 162,6, ковалентный 150

Электроотрицательность: 1,78 (по Полингу), 1,49 (по Оллреду), 3,1 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 5,00 (по Слейтеру), 8,47 (по Клементи), 9,66 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	III	I	0
Кислый раствор	$\text{In}^{3+} \quad -0,444$	$\text{In}^+ \quad -0,126$	$\text{In} \quad -0,3382$

Ковалентная связь	r , пм	E , кДж/моль
In-H	185	243
In-C	216	165
In-O	213	109
In-F	199	~525
In-Cl	240	439
In-In	325,1	~85

Состояния окисления

In^I	(s ²)	InCl, InBr, InI
In^{II}	(s ¹)	$[\text{In}_2\text{Cl}_6]^{2-}$, $[\text{In}_2\text{Br}_6]^{2-}$, $[\text{In}_2\text{I}_6]^{2-}$
In^{III}	(d ¹⁰)	In_2O_3 , $\text{In}(\text{OH})_3$, $\text{In}(\text{H}_2\text{O})_x^{3+}(\text{aq})$ InF_3 , InCl_3 и т.д., InCl_5^{2-} , InCl_6^{3-} , комплексы

Физические свойства

Температура плавления, К: 429,32

Температура кипения, К: 2353

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: 3,27

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 226,4

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	57,82	26,74
Газообразное	243,30	208,71	173,79	20,84

Плотность, кг/м³: 7310 [298 К]; 7032 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 81,6 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $8,37 \cdot 10^8$ [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $-7,0 \cdot 10^{-9}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 15,71

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $33 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

Гранецентрированная тетрагональная ($a = 325,30$; $c = 494,55$); I4/mmm

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 243; MoK_α 29,3

Открыт в 1863 г. Фердинандом Райхом и Г. Рихтером (Фрайберг, Германия)

[Назван по линии индиго в его спектре]

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 194

Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 59

Диапазон изотопных масс: 102→132

Индий
(Indium)

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростране- нность в при- роде, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распа- да, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Приме- нение
^{111}In	110,905109	0	2,81 дня	Э3; γ			В меди- цине, мет- ка
^{113}In	112,904061	4,3					ЯМР
$^{113\text{m}}\text{In}$		0	1,657 ч	Стабилен	ИП (0,3917)	$9/2+$ $1/2-$	-0,210
$^{114\text{m}}\text{In}$	113,904916	0	49,51 дня	ИП (0,190) 97%; Э3 (1,6) 3%; γ	5+	+4,7	Метка
^{115}In	114,903880	95,7	$6 \cdot 10^{14}$ лет	β^- (0,496); нет γ	$9/2+$	+5,534	ЯМР

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):

$[^{113}\text{In}]$

^{115}In

0,34

0,34

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

83,8

1890

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):

$5,8493 \cdot 10^7$

$5,8618 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²:

$1,14 \cdot 10^{-28}$

$1,16 \cdot 10^{-28}$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

21,866

21,914

Стандарт: $\text{In}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$

Основное электронное состояние: [Kr]4d¹⁰5s²5p¹

Терм: $^2\text{P}_{1/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: ~30

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
303,936 (AA)	
325,609	
325,856	
410,176	
451,131	

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	558,3	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	(9500)
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1820,6	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	(11700)
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2704	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(13900)
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	5200	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(17200)
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	(7400)	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(19700)

**Свойства
электронной
оболочки**

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; стимулятор; тератоген
Содержание в человеческом орга-
низме:

Мышечная ткань, %: $\sim 0,015 \cdot 10^{-4}$

Костная ткань, %: данные отсутст-
вуют

Кровь, мг/л: данные отсутствуют,
но невелико

Ежедневный прием с пищей: дан-
ные отсутствуют, но доза невелика

Токсическая доза: 30 мг

Летальная доза: > 200 мг

Содержание в организме среднего
человека (масса тела 70 кг): дан-
ные отсутствуют

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):

44,7

Земная кора, %: $0,048 \cdot 10^{-4}$

Морская вода, %: $1 \cdot 10^{-11}$

Время пребывания, лет: данные от-
сутствуют

Степень окисления: III

Геологические сведения

Основные минералы и источники:
встречается в виде примеси (до
1%) в сульфидной цинковой руде и
галените (сульфиде свинца); полу-
чается как побочный продукт при

расплавлении цинка и свинца
Мировое производство, т/год: 75

Запасы, т: >1500

Атомный номер: 53

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 126,90447

**Химические
свойства**

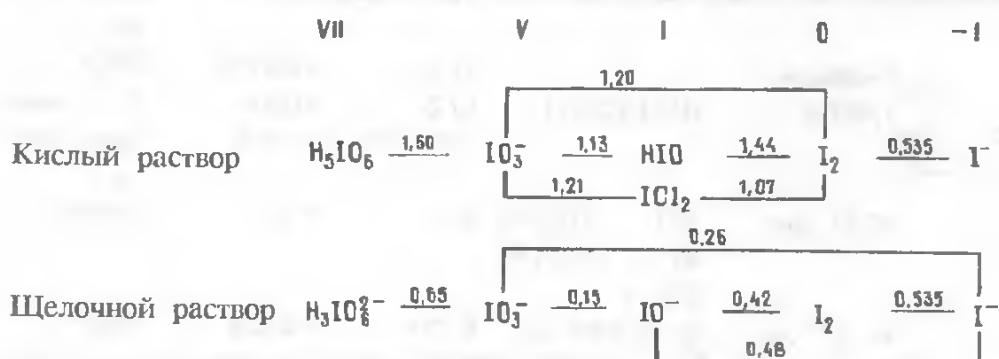
Твердый, черный неметалл, с блеском, I_2 . Легко возгоняется. Применяется как дезинфицирующее и фармацевтическое средство, в пищевых добавках, красителях, катализаторах, в фотографии.

Радиус, пм: Г 220, ковалентный 133,3, вандерваальсов 215

Электроотрицательность: 2,66 (по Полингу), 2,21 (по Оллреду), 6,76 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 7,60 (по Слейтеру), 11,61 (по Клементи), 14,59 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В



Ковалентная связь	r , пм	E , кДж/моль	Состояния окисления
I-H	160,9	299	I^{I} $\text{I}(\text{aq})$, HI , KI и т.д.
I-C	213	218	I^0 I_2 , I_3^- и т.д.
I-O	195	234	I^{I} I^{III} , I_{p}^+ , ICl_2^- и т.д.
I-F	191	280	I^{V} I_4O_9 [= $\text{I}_3^+(\text{IO}_3^-)_3$], ICl_3
I-Cl	232	208	I^{VII} I_2O_5 , HIO_3 , IO_3^- (aq), IF_5 , IF_6^-
I-I	266,6	151	H_5IO_6 , H_4IO_6 (aq) и т.д., HIO_4 , IO_4^- (aq), IF_7
I-Si	243	234	
I-P	252	184	

**Физические
свойства**

Температура плавления, К: 386,7

Температура кипения, К: 457,50

$\Delta H_{\text{пп}}$, кДж/моль: 15,27

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 41,67

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	116,135	54,438
Газообразное (I_2)	62,438	19,327	260,69	36,90
Газообразное (атом.)	106,838	70,250	180,791	20,786

Плотность, кг/м³: 4930 [293 К]

Теплопроводность, Вт/(м · К): 0,449 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $1,37 \cdot 10^7$ [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $-4,40 \cdot 10^{-9}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 25,74

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: данные отсутствуют

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

Орторомбическая ($a = 726,47$; $b = 478,57$; $c = 979,08$); Стмса

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 294; MoK_α 37,1

**Открыт в 1811 г. Б. Куртуа (Париж, Франция)
[От греч. *iodes* - фиолетовый]**

Иод
(Iodine)

**Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 6,2
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 37
Диапазон изотопных масс: 110→140**

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростране- нность в при- роде, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распа- да, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{123}I	122,905594	0	13,1 ч	Э3 (1,23); γ	5/2+		Метка
^{125}I	124,904620	0	59,9 дня	Э3 (0,178); γ	5/2+	+3,0	Метка, в медицине
^{127}I	126,904473	100	Стабилен		5/2+	+2,808	ЯМР
^{129}I	128,904986	0	$1,67 \cdot 10^7$ лет	β^- (0,193); γ	7/2+	+2,617	
^{131}I	130,906114	0	8,040 дня	β^- (0,971); γ	7/2+	+2,74	Метка, в медицине

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):	^{127}I
Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):	$9,34 \cdot 10^{-2}$
Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):	530
Квадрупольный момент, м ² :	$5,3525 \cdot 10^7$
Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:	$-0,79 \cdot 10^{-28}$
Стандарт: NaI (aq)	20,007

Основное электронное состояние: [Kr]4d¹⁰5s²5p⁵

Терм: $^2\text{P}_{3/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж / моль: 259,2

Основные линии

в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
511,929	I
533,822	II
562,569	II
804,374	I
905,833	I
911,391	I

**Энергии ионизации,
кДж/моль**

1. $M \rightarrow M^+$	1008,4	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	(7400)
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1845,9	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	(8700)
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	3200	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(16400)
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	(4100)	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(19300)
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	(5000)	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(22100)

В окружающей среде

Биологическая роль

Существенно важен для многих форм жизни, включая человека; в виде I_2 токсичен

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: (0,05 - 0,5) · 10^{-4}

Костная ткань, %: $0,27 \cdot 10^{-4}$

Кровь, мг/л: 0,057

Ежедневный прием с пищей: 0,1 - 0,2 мг

Токсическая доза иодида: 2 мг

Летальная доза иодида: 35 - 350 г

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 12 - 20 мг

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):
данные отсутствуют

Земная кора, %: $0,14 \cdot 10^{-4}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $0,049 \cdot 10^{-4}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: $0,066 \cdot 10^{-4}$

Тихий океан, в поверхностных слоях: $0,043 \cdot 10^{-4}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $0,058 \cdot 10^{-4}$

Время пребывания, лет: 300000

Геохимическая классификация:

I(- I) выводится; I(V) накапливается

Степень окисления: -I и V, главным образом V

Геологические

сведения

Основные источники: рассолы; чилийские нитраты содержат до 0,3% иодата кальция; морская водоросль

Мировое производство, т/год: 12 000

Запасы, т: $2,6 \cdot 10^6$

Ir

Атомный номер: 77**Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 192,22****ХИМИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА**

Твердый, блестящий, серебристый металл семейства платиновых. Устойчив к действию воздуха и воды. Инертен ко всем кислотам, но реагирует с расплавом NaOH. Применяется в специальных сплавах и в свечах зажигания.

Радиус, пм: Ir²⁺ 89, Ir³⁺ 75, Ir⁴⁺ 66, атомный 135,7, ковалентный 126

Электроотрицательность: 2,20 (по Полингу), 1,55 (по Оллреду), 5,4 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 3,90 (по Слейтеру), 10,57 (по Клементи), 15,33 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

IV	III	0
IrO ₂	0,223	Ir ³⁺
	0,926	1,156
		Ir
IrCl ₆ ²⁻	0,867	IrCl ₆ ³⁻
		0,86
		Ir

Состояния окисления

Ir ^{-I}	(d ¹⁰)	[Ir(CO) ₃ (PPh ₃)] ⁻ (редко)
Ir ⁰	(d ⁹)	[Ir ₄ (CO) ₁₂] ⁰ (редко)
Ir ^I	(d ⁸)	[Ir(CO)Cl(PPh ₃) ₂] ⁺
Ir ^{II}	(d ⁷)	IrCl ₂
Ir ^{III}	(d ⁶)	IrF ₃ , IrCl ₃ и т.д., [IrCl ₆] ³⁻ (aq)
Ir ^{IV}	(d ⁵)	IrO ₂ , IrF ₄ , IrS ₂ , [IrCl ₆] ²⁻ (aq)
Ir ^V	(d ⁴)	IrF ₅ , [IrF ₆] ⁻
Ir ^{VI}	(d ³)	IrF ₆

**Физические
свойства**

Температура плавления, К: 2683

Температура кипения, К: 4403

$\Delta H_{\text{пл.}}$, кДж / моль: 26,4

$\Delta H_{\text{исп.}}$, кДж / моль: 563,6

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр.}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр.}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	35,48	25,10
Газообразное	665,3	617,9	193,578	20,786

Плотность, кг / м³: 22560 [290 К]; 20000 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 147 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $5,3 \cdot 10^{-8}$ [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: $+1,67 \cdot 10^{-9}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 8,57

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $6,4 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

ГЦК ($a = 383,92$); Fm3m

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 193; MoK_α 110

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 425
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 40
Диапазон изотопных масс: 170→198

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нуклид	Атомная мас- са	Распростра- ненность в природе, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распа- да, МэВ	Ядерный спин /	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{191}Ir	190,960584	37,3	Стабилен		3/2+	+0,1461	ЯМР
^{192}Ir	191,962580	0	73,83 дня	β^- (1,454); γ	4-	+1,880	Метка, в медицине
^{193}Ir	192,962917	62,7	Стабилен		3/2+	+0,1591	ЯМР

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):

^{191}Ir

^{193}Ir

$3,27 \cdot 10^{-5}$

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

0,023

0,050

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):

$0,539 \cdot 10^7$

$0,391 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²:

$1,5 \cdot 10^{-28}$

$1,4 \cdot 10^{-28}$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

1,718

1,871

Основное электронное состояние: [Xe]4f¹⁴5d⁷6s²

Терм: $^4\text{F}_{9/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: 151

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
203,357	I
208,882 (AA)	I
209,263	I
215,805	I
254,397	I
263,971	I
322,078	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	880	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	(6900)
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	(1680)	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	(8500)
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	(2600)	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(10000)
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	(3800)	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(11700)
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	(5500)	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	

**Система
электронной
области**

В природной среде

Биологическая роль

Отсутствует

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: $2 \cdot 10^{-9}$?

Костная ткань, %: данные отсутствуют

Кровь, мг/л: данные отсутствуют, но очень мало

Ежедневный прием с пищей: данные отсутствуют, но очень мал

Токсическая доза: мало токсичен

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): данные отсутствуют

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{-12}$): 7,1

Земная кора, %: $\sim 3 \cdot 10^{-10}$

Морская вода, %: данные отсутствуют, но пренебрежимо мала

Геологические

сведения

Основные минералы и источники: осмирид [IrOs], иридосмин [OsIr]; также встречается в платиновых рудах

Мировое производство, т/год: 3

Запасы, т: 950

Yb

Атомный номер: 70

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 173,04

Химические свойства

Мягкий, серебристо-белый металл семейства редкоземельных. Медленно окисляется на воздухе, реагирует с водой. Находит применение в датчиках нормального напряжения.

Радиус, пм: Yb^{2+} 113, Yb^{3+} 86, атомный 194, ковалентный 170

Электроотрицательность: д.о. (по Полингу), 1,06 (по Оллреду), $\leq 3,5$ эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 2,85 (по Слейтеру), 8,59 (по Клементи), 11,90 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	III	II	0
		-2,22	
Кислый раствор	Yb^{3+} -1,05	Yb^{2+} -2,8	Yb
Щелочного раствора	Yb(OH)_3	-2,74	

Состояния окисления

Yb^{II}	(f ¹⁴)	YbO , YbS , YbF_2 , YbCl_2 и т.д.
Yb^{III}	(f ¹³)	Yb_2O_3 , Yb(OH)_3 , $[\text{Yb}(\text{H}_2\text{O})_x]^{3+}$ (aq), соли Yb^{3+} , YbF_3 , YbCl_3 и т.д., YbCl_6^{3-} , комплексы

Физические свойства

Температура плавления, К: 1097

Температура кипения, К: 1466

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: 9,20

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 159

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	59,87	26,74
Газообразное	152,3	118,4	173,126	20,786

Плотность, кг/м³: 6965 [293 К]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 34,9 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $29,0 \cdot 10^{-8}$ [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $+1,81 \cdot 10^{-8}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 24,84

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $25,0 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

α -Yb ГЦК ($a = 548,62$); Fm3m

β -Yb ОЦК ($a = 444$); Im3m

$T(\alpha \rightarrow \beta) = 1073$ К

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 146; MoK_α 84,5

**Открыт в 1878 г. Ж. Мариньяком (Женева, Швейцария)
[Назван по минералу иттербиту, найденному около
селения Иттербю, Швеция]**

Иттербий (Ytterbium)

**Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 35
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 29
Диапазон изотопных масс: 154→179**

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распространенность в природе, %	Период полу-распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Применение
^{168}Yb	167,933894	0,13	Стабилен		0+		
^{169}Yb	168,935186	0	32,02 дня	β^- (0,908); γ	$7/2^+$		Метка, в медицине
^{170}Yb	169,934759	3,05	Стабилен		0+		
^{171}Yb	170,936323	14,3	Стабилен		$1/2^-$	+0,4919	ЯМР
^{172}Yb	171,936378	21,9	Стабилен		0+		
^{173}Yb	172,938208	16,12	Стабилен		$5/2^-$	-0,6776	ЯМР
^{174}Yb	173,938859	31,8	Стабилен		0+		
^{175}Yb	174,941273	0	4,19 дня	β^- (0,467); γ	$(7/2)$	$\pm 0,3$	Метка
^{176}Yb	175,942564	12,7	Стабилен		0+		

ЯМР(используется редко)

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$): $5,46 \cdot 10^{-3}$

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$): 4,05

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с): $4,718 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²: -

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц: 17,613

Основное электронное состояние: [Xe]4f¹⁴6s²

Терм: $^1\text{S}_0$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: ≤ 50

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
289,138	II
328,937	II
346,437	I
369,420	II
398,799 (AA)	I
555,647	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	603,4	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1176	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2415	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	4220	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$		10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$

Свойства электрической выводки

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; малотоксичен; стимулятор

Содержание в человеческом организме: данные отсутствуют, но невелико

Распространенность Солнце (относительно $H = 1 \cdot 10^{12}$):

8

Земная кора, %: $3,3 \cdot 10^{-4}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $6 \cdot 10^{-11}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: $7,5 \cdot 10^{-11}$

Тихий океан, в поверхностных слоях: $3,7 \cdot 10^{-11}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $22 \cdot 10^{-11}$

Время пребывания, лет: 400

Геохимическая классификация: возобновляется

Степень окисления: III

Геологические сведения

Основные минералы и источники: содержится в виде примеси в минералах эвксении и ксенотиме

Мировое производство, т/год: ~100

Запасы, т: ~10

Y

Атомный номер: 39
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 88,90585

Химические свойства

Мягкий, серебристо-белый металл. Устойчив на воздухе благодаря образованию оксидной пленки. Легко горит. Реагирует с водой с выделением водорода H_2 . Применяется в красных люминофорах для экранов цветного телевидения; в рентгеновских фильтрах, сверхпроводниках, специальных сплавах.

Радиус, пм: Y^{3+} 106, атомный 181, ковалентный 162

Электроотрицательность: 1,22 (по Полингу), 1,11 (по Оллреду), 3,19 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 3,00 (по Слейтеру), 6,26 (по Клементи), 8,72 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	III		0
Кислый раствор	Y^{3+}	-2,37	Y
Щелочной раствор	Y(OH)_3	-2,85	Y

Состояния окисления

Y^{III} ($[\text{Kr}]$) Y_2O_3 , Y(OH)_3 , $[\text{Y(H}_2\text{O)}_x]^{3+}(\text{aq})$, соли Y^{3+} , $\text{Y}_2(\text{CO}_3)_3$, YF_3 , YCl_3 и т.д., YOCl , некоторые комплексы

Физические свойства

Температура плавления, К: 1795

Температура кипения, К: 3611

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: 17,2

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 393,3

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p° , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	44,43	26,53
Газообразное	421,3	381,1	1179,48	25,86

Плотность, кг/м³: 4469 [293 К]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 17,2 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $57,0 \cdot 10^{-8}$ [298 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $+2,70 \cdot 10^{-8}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 19,89

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $10,6 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

α -Y гексагональная плотноупакованная ($a = 364,74$, $c = 573,06$); $P6_3/mmc$

β -Y ОЦК ($a = 411$); $I\bar{m}3m$

$T(\alpha \rightarrow \beta) = 1763$ К

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 134; MoK_α 100

Открыт в 1794 г. Ю. Гадолином (Або, Финляндия)
 [Назван по минералу иттербиту, найденному около селения
 Иттербю, Швеция]

Иттрий (Yttrium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 1,28
 Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 32
 Диапазон изотопных масс: 80–99

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и распада, МэВ	Энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Приме- нение
^{88}Y	87,909508	0	106,6 дня	Э3 (3,623) 99%; β^+ 0,2%; γ		4-		Метка
^{89}Y	88,905849	100	Стабилен			1/2-	-0,1373	ЯМР
^{90}Y	89,907152	0	64 ч	β^- (2,283); нет γ		2-	-1,630	Метка

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$): $1,18 \cdot 10^{-4}$
 Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$): 0,668
 Гиромагнитное отношение, рад/(Тл · с): $-1,3108 \cdot 10^7$
 Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц: 4,899
 Стандарт: $\text{Y}(\text{NO}_3)_3$ (aq)

Основное электронное состояние: $[\text{Kr}]4\text{d}^15\text{s}^2$

Терм: $^2\text{D}_{3/2}$
 Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: 29,6

Свойства электронной оболочки

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
360,073	II
371,030	I
377,433	II
407,738	I
410,238 (AA)	I
437,494	II

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	616	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	8970
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1181	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	11200
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	1980	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	12400
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	5963	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	14137
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	7430	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	18400

В окружающей среде

Биологическая роль
 Отсутствует, предположительно
 канцероген
 Содержание в человеческом организме:
 Мишечная ткань, %: $0,02 \cdot 10^{-4}$
 Костная ткань, %: $0,07 \cdot 10^{-4}$
 Кровь, мг/л: 0,0047
 Ежедневный прием с пищей:
 0,016 мг
 Токсическая доза: малотоксичен
 Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): данные отсутствуют

Распространенность
 Солнце (относительно Н = $1 \cdot 10^{12}$):
125
 Земная кора, %: $3 \cdot 10^{-3}$
 Морская вода, %: $9 \cdot 10^{-10}$
 Время пребывания, лет: данные отсутствуют
 Степень окисления: III

Геологические
сведения
 Основные источники: ксенотит
 $[\text{YPO}_4]$
 Мировое производство, т/год: 5
 Запасы, т: данные отсутствуют

Cd

Атомный номер: 48
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 112,411

Химические свойства

Серебристый металл. На воздухе покрывается оксидной пленкой; растворяется в кислотах, но не в щелочах. Применяется в производстве аккумуляторных батарей, сплавов и красок.

Радиус, пм: Cd^{2+} 103, Cd^+ 114, ковалентный 141, атомный 148,9

Электроотрицательность: 1,69 (по Полингу), 1,46 (по Оллреду), 4,33 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 4,35 (по Слейтеру), 8,19 (по Клементи), 11,58 (по Фрэзе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	II	0
Кислый раствор	Cd^{2+}	-0,4025
Щелочной раствор	Cd(OH)_2	-0,824
	$[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	-0,622
	$[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-}$	-1,09

Состояния окисления

Cd^{I}	$(\text{d}^{10}\text{s}^1)$	Редко, например $\text{Cd}_2[\text{AlCl}_4]_2$
Cd^{II}	(d^{10})	CdO (основной), CdS , $\text{Cd}(\text{OH})_2$, CdF_2 , CdCl_2 и т.д., множество солей, $[\text{Cd}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ (aq). различные комплексы, например $[\text{Cd}(\text{SCN})_4]^{2-}$

Физические свойства

Температура плавления, К: 594,1

Температура кипения, К: 1038

$\Delta H_{\text{пп}}, \text{ кДж/моль:}$ 6,11

$\Delta H_{\text{исп}}, \text{ кДж/моль:}$ 99,87

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ, \text{ кДж/моль}$	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ, \text{ кДж/моль}$	$S^\circ, \text{ Дж/(К·моль)}$	$C_p^\circ, \text{ Дж/(К·моль)}$
Твердое	0	0	51,76	25,98
Газообразное	112,01	77,41	167,746	20,786

Плотность, кг/м³: 8650 [293 К]; 7996 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 96,8 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $6,83 \cdot 10^{-8}$ [273 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $-2,21 \cdot 10^{-9}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 13,00

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $29,8 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры ячейки, пм); пространственная группа

Гексагональная плотноупакованная ($a = 297,94$; $c = 561,86$); $P6_3/mmc$

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 231; MoK_α 27,5

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 2450
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 31
Диапазон изотопных масс: 99→124

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распространенность в природе, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Применение
^{106}Cd	105,906461	1,25	Стабилен		0+		
^{108}Cd	107,904176	0,89	Стабилен		0+		
^{109}Cd	108,904953	0	462 дня	$\beta^-(0,16); \gamma$	5/2+	-0,8270	Метка
^{110}Cd	109,903005	12,51	Стабилен		0+		
^{111}Cd	110,904182	12,81	Стабилен		1/2+	-0,5943	ЯМР
^{112}Cd	111,902758	24,13	Стабилен		0+		
^{113}Cd	112,904400	12,22	Стабилен		1/2+	-0,6217	ЯМР
^{114}Cd	113,903357	28,72	Стабилен		0+		
^{115m}Cd		0	44,6 дня	$\beta^-(1,62); \gamma$	11/2-	-1,042	Метка
^{115}Cd	114,905430	0	53,5 ч	$\beta^-(1,45); \gamma$	1/2+	-0,648	Метка
^{116}Cd	115,904754	7,47	Стабилен		0+		

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):

[^{111}Cd]

^{113}Cd

$9,54 \cdot 10^{-3}$

$1,09 \cdot 10^{-2}$

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

$6,93$

$7,6$

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):

$-5,6714 \cdot 10^7$

$-5,9328 \cdot 10^7$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

21,205

22,182

Стандарт: $\text{Cd}(\text{ClO}_4)_2$ (aq) и $\text{Cd}(\text{CH}_3)_2$

Основное электронное состояние: [Kr]4d¹⁰5s²

Терм: $^1\text{S}_0$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: -26

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
214,441	II
226,502	II
228,802 (AA)	I
326,106	I
643,847	I

Энергии ионизации, кДж/моль

$1.M \rightarrow M^+$	867,6	$6.M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	(9100)
$2.M^+ \rightarrow M^{2+}$	1631	$7.M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	(11100)
$3.M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	3616	$8.M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(14100)
$4.M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	(5300)	$9.M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(16400)
$5.M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	(7000)	$10.M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(18800)

В окружающей среде

Биологическая роль

Не изучена; токсичен; стимулятор; канцероген; тератоген

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: (0,14 - 3,2) · 10^{-4}

Костная ткань, %: $1,8 \cdot 10^{-4}$

Кровь, мг/л: 0,0062

Ежедневный прием с пищей: 0,007 · 3 мг

Токсическая доза: 3 - 330 мг

Летальная доза: 1,5 - 9 г

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 50 мг

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):

71

Земная кора, %: $0,11 \cdot 10^{-4}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $1,1 \cdot 10^{-10}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: $38 \cdot 10^{-10}$

Тихий океан, в поверхностных слоях: $1,1 \cdot 10^{-10}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $100 \cdot 10^{-10}$

Время пребывания, лет: 30000

Геохимическая классификация: возобновляется

Степень окисления: II

Геологические сведения

Основные запасы и источники: гринокит [CdS], но в промышленности получают главным образом как побочный продукт в производстве цинка из ZnS.

Мировое производство, т/год: 14 000

Запасы, т: см. цинк

K

Атомный номер: 19

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 39,0983

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Мягкий, белый металл, на срезе серебристый, но быстро реагирует с кислородом и бурно с водой. Металл получают при взаимодействии $\text{Na} + \text{KCl}$ при 1100 К. Используется в удобрениях, химикалиях и для получения стекла.

Радиус, пм: K^+ 133, атомный 227, ковалентный 203, вандерваальсов 231

Электроотрицательность: 0,82 (по Полингу), 0,91 (по Оллреду), 2,42 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 2,20 (по Слейтеру), 3,50 (по Клементи), 4,58 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

1		0
K^+	-2,924	K

СОСТОЯНИЯ ОКИСЛЕНИЯ

K^1 (s^2) Раствор в жидком аммиаке

K^1 ($[\text{Ar}]$) K_2O , K_2O_2 (пероксид), KO_2 (пероксид), KO_3 (озонид), KOH , $[\text{K}(\text{H}_2\text{O})_4]^+$ (aq), KH , KF , KCl и т.д., соли K^+ , K_2CO_3 , комплексы

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Температура плавления, К: 336,80

Температура кипения, К: 1047

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: 2,40

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 77,53

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	64,18	29,58
Газообразное	89,24	60,59	160,336	20,786

Плотность, кг/м³: 862 [293 К]; 828 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 102,4 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $6,15 \cdot 10^{-8}$ [273 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $+6,7 \cdot 10^{-9}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 45,36

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $83 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

ОЦК ($a = 533,4$); $\text{Im}3m$

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 143; MoK_α 15,8

Открыт в 1807 г. сэром Гемфри Дэви (Лондон, Англия)
[Англ. potash; лат. kalium]

Калий (Potassium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 2,1
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 18
Диапазон изотопных масс: 35→51

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распространенность в природе, %	Период полу-распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Применение
^{39}K	38,963707	93,2581	Стабилен		3/2+	+0,39146	ЯМР
^{40}K	39,963999	0,012	$1,25 \cdot 10^9$ лет	β^- (1,32); ЭЭ; γ	4-	-1,298	
^{41}K	40,961825	6,7302	Стабилен		3/2+	+0,21487	ЯМР
^{42}K	41,962402	0	12,36 ч	β^- (3,532); γ	2-	-1,1425	Метка, в медицине
^{43}K	42,960717	0	22,3 ч	β^- (1,82); γ	3/2+	+0,163	

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$): ^{39}K

[^{41}K]

$8,40 \cdot 10^{-5}$

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$): 2,69

$3,28 \cdot 10^{-2}$

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с): $1,2483 \cdot 10^7$

$0,6851 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²: $5,5 \cdot 10^{-30}$

$6,7 \cdot 10^{-30}$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц: 4,667

2,561

Стандарт: $\text{K}^+(\text{aq})$

Основное электронное состояние: [Ar]4s¹

Терм: $^2\text{S}_{1/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: 48,4

Свойства электронной оболочки

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
404,414	I
691,108	I
693,877	I
766,491	I
769,896	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	418,8	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	9649
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	3051,4	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	11343
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	4411	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	14942
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	5877	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	16964
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	7975	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	48575

В окружающей среде

Биологическая роль

Важен для всех живых существ

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: 1,6

Костная ткань, %: 0,21

Кровь, мг/л: 1620

Ежедневный прием с пищей: 1400 - 7400 мг

Токсическая доза: 6 г

Летальная доза: 14 г

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 140 г

Распространенность

Солнце (относительно $H = 1 \cdot 10^{12}$): $1,45 \cdot 10^8$

Земная кора, %: 2,1

Морская вода, %: $379 \cdot 10^{-4}$

Время пребывания, лет: $5 \cdot 10^6$

Геохимическая классификация: накапливается

Степень окисления: I

Геологические сведения

Основные руды: сильвит [KCl]; сильвинит [$\text{NaCl} \cdot \text{KCl}$]; карналлит [$\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$]

Мировое производство солей калия, т/год: $51 \cdot 10^6$

Запасы, т: огромны, $> 10^{10}$

Мировое производство металлического калия, т/год: 200

Cf

Атомный номер: 98
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): (251)

Химические свойства

Радиоактивный, серебристый металл; не встречается в природе. Подвержен воздействию кислорода, водяного пара и кислот, но не щелочей. Изотоп ^{252}Cf используется при лечении рака.

Радиус, пм: Cf^{4+} 86, Cf^{3+} 98, Cf^{2+} 117

Электроотрицательность: 1,3 (по Полингу), д.о. (по Оллреду)

Эффективный заряд ядра: 1,65 (по Слейтеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	III	II	0
		$-1,93$	
Кислый раствор	Cf^{3+}	$-1,6$	Cf^{2+}
$[\text{Cf}^{\text{IV}}$ восстанавливается водой за несколько минут]		$-2,1$	Cf

Состояния окисления

Cf^{II}	(f ¹⁰)	$\text{ClO}_?$, ClBr_2 , ClI_2
Cf^{III}	(f ⁹)	Cl_2O_3 , ClF_3 , ClCl_3 и т.д., $\text{Cf}^{3+}(\text{aq})$, $[\text{Cf}(\text{C}_5\text{H}_5)_3]$
Cf^{IV}	(f ⁸)	ClO_2 , ClF_4

Физические свойства

Температура плавления, К: данные отсутствуют

Температура кипения, К: данные отсутствуют

$\Delta H_{\text{пп}}$, кДж/моль: данные отсутствуют

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: данные отсутствуют

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	д.о.	25,98
Газообразное	д.о.	д.о.	д.о.	д.о.

Плотность, кг/м³: данные отсутствуют

Теплопроводность, Вт/(м·К): 10 [300 К] (расчет)

Электрическое сопротивление, Ом·м: данные отсутствуют

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: данные отсутствуют

Мольный объем, см³: данные отсутствуют

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: данные отсутствуют

Тип кристаллической решетки (параметры ячейки, пм); пространственная группа

Кубическая

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: данные отсутствуют

Получен в 1950 г. С. Дж. Томпсоном, К. Стратом, А. Гиорсо и Г. Т. Сиборгом (Беркли, Калифорния, США)
[От англ. California]

Калифорний (Californium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 2900 (^{251}Cf)
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 16
Диапазон изотопных масс: 240→255

Ядерные
свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распространенность в природе, %	Период полу-распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Применение
^{249}Cf	249,074844	0	351 год	$\alpha(6,295)$	$9/2^-$		
^{251}Cf	251,079580	0	890 лет	$\alpha(6,172)$	$1/2^+$		
^{252}Cf	252,081621	0	2,64 года	$\alpha(6,217)$; СД	0^+		Метка, в медицине

Основное электронное состояние: $[\text{Rn}]5\text{f}^{10}7\text{s}^2$

Терм: $^5\text{I}_8$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: данные отсутствуют

Свойства
электронной
оболочки

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
339,222	I
353,149	I
354,098	I
359,877	I
360,532	I
361,211	II
362,676	II

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$ 608
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$

В окружающей среде

Биологическая роль
Отсутствует; в природе не встречается, но должен быть токсичен из-за радиоактивности
Содержание в человеческом организме: нулевое

Распространенность
Солнце (относительно Н = $1 \cdot 10^{12}$):
данные отсутствуют
Земная кора, %: нулевое
Морская вода, %: нулевое

Геологические сведения

Основные источники: отсутствуют.
Получается в миллиграммовых количествах в виде ^{249}Cf и ^{252}Cf при нейтронной бомбардировке ^{239}Pu

Ca

Атомный номер: 20
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 40,078

Химические свойства

Серебристо-белый, относительно мягкий металл; получается из расплава хлорида кальция электролизом. Защищен оксидной/нитридной пленкой и ведет себя как металл. Взаимодействует с кислородом и водой. Применяется в сплавах и в производстве Zr, Th, U и РЗЭ. Известь (CaO) используется в металлургии, для обработки воды, в химической промышленности, строительстве и т.д.

Радиус, пм: Ca^{2+} 106, ковалентный 174, атомный (α-форма) 197,3

Электроотрицательность: 1,00 (по Полингу), 1,04 (по Оллреду), 2,2 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 2,85 (по Слейтеру), 4,40 (по Клементи), 5,69 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	II	0	-II
		-1,045	
CaO_2	2,224	Ca^{2+}	Ca
	1,574	$\text{Ca}(\text{hyd})$	CaH ₂
		-2,84	-2,189
			-0,076

Состояния окисления

$\text{Ca}^{\text{II}}([\text{Ar}])$ CaO, CaO_2 (пероксид), $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaH_2 , CaF_2 , CaCl_2 и т.д., $\text{Ca}^{2+}(\text{aq})$, CaCO_3 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (гипс), $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$, CaC_2 (карбид кальция), множество солей, комплексы

Физические свойства

Температура плавления, К: 1112

Температура кипения, К: 1757

$\Delta H_{\text{пл.}}$, кДж/моль: 9,33

$\Delta H_{\text{исп.}}$, кДж/моль: 149,95

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр.}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр.}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое (α)	0	0	41,42	25,31
Газообразное	178,2	144,3	154,884	20,786

Плотность, кг/м³: 1550 [293 К]; 1365 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 200 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $3,43 \cdot 10^8$ [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $+1,4 \cdot 10^{-8}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 25,86

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $22 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры ячейки, пм); пространственная группа

α-Са ГЦК ($a = 558,84$); Fm3m

β-Са ГЦК ($a = 448,0$); Im3m

γ-Са гексагональная плотноупакованная ($a = 397$; $c = 649$); P6₃/mmc (может содержать Н)

$T(\alpha \rightarrow \beta) = 573$ К

$T(\beta \rightarrow \gamma) = 723$ К

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 162; MoK_α 18,3

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 0,43

Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 16

Диапазон изотопных масс: 36→51

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростране- нность в при- роде, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{40}Ca	39,962591	96,941	Стабилен		0+		
^{42}Ca	41,958618	0,647	Стабилен		0+		
^{43}Ca	42,958766	0,135	Стабилен		7/2-	1,3173	ЯМР
^{44}Ca	43,955480	2,086	Стабилен		0+		
^{45}Ca	44,956185	0	163,8 дня	β^- (0,257); нет γ	7/2-		
^{46}Ca	45,953689	0,004	Стабилен		0+		
^{47}Ca	46,954543	0	4,536 ч	β^- (1,988); γ	7/2-		
^{48}Ca	47,9525334	0,187	Стабилен		0+		

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$): ^{43}Ca

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$): $6,40 \cdot 10^{-3}$

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с): $0,0527$

Квадрупольный момент, м²: $-1,8001 \cdot 10^7$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц: $-0,05 \cdot 10^{-28}$

Стандарт: CaCl_2 (aq) 6,728

Основное электронное состояние: $[\text{Ar}]4s^2$

Терм: 1S_0

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж / моль: -186

Основные линии

в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
239,856	I
317,933	II
373,690	II
393,366	II
393,847	II
422,673(АА)	I

Энергии ионизации, кДж/моль

$1.M \rightarrow M^+$	589,7	$6.M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	10496
$2.M^+ \rightarrow M^{2+}$	1145	$7.M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	12320
$3.M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	4910	$8.M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	14207
$4.M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	6474	$9.M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	18191
$5.M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	8144	$10.M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	20385

**Свойства
электронной
оболочки**

В окружающей среде

Биологическая роль

Важен для всех форм жизни

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: 0,14-0,07

Костная ткань, %: 17

Кровь, мг/л: 60,5

Ежедневный прием с пищей: 600-1400 мг

Токсическая доза: нетоксичен

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 1,00 кг

Распространенность

Солнце (относительно $H = 1 \cdot 10^{12}$): $2,24 \cdot 10^6$

Земная кора, %: 4,1

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $3,9 \cdot 10^{-2}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: $4,3 \cdot 10^{-2}$

Тихий океан, в поверхностных слоях: $3,9 \cdot 10^{-2}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $4,4 \cdot 10^{-2}$

Время пребывания, лет: $1 \cdot 10^{-6}$

Геохимическая классификация:
возобновляется

Степень окисления: II

Геологические

сведения

Основные минералы и источники:
известняк [CaCO_3], доломит
[$\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$], гипс [$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$]

Мировое производство металлического Ca, т/год: 2000

Мировое производство
 CaO , т/год: $112 \cdot 10^6$

Запасы, т: практически неограничены

O

Атомный номер: 8
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12.0000$): 15,9994

Химические свойства

Бесцветный газ, без запаха. Чрезвычайно реакционноспособен, образует оксиды со всеми элементами, за исключением Не, Ne, Ar и Kr. Умеренно растворим в воде ($30,8 \text{ см}^3/\text{л}$) при 293 К. Используется при выплавке стали, резке металлов, в химической промышленности.

Радиус, пм: O^+ 22, O^- 132, ковалентный (простая связь) 66, вандерваальсов 140

Электроотрицательность: 3,44 (по Полингу), 3,50 (по Оллреду), 7,54 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 4,55 (по Слейтеру), 4,45 (по Клементи), 4,04 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	0	-I	-II	
		1,229		
Kислый раствор	O_2	$-0,695$	H_2O_2	$-1,763$
			H_2O	
		0,401		
Щелочного раствора	O_2	$-0,0649$	HO_2^-	$-0,867$
			OH^-	
				O_3 $-1,246$ O_2
				O_3 $-2,075$ O_2

Ковалентная связь	r, пм	E, кДж/моль
O-O	148	146
O=O (O_2)	120,8	498
N-O	146	200
N=O	115	678
N≡O (NO)	106	1063

Другие ковалентные связи кислорода см. другие элементы

Состояния окисления

O ^{-II}	H ₂ O, H ₃ O ⁺ , OH ⁻ , оксиды и т.д.
O ^{-I}	H ₂ O ₂ , пероксиды
O ⁰	O ₂ , O ₃
O ^I	O ₂ F ₂
O ^{II}	OF ₂

Физические свойства

Температура плавления, К: 54,8

Температура кипения, К: 90,188

$\Delta H_{\text{пл.}}$, кДж/моль: 0,444

$\Delta H_{\text{исп.}}$, кДж/моль: 6,82

Критическая температура, К: 154,6

Критическое давление, кПа: 5050

Критический объем, см³/моль: 73,4

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр.}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр.}}^\circ$, кДж/моль	S [°] , Дж/(К·моль)	C _p [°] , Дж/(К·моль)
Газообразное (O_2)	0	0	205,138	29,355
Газообразное (атом.)	249,170	231,731	161,055	21,912

Плотность, кг/м³: 2000 [тв. при т.пл.]; 1140 [жидкость при т. кип.], 1,429 [газ, 273 К]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 0,2674 [300 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: +1,355 · 10⁻⁶ (газ)

Мольный объем, см³: 8,00 [54 К]

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

α - O_2 ромбическая ($a = 540,3$; $b = 342,9$; $c = 508,6$; $\beta = 132,53^\circ$); C2/m

β - O_2 ромбоэдрическая ($a = 330,7$; $c = 1125,6$); R³m

γ - O_2 кубическая ($a = 683$); Pm3n

T ($\alpha \rightarrow \beta$) = 23,8 К

T ($\beta \rightarrow \gamma$) = 43,8 К

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 11,5; MoK_α 1,31

Открыт в 1774 г. Дж. Пристли (Лидс, Англия) и независимо К. Шееле (Упсала, Швеция)
[От греч. *oxy genes* - образующий кислоты]

Кислород (Oxygen)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: $0,28 \cdot 10^{-3}$

Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 8

Диапазон изотопных масс: 13→20

Основные изотопы

Нуклид ^a	Атомная масса	Распространенность в природе, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Применение
¹⁶ O	15,994915	99,76	Стабилен		0+		
¹⁷ O	16,999311	0,048	Стабилен		5/2+	-1,89379	ЯМР
¹⁸ O	17,999160	0,20	Стабилен		0+		

^aДолгоживущие радиоактивные изотопы отсутствуют: ¹⁵O имеет $T_{1/2} = 122$ с

Ядерные свойства

ЯМР

Относительная чувствительность (¹H = 1,00):



$$2,91 \cdot 10^{-2}$$

Восприимчивость (¹³C = 1,00):

$$0,061$$

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):

$$-3,6264 \cdot 10^7$$

Квадрупольный момент, м²:

$$-2,6 \cdot 10^{-30}$$

Частота (¹H = 100 МГц; 2,3488 Тл), МГц:

$$13,557$$

Стандарт: H₂O

Основное электронное состояние: [He]2s²2p⁴

Свойства электронной оболочки

Терм: ³P₂

Сродство к электрону (M→M⁻), кДж/моль: 141

Основные линии

в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
777,194	I
777,417	I
844,625	I
844,636	I
844,676	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. M→M ⁺	1313,9	6. M ⁵⁺ →M ⁶⁺	13326,2
2. M ⁺ →M ²⁺	3388,2	7. M ⁶⁺ →M ⁷⁺	71333,3
3. M ²⁺ →M ³⁺	5300,3	8. M ⁷⁺ →M ⁸⁺	84076,3
4. M ³⁺ →M ⁴⁺	7469,1	9. M ⁸⁺ →M ⁹⁺	
5. M ⁴⁺ →M ⁵⁺	10989,3	10. M ⁹⁺ →M ¹⁰⁺	

В окружающей среде

Биологическая роль

Входит в состав ДНК

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: 16,0

Костная ткань, %: 28,5

Ежедневный прием с пищей: главным образом в виде воды

Токсическая доза: нетоксичен в виде O₂, токсичен в виде O₃

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 43 кг

Распространенность

Солнце (относительно H = 1·10¹²): 6,92·10⁸

Земная кора, %: 47,4

Морская вода, %: входит в состав воды

Атмосфера, об.%: 20,95

Геологические сведения

Основные источники: сжиженный воздух

Мировое производство, т/год: 1·10⁸

Запасы, т: 1,2·10¹⁵ (в атмосфере)

Co

Химические свойства

Атомный номер: 27

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 58,93320

Блестящий, серебристо-голубой, твердый металл; обладает ферромагнитными свойствами. Устойчив на воздухе; медленно взаимодействует с разбавленными кислотами. ^{60}Co используется в качестве радионуклидной метки. Применяется для получения магнитных сплавов, керамики, катализаторов и художественных красок.

Радиус, пм: Co^{2+} 82, Co^{3+} 64, атомный 125,3, ковалентный 116

Электроотрицательность: 1,88 (по Полингу), 1,70 (по Оллреду), 4,3 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 3,90 (по Слейтеру), 5,58 (по Клементи), 7,63 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	IV	III	II	0
Кислый раствор	CoO_2 1,416	Co^{3+} 1,92	Co^{2+} -0,277	Co
Щелочного раствора	CoO_2 0,7	Co(OH)_3 0,17	Co(OH)_2 -0,733	Co

Состояния окисления

Co^{-1}	(d ¹⁰)	$[\text{Co}(\text{CO})_4]^-$ (редко)
Co^0	(d ⁹)	$[\text{Co}_2(\text{CO})_8]$ (редко)
Co^I	(d ⁸)	$[\text{Co}(\text{NCCH}_2)_5]^+$ (редко)
Co^{II}	(d ⁷)	$\text{CoO}, \text{Co}_3\text{O}_4 (= \text{Co}^{II}\text{Co}^{III}_2\text{O}_4),$ $\text{Co}(\text{OH})_2, \text{CoF}_2, \text{CoCl}_2$ и т.д., $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ (aq), множество солей и комплексов
Co^{III}	(d ⁶)	$\text{Co}(\text{OH})_3, \text{CoF}_3, [\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ (aq), $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$, множество комплексов
Co^{IV}	(d ⁵)	$\text{CoO}_2 ?$, $\text{CoS}_2, [\text{CoF}_6]^{2-}$
Co^V	(d ⁴)	K_3CoO_4

Физические свойства

Температура плавления, К: 1768

Температура кипения, К: 3143

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж / моль: 15,2

$\Delta H_{\text{ исп}}$, кДж / моль: 382,4

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p° , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	30,04	24,81
Газообразное	424,7	380,3	179,515	23,020

Плотность, кг / м³: 8900 [293 К]; 7670 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 100 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $6,24 \cdot 10^{-8}$ [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: ферромагнетик

Мольный объем, см³: 6,62

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $13,36 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

α -Co ГЦК ($a = 354,41$); Fm3m

ϵ -Co гексагональная плотноупакованная ($a = 250,7$; $c = 406,9$); P6₃/mmc

$T(\alpha \rightarrow \epsilon) = 690$ К

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 313; MoK_α 42,5

Открыт в 1735 г. Г. Брандтом (Стокгольм, Швеция)
[От нем. kobald - гном]

Кобальт

(Cobalt)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 37,2
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 17
Диапазон изотопных масс: 35M→64

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростра- ненность природе, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада,	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Приме- нение
^{56}Co	55,939841	0	77,7 дня	β^+ (4,566); Э3; γ	0+	+3,830	Метка
^{57}Co	56,936294	0	271 день	Э3 (0,836); γ	7/2-	+4,733	Метка, в медицине
^{58}Co	57,935755	0	70,91 дня	β^+ (2,30); Э3; γ	2+	+4,044	Метка, в медицине
^{59}Co	58,933198	100	Стабилен		7/2-	+4,627	ЯМР
^{60}Co	59,933819	0	5,272 года	β^- (2,824); γ	5+	+3,799	Метка, в медицине

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):

^{59}Co

0,28

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

1570

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):

$6,3472 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²:

$0,40 \cdot 10^{-28}$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

23,614

Стандарт: $\text{K}_3\text{Co}(\text{CN})_6$

Основное электронное состояние: [Ar]3d⁷4s²

Терм: $^4\text{F}_{9/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: 63,8

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
240,725 (AA)	I
242,493	I
340,512	I
344,364	I
345,350	I
350,228	I
356,938	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	760,0	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	9840
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1646	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	12400
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	3232	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	15100
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	4950	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	17900
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	7670	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	26600

В окружающей среде

Биологическая роль

Существенно важен для многих форм жизни, включая человека; канцероген

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: (0,028 - 0,65) · 10^{-4}

Костная ткань, %: (0,01 - 0,04) · 10^{-4}

Кровь, мг/л: 0,0002 - 0,04

Ежедневный прием с пищей: 0,005 - 1,8 мг

Токсическая доза: 500 мг

Летальная доза: данные отсутствуют

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 14 мг

Распространенность

Солнце (относительно H = 1 · 10⁻¹²): $7,94 \cdot 10^{-4}$

Земная кора, %: $2 \cdot 10^{-5}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: данные отсутствуют

Атлантический океан, в глубинных слоях: данные отсутствуют

Тихий океан, в поверхностных слоях: $6,9 \cdot 10^{-10}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $1,1 \cdot 10^{-10}$

Время пребывания, лет: 40

Геохимическая классификация: выводится

Степень окисления: II

Геологические сведения

Основные руды: смальтиит [CoAs_2], кобальтин [CoAsS], линнейт [Co_3S_4]

Мировое производство, т/год: 19000

Запасы, т: данные отсутствуют

Si

Атомный номер: 14

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 28,0855

Химические свойства

Черный аморфный Si получается при восстановлении песка (SiO_2) углеродом; кристаллы полупроводников сверхвысокой чистоты представляют собой серо-голубой металл. Аморфный кремний не реагирует с кислородом, водой, кислотами (кроме HF), но растворяется в горячей щелочи. Применяется в полупроводниках, сплавах и полимерах.

Радиус, пм: Si^{4+} 26, атомный 117, ковалентный 117, вандерваальсов 200, Si^{4-} 271

Электроотрицательность: 1,90 (по Полингу), 1,74 (по Оллреду), 4,77 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 4,15 (по Слейтеру), 4,29 (по Клементи), 4,48 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	IV SiO_2	-0,967	II "SiO"	-0,808	0 Si	-0,143	-IV SiH_4
Кислый раствор [Щелочной раствор содержит множество разнообразных форм]							

Ковалентная связь	r , пм	E , кДж/моль
Si-H	148,0	326
Si-C	187	301
Si-O	151	452
Si-F	155	582
Si-Cl	202	391
Si-Si	232	226

Состояния окисления

Si^{II}	SiF_2 (газ)
Si^{IV}	SiO_2 , " H_4SiO_4 ", силикаты, цеолиты и т.д., SiH_4 и т.д., SiF_4 , SiCl_4 и т.д., SiF_6^{2-} , силициды металлов, например Ca_2Si , CaSi , кремнийорганические соединения

Физические свойства

Температура плавления, К: 1683

Температура кипения, К: 2628

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: 39,6

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 383,3

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p° , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	18,83	20,00
Газообразное	455,6	411,3	167,97	22,251

Плотность, кг/м³: 2329 [293 К]; 2525 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 148 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: 0,001 [273 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $-1,8 \cdot 10^{-9}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 12,06

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $4,2 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

Кубическая ($a = 543,07$); Fd3m, структура алмаза

Фазы высокого давления: ($a = 468,6$, $c = 258,5$); I4₁/amd

($a = 664$); Ia3

($a = 380$, $c = 628$); P6₃mc

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 60,6; MoK_α 6,44

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 171
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 11
Диапазон изотопных масс: 24→34

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростране- нность в при- роде, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{28}Si	27,976927	92,23	Стабилен		0		
^{29}Si	28,976495	4,67	Стабилен		1/2+	-0,5553	ЯМР
^{30}Si	29,973770	3,10	Стабилен		0+		
^{32}Si	31,974148	0	~710 лет	β^- (0,227); нет γ	0+		Метка

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):	$7,84 \cdot 10^{-3}$
Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):	2,09
Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):	$-5,3146 \cdot 10^7$
Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:	19,865
Стандарт: $\text{Si}(\text{CH}_3)_4$	

Основное электронное состояние: $[\text{Ne}]3s^23p^2$

Терм: 3P_0

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж / моль: 133,6

Основные линии

в атомном спектре

Длина волн, нм	Форма
251,611 (AA)	I
288,156	I
504,103	II
505,5986	II
566,9566	II
634,710	II
637,136	II

**Энергии ионизации,
кДж/моль**

1. $M \rightarrow M^+$	786,5	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	19784
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1577,1	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	23786
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	3231,4	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	29252
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	4355,5	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	33876
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	16091	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	38732

В окружающей среде

Биологическая роль

Важен для некоторых форм жизни и, вероятно, для человека; некоторые силикаты канцерогенны

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: $(1\text{-}2) \cdot 10^{-2}$

Костная ткань, %: $17 \cdot 10^{-4}$

Кровь, мг/л: 3,9

Ежедневный прием с пищей: 18 - 1200 мг

Токсическая доза: нетоксичен

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): данные отсутствуют

Распространенность
Солнце (относительно $H = 1 \cdot 10^{12}$): $4,47 \cdot 10^7$

Земная кора, %: 27,7

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $0,03 \cdot 10^{-4}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: $0,82 \cdot 10^{-4}$

Тихий океан, в поверхностных слоях: $0,03 \cdot 10^{-4}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $4,09 \cdot 10^{-4}$

Время пребывания, лет: 30000

Геохимическая классификация: возобновляется

Степень окисления: IV

**Геологические
сведения**

Основные минералы и источники: кварц [SiO_2]; множество разнообразных силикатов

Мировое производство феррокремния, т/год: $3,4 \cdot 10^6$

Мировое производство технического кремния т/год: 480000

Мировое производство чистого кремния для электронной промышленности, т/год: 5000

Запасы, т: неограниченны

Kr

Атомный номер: 36

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 83,80

Химические свойства

Бесцветный газ, без запаха. Химически инертен, реагирует только с фтором. ^{86}Kr имеет в атомном спектре оранжево-красную линию, с которой связан фундаментальный стандарт единиц длины: 1 метр - длина, равная 1 650 763,73 длины волны этой линии в вакууме.

Радиус, пм: ковалентный 189, вандерваальсов 198, Kr^+ 169

Электроотрицательность: д.о. (по Полингу), д.о. (по Оллреду), [6,8 эВ (абсолютная)]

Эффективный заряд ядра: 8,25 (по Слейтеру); 9,77 (по Клементи); 11,79 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления $E^\circ, \text{ В}$

Данные отсутствуют (KrF_2 разлагается водой)

Ковалентная связь	$r, \text{ пм}$	$E, \text{ кДж/моль}$
Kr-F	188,9	50

Состояния окисления		
Kr^0	клатраты	$\text{Kr}_8(\text{H}_2\text{O})_{46}$
Kr^{II}	$\text{Kr}(\text{хинолин})_3$	$\text{KrF}_2, [\text{KrF}]^+[\text{AsF}_6]^-$

Физические свойства

Температура плавления, К: 116,6

Температура кипения, К: 120,85

$\Delta H_{\text{пп}}, \text{ кДж/моль}$: 1,64

$\Delta H_{\text{исп}}, \text{ кДж/моль}$: 9,05

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ, \text{ кДж/моль}$	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ, \text{ кДж/моль}$	$S^\circ, \text{ Дж/(К·моль)}$	$C_p^\circ, \text{ Дж/(К·моль)}$
Газообразное	0	0	164,082	20,786

Плотность, кг/м³: 2823 [тв. при т.пл.]; 2413 [жидкость при т. кип.], 3,7493 [газ, 273 К]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 0,00949 [300 К] (газ)

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $-4,32 \cdot 10^{-9}$ (газ)

Мольный объем, см³: 29,68 [116 К]

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

ГЦК (80 К) ($a = 572,1$); Fm3m

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK α 108; MoK α 84,9

Открыт в 1898 г. сэром Уильямом Рамзаем и М.У. Траверсом
(Лондон, Англия)
[От греч. *kryptos* - скрытый]

Криптон
(Krypton)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 25
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 27
Диапазон изотопных масс: 72–94

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростра- ненность природе, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распа- да, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Приме- нение
^{78}Kr	77,920400	0,35	Стабилен		0+		
^{80}Kr	79,916380	2,25	Стабилен		0+		
^{82}Kr	81,913482	11,6	Стабилен		0+		
^{83}Kr	82,914135	11,5	Стабилен		9/2+	-0,970	ЯМР
^{84}Kr	83,911507	57,0	Стабилен		0+		
^{85}Kr	84,912531	0	10,72 года	β^- (0,687); γ	9/2+	$\pm 1,005$	Метка
^{86}Kr	85,910616	17,3	Стабилен		0+		

ЯМР (малое число соединений)

^{83}Kr

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$): $1,88 \cdot 10^{-3}$

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$): 1,23

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл · с): $-1,029 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²: $0,15 \cdot 10^{-28}$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц: 3,847

Основное электронное состояние: [Ar]3d¹⁰4s²4p⁶

Терм: $^1\text{S}_0$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: -39 (рассчит.)

**Свойства
электронной
оболочки**

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
473,900	II
587,091	I
810,436	I
811,290	I
829,811	I
877,675	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	1350,7	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	7570
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	2350	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	10710
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	3565	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	12200
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	5070	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	22229
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	6240	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(28900)

В окружающей среде

Биологическая роль
Отсутствует; не токсичен, но может вызывать асфиксию
Содержание в человеческом организме: данные отсутствуют, но очень низкое

Распространенность
Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):
данные отсутствуют
Земная кора, %: $\sim 1 \cdot 10^{-9}$
Морская вода:
Концентрация, %: $8 \cdot 10^{-9}$
Степень окисления: 0
Атмосфера, об.%: $1,14 \cdot 10^{-4}$

Геологические сведения

Основные источники: сжиженный воздух
Мировое производство, т/год: 8
Запасы, т: $1,7 \cdot 10^{10}$ (в атмосфере)

Xe

Атомный номер: 54

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 131,29

Химические свойства

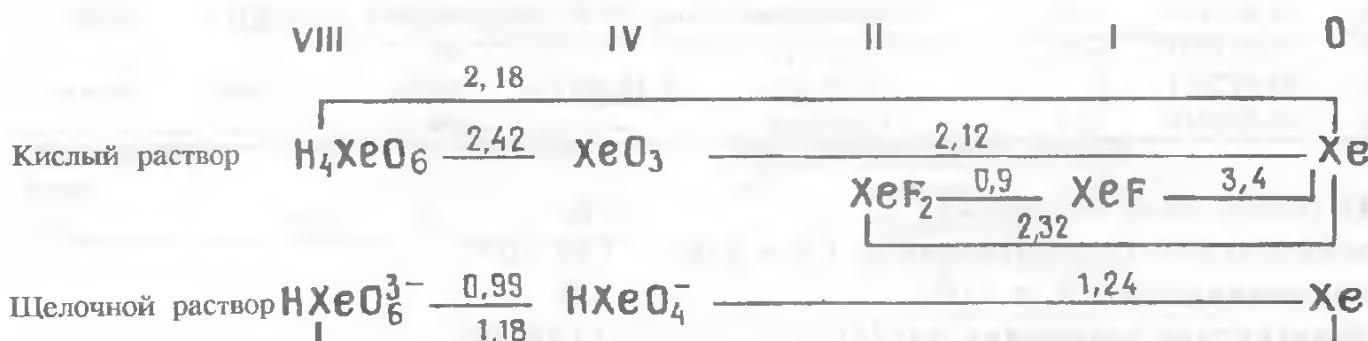
Бесцветный газ, без запаха, получают из жидкого воздуха. Инертен по отношению практически ко всем химическим соединениям; реагирует с газообразным фтором с образованием фторидов ксенона. Известны оксиды, кислоты и соли. Используется мало, в основном в научных исследованиях.

Радиус, пм: Xe^+ 190, атомный 218, ковалентный 209

Электроотрицательность: 2,6 (по Полингу), д.о. (по Оллреду), 5,85 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 8,25 (по Слейтеру); 12,42 (по Клементи); 15,61 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В



Ковалентная связь	r , пм	E , кДж/моль
Xe-O (XeO_3)	176	84
Xe-F	194	133

Состояния окисления

Xe^0	клатраты: $\text{Xe}_8(\text{H}_2\text{O})_{46}$, $\text{Xe}(\text{хинолин})_3$
Xe^{II}	XeF_2 , $[\text{XeF}]^+[\text{AsF}_6]^-$
Xe^{IV}	XeF_4
Xe^{VI}	XeO_3 , XeOF , XeO_2F_2 , XeF_6 , XeF_7 , XeF_8^{3-} , $[\text{XeF}_5]^+[\text{AsF}_6]^-$
Xe^{VIII}	XeO_4 , XeO_3F_2 , Ba_2XeO_6 , $\text{XeO}_6^{4-}(\text{aq})$

Физические свойства

Температура плавления, К: 161,3

Температура кипения, К: 166,1

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: 3,10

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 12,65

Критическая температура, К: 289,7

Критическое давление, кПа: 5840

Критический объем, см³/моль: 118

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Газообразное	0	0	169,683	20,786

Плотность, кг/м³: 3540 [тв. при т.пл.]; 2939 [жидкость при т. кип.], 5,8971 [газ, 273 К]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 0,00569 [300 К] (газ)

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: -4,20 · 10⁻⁹ (газ)

Мольный объем, см³: 37,09 [161 К]

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

ГЦК (88 К) ($a = 619,7$); Fm3m

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 306; MoK_α 39,2

Открыт в 1898 г. сэром Уильямом Рамзаем и М.У.Траверсом
(Лондон, Англия)
[От греч. *xenos* - незнакомец]

Ксенон
(Xenon)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 25
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 35
Диапазон изотопных масс: 114→142

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{124}Xe	123,905894	0,10	Стабилен		0+		
^{126}Xe	125,904281	0,09	Стабилен		0+		
^{127}Xe	126,905182	0	36,3 дня	Э3 (0,66); γ	1/2+		Метка
^{128}Xe	127,903531	1,91	Стабилен		0+		
^{129}Xe	128,904780	26,4	Стабилен		1/2+	-0,7768	ЯМР
^{130}Xe	129,903509	4,1	Стабилен		0+		
^{131}Xe	130,905072	21,2	Стабилен		3/2+		ЯМР
^{132}Xe	131,904144	26,9	Стабилен		0+		
^{133}Xe	132,905888	0	5,25 дня	β^- (0,427); γ	3/2+		Метка, в медицине
^{134}Xe	133,905395	10,4	Стабилен		0+		
^{136}Xe	135,907214	8,9	Стабилен		0+		

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):	^{129}Xe	$[^{131}\text{Xe}]$
$^{13}\text{C} = 1,00$):	$2,12 \cdot 10^{-2}$	$2,76 \cdot 10^{-3}$
Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):	31,8	3,31
Гиromагнитное отношение, рад/(Тл·с):	$-7,4003 \cdot 10^7$	$2,1939 \cdot 10^7$
Квадрупольный момент, м ² :		$-0,12 \cdot 10^{-28}$
Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:	27,660	8,199
Стандарт: XeOF_4		

Основное электронное состояние: [Kr]4d¹⁰5s²5p⁶

Терм: $^1\text{S}_0$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: -41 (рассчит.)

Основные линии

в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
823,164	I
828,012	I
881,941	I
3106,923	I
3507,025	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	1170,4	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	(6600)
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	2046	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	(9300)
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	3097	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(10600)
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	(4300)	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(19800)
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	(5500)	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(23000)

**Свойства
электронной
оболочки**

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; нетоксичен

Содержание в человеческом организме: данные отсутствуют, но невелико

Распространенность

Солнце (относительно $H = 1 \cdot 10^{12}$):

данные отсутствуют

Земная кора, %: $2 \cdot 10^{-10}$

Морская вода: $1 \cdot 10^{-8}$

Время пребывания, лет: данные отсутствуют

Степень окисления: 0

Атмосфера, об.%: $8,6 \cdot 10^{-6}$

Геологические сведения

Основные источники: сжиженный воздух

Мировое производство, т/год: ~0,6

Запасы, т: $2 \cdot 10^9$ (в атмосфере)

Ku

Атомный номер: 104
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12.0000$): 261

Химические свойства

Радиоактивный металл, не встречающийся в природе.

Радиус, пм: данные отсутствуют

Электроотрицательность: данные отсутствуют

Эффективный заряд ядра: данные отсутствуют

Стандартный потенциал восстановления E° , В

Данные отсутствуют

Состояния окисления

Ku^{IV} ?

Физические свойства

Температура плавления, К: данные отсутствуют

Температура кипения, К: данные отсутствуют

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: данные отсутствуют

$\Delta H_{\text{ исп}}$, кДж/моль: данные отсутствуют

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердоё	0	0	д.о.	д.о.
Газообразное	д.о.	д.о.	д.о.	д.о.

Плотность, кг/м³: данные отсутствуют

Теплопроводность, Вт/(м·К): данные отсутствуют

Электрическое сопротивление, Ом·м: данные отсутствуют

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: данные отсутствуют

Мольный объем, см³: данные отсутствуют

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: данные отсутствуют

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

Данные отсутствуют

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α данные отсутствуют

Курчатовий

(Unnilquadium)

Об изотопе 260 сообщалось в 1964 г. группой ученых из Дубны (СССР), и элемент был назван курчатовием - в честь Игоря Курчатова. Первенство в открытии оспаривалось в 1969 г. группой исследователей под руководством А. Гиорко (Беркли, США), наблюдавшими изотоп 257 и давшими ему название rutherfordium в честь Э. Резерфорда. ИЮПАК предложено название un-nil-quadium (от греч. и лат. обозначений 1-0-4).

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: данные отсутствуют
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 6
Диапазон изотопных масс: 257→262

Ядерные
свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная мас- са	Распростра- ненность в природе, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и энергия рас- пада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{257}Ku	257,102950	0	4,8 с	α (9,20)	д.о.	д.о.	
^{259}Ku	259,105530	0	~3,1 с	α (9,20)	д.о.	д.о.	
^{261}Ku	261,108690	0	~65 с	α (8,60)	д.о.	д.о.	

Основное электронное состояние: [Rn]5f¹⁴6d²7s² ?

Терм: $^3\text{F}_2$?

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: данные отсутствуют

Свойства
электронной
оболочки

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм Форма
Данные отсутствуют

Энергии ионизации, кДж/моль

$1. M \rightarrow M^+$ Данные отсутствуют

Геологические сведения

Основные источники: был получен в количестве нескольких тысяч атомов из ^{249}Cr при бомбардировке его ядрами ^{12}C

Биологическая роль

Отсутствует; в природе не встречается, но должен быть токсичен из-за радиоактивности

Содержание в человеческом организме: нулевое

Распространенность
Солнце (относительно Н = $1 \cdot 10^{12}$):
данные отсутствуют
Земная кора, %: нулевая
Морская вода, %: нулевая

Cm

Атомный номер: 96
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): (247)

Химические свойства

Радиоактивный, серебристый металл. Взаимодействует с кислородом, водяным паром и кислотами, но не щелочами.

Радиус, пм: Cm^{2+} 119, Cm^{3+} 99, Cm^{4+} 88

Электроотрицательность: 1,3 (по Полингу), д.о. (по Оллреду)

Эффективный заряд ядра: 1,80 (по Слейтеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	IV		III		0
Кислый раствор	Cm^{4+}	3.2	Cm^{3+}	-2.06	Cm
Щелочной раствор	CmO_2	0.7	Cm(OH)_3	-2.5	Cm

Состояния окисления

Cm^{II}	(f ⁷ d ¹)	CmO
Cm^{III}	(f ⁷)	Cm_2O_3 , Cm(OH)_3 , CmF_3 , CmCl_3 и т.д., $\text{Cm}^{3+}(\text{aq})$
Cm^{IV}	(f ⁶)	CmO_2 , CmF_4 , Cm^{4+} (aq) (очень неустойчив)

Физические свойства

Температура плавления, К: 1610±40

Температура кипения, К: данные отсутствуют

$\Delta H_{\text{пп}}$, кДж/моль: данные отсутствуют

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: данные отсутствуют

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	д.о.	д.о.
Газообразное	д.о.	д.о.	д.о.	д.о.

Плотность, кг/м³: 13300 [293 К]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 10 (расчет) [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: данные отсутствуют

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: данные отсутствуют

Мольный объем, см³: 18,6

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: данные отсутствуют

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

Данные отсутствуют

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: данные отсутствуют

Получен Г. Т. Сиборгом, Р. Джеймсом и А. Гиорсо в 1944 г.
(Беркли, Калифорния, США)
[Назван в честь Пьера и Мари Кюри]

Кюрий
(Curium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 60 (^{247}Cm)
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 14
Диапазон изотопных масс: 238→251

Ядерные
свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распространенность в природе, %	Период полу- ненность в распаде $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин /	Ядерный магнитный момент μ	Применение
^{242}Cm	242,058830	0	162,9 дня	α (6,126); γ	0+		
^{244}Cm	244,062747	0	18,11 года	α (5,902); γ	0+		Получены в миллиграммовых количествах
^{245}Cm	245,065483	0	$8,5 \cdot 10^3$ лет	α (5,623)	7/2+	0,5	
^{246}Cm	246,067218	0	$4,78 \cdot 10^3$ лет	α (5,476)	0+		
^{247}Cm	247,070347	0	$1,56 \cdot 10^7$ лет	α (5,352); γ	9/2-	+0,37	
^{248}Cm	248,072343	0	$3,4 \cdot 10^5$ лет	α (5,162); СД	0+		

Основное электронное состояние: $[\text{Rn}]5f^76d^17s^2$

Терм: $^9\text{D}_2$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж / моль: данные отсутствуют

Свойства
закрученной
оболочки

Основные линии в атомном спектре*

Длина волны, нм	Форма
299,939	I
310,969	I
311,641	I
313,716	I
314,733	I
315,510	I
315,860	I

* Первые семь линий, относенные к нейтральному атому

Энергии ионизации, кДж/моль

- 1. $M \rightarrow M^+$ 581
- 2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$
- 3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$
- 4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$
- 5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$

Биологическая роль

Отсутствует; в природе не встречается, но должен быть токсичен из-за радиоактивности
Содержание в человеческом организме: нулевое

Распространенность

Солнце (относительно Н = $1 \cdot 10^{-12}$):
данные отсутствуют
Земная кора, %: нулевая
Морская вода, %: нулевая

Геологические сведения

Основные источники: отсутствуют.
Получается в виде ^{242}Cm и ^{244}Cm в количестве нескольких граммов при нейтронной бомбардировке ^{238}Ru

La

Атомный номер: 57

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,000$): 138,9055

Химические свойства

Мягкий, серебристо-белый металл, на воздухе быстро покрывается оксидной пленкой и легко воспламеняется. Реагирует с водой с выделением водорода. Применяется для получения оптических стекол. La^{3+} используется как биологическая метка при контроле кальция (Ca^{2+}).

Радиус, пм: La^{3+} 122, атомный 187,7, ковалентный 169

Электроотрицательность: 1,10 (по Полингу), 1,08 (по Оллреду), 3,1 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 2,85 (по Слейтеру), 9,31 (по Клементи), 10,43 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	III		0
Кислый раствор	La^{3+}	-2,38	La
Щелочного раствора	$\text{La}(\text{OH})_3$	-2,80	La

Состояния окисления

La^{III}	([Xe])	La ₂ O ₃ , La(OH) ₃ , $[\text{La}(\text{H}_2\text{O})_x]^{3+}$ (aq), LaF ₃ , LaCl ₃ и т.д., La^{3+} соли, LaOCl, $[\text{La}(\text{NCS})_6]^{3-}$, комплексы LaH ₂ -LaH ₃ , вероятно, представляет собой La^{3+}H^-
--------------------------	--------	---

Физические свойства

Температура плавления, К: 1194

Температура кипения, К: 3730

$\Delta H_{\text{пп}}, \text{ кДж / моль:}$ 10,04

$\Delta H_{\text{исп}}, \text{ кДж / моль:}$ 399,6

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ, \text{ кДж / моль}$	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ, \text{ кДж / моль}$	$S^\circ, \text{ Дж / (К · моль)}$	$C_p, \text{ Дж / (К · моль)}$
Твердое	0	0	56,9	27,11
Газообразное	431,0	393,56	182,377	22,753

Плотность, кг / м³: 6145 [298 К]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 13,5 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $57 \cdot 10^{-8}$ [298 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: $+1,1 \cdot 10^{-8}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 22,60

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $4,9 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

α -La гексагональная ($a = 377,0$; $c = 121,59$); $P6_3/mmc$

β -La ГЦК ($a = 529,6$); $Fm\bar{3}m$

γ -La ОЦК ($a = 426$); $I\bar{m}3m$

$T (\alpha \rightarrow \beta) = 583$ К

$T (\beta \rightarrow \gamma) = 1137$ К

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 341; MoK_α 45,8

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 8,98
 Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 26
 Диапазон изотопных масс: 125→149

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распростране- нность в при- роде, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распа- да, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{138}La	137,907105	0,09	$1,0 \cdot 10^{11}$ лет	β^- (1,04) 34%; β^- (1,75) 66%; γ	5+	+3,707	ЯМР
^{139}La	138,906346	99,91	Стабилен		7/2+	+2,778	ЯМР
^{140}La	139,909471	0	40,28 ч	β^- (3,761); γ	3-	+0,73	Метка

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):

[^{138}La]

^{139}La

$5,92 \cdot 10^{-2}$

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

$9,19 \cdot 10^{-2}$

$0,43$

336

Гиromагнитное отношение, рад/(Тл с):

$3,5295 \cdot 10^7$

$3,7787 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²:

$-0,47 \cdot 10^{-28}$

$0,21 \cdot 10^{-28}$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

13,193

14,126

Стандарт: 0,01M LaCl₃

Основное электронное состояние: [Xe]5d¹6s²

Терм: $^2\text{D}_{3/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: ~50

**Свойства
электронной
оболочки**

Основные линии

в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
394,910	II
408,672	II
418,732	II
433,374	II
550,134 (AA)	I

**Энергии ионизации,
кДж/моль**

1. $M \rightarrow M^+$	538,1	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	(7600)
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1067	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	(9600)
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	1850	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(11000)
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	4819	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(12400)
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	(6400)	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(15900)

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: $0,4 \cdot 10^{-7}$

Костная ткань, %: $< 0,08 \cdot 10^{-4}$

Кровь, мг/л: данные отсутствуют

Ежедневный прием с пищей: данные отсутствуют, но очень мал

Токсическая доза: данные отсутствуют

Летальная доза: 720 мг (для крыс)

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): данные отсутствуют

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):
13,5

Земная кора, %: $32 \cdot 10^{-4}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $1,8 \cdot 10^{-10}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: $3,8 \cdot 10^{-10}$

Тихий океан, в поверхностных слоях: $2,6 \cdot 10^{-10}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $6,9 \cdot 10^{-10}$

Время пребывания, лет: 200

Геохимическая классификация:
возобновляется

Степень окисления: III

**Геологические
сведения**

Основные минералы и источники:
моанит $\{(Ce, La, \dots)PO_4\}$; бастнезит
 $[(Ce, La, \dots)(CO_3)F]$

Мировое производство, т/год: 8400

Запасы, т: $\sim 25 \cdot 10^6$

Li

Атомный номер: 3
Относительная атомная масса (12C = 12,0000): 6,941

Химические свойства

Мягкий, белый, серебристый металл. Медленно реагирует с кислородом и водой. Применяется в виде сплавов (с Al и Mg), в смазках, аккумуляторах, стеклах, в медицине и в ядерных бомбах.

Радиус, пм: Li⁺ 78, атомный 152, ковалентный 123

Электроотрицательность: 0,98 (по Полингу), 0,97 (по Оллреду), 3,01 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 1,30 (по Слейтеру), 1,28 (по Клементи), 1,55 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E°, В

I		0
Li ⁺	-3,040	Li

Состояния окисления

Li ⁻¹	(s ²)	Растворы Li в жидком аммиаке
Li ¹	([He])	Li ₂ O, Li(OH), LiH, LiAlH ₄ , LiF, LiCl и т.д., Li(H ₂ O) ₄ ²⁻ (aq), LiCO ₃ , соли Li ⁺ , ряд комплексов, Li(CH ₃) ₄

Физические свойства

Температура плавления, К: 453,69

Температура кипения, К: 1620

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж / моль: 4,60

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: 134,7

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^{\circ}$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^{\circ}$, кДж / моль	S°, Дж / (К · моль)	C _p , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	29,12	24,77
Газообразное	159,37	126,66	138,77	20,786

Плотность, кг / м³: 534 [293 K]; 515 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 84,7 [300 K]

Электрическое сопротивление, Ом · м: 8,55 · 10⁻⁸ [273 K]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: +2,56 · 10⁻⁸ (тв.)

Мольный объем, см³: 13,00

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: 56 · 10⁻⁶

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

α -Li ОЦК ($a = 351,00$); Im3m

β -Li ГЦК ($a = 437,9$); Fm3m

$T(\alpha \rightarrow \beta) = 77$ K

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 0,716; MoK_α 0,217

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 0,045
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 5
Диапазон изотопных масс: 5–9

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и энергия рас- пада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^6Li	6,015121	7,5		Стабилен		1	+0,822056 ЯМР
^7Li	7,016003	92,5		Стабилен		3/2	+3,25644 ЯМР

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):	$[^6\text{Li}]$	$[^7\text{Li}]$
Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):	$8,50 \cdot 10^3$	0,29
Гиромагнитное отношение, рад/(Тл · с):	3,58	1540
Квадрупольный момент, м ² :	$3,9366 \cdot 10^7$	$10,3964 \cdot 10^7$
Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:	$-8 \cdot 10^{-32}$	$-4,5 \cdot 10^{-30}$
Стандарт: LiCl (aq)	14,716	38,863

Основное электронное состояние: [He]2s¹

Терм: $^2\text{S}_{1/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: 59,6

**Свойства
электронной
оболочки**

**Основные линии
в атомном спектре**

Длина волн, нм	Форма
323,266	I
548,355	II
548,565	II
610,362	I
670,776	I
670,791(АА)	I

**Энергии ионизации,
кДж/моль**

1. $M \rightarrow M^+$	513,3
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	7298,0
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	11814,8

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; стимулятор; тератоген; антидепрессант

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: $0,023 \cdot 10^{-4}$

Костная ткань, %: данные отсутствуют

Кровь, мг/л: 0,004

Ежедневный прием с пищей: 0,1 - 2 мг

Токсическая доза: 92-200 мг

Летальная доза: данные отсутствуют

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 0,67 мг

Распространенность

Солнце (относительно H = 1 · 10⁻¹²):

10

Земная кора, %: $20 \cdot 10^{-4}$

Морская вода, %: $0,17 \cdot 10^{-4}$

Время пребывания, лет: $2 \cdot 10^6$

Геохимическая классификация: накапливается

Степень окисления: I

Геологические

сведения

Основные минералы и источники: сподумен $[\text{LiAlSi}_2\text{O}_6]$, лепидолит $[\text{KLiAl}(\text{F},\text{OH})_2\text{Si}_4\text{O}_10]$; пенталит $[\text{LiAlSi}_4\text{O}_10]$, амбликонит $[\text{LiAl}(\text{F},\text{OH})\text{PO}_4]$

Мировое производство Li_2CO_3 , т/год: 39000
Запасы, т: $7,3 \cdot 10^6$

Lr**Атомный номер: 103****Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): (260)****Химические свойства**

Радиоактивный металл, в природе не встречается.

Радиус, пм: Lr^{2+} 112, Lr^{3+} 94, Lr^{4+} 83

Электроотрицательность: 1,3 (по Полингу)

Эффективный заряд ядра: 1,80 (по Слейтеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

III	0
Lr^{3+}	-2,06

Состояния окисления

Lr^{III}	(f ¹⁴)	Lr^{3+} (aq)
--------------------------	--------------------	-----------------------

Физические свойства**Температура плавления, К:** данные отсутствуют**Температура кипения, К:** данные отсутствуют $\Delta H_{\text{пп}}$, кДж / моль: данные отсутствуют $\Delta H_{\text{исп.}}$, кДж / моль: данные отсутствуют**Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)**

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	д.о.	д.о.
Газообразное	д.о.	д.о.	д.о.	д.о.

Плотность, кг / м³: данные отсутствуют**Теплопроводность, Вт / (м · К):** 10 (оценка) [300 К]**Электрическое сопротивление, Ом · м:** данные отсутствуют**Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг:** данные отсутствуют**Мольный объем, см³:** данные отсутствуют**Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹:** данные отсутствуют**Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа****Данные отсутствуют****Рентгенография:** массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: данные отсутствуют

Получен в 1961 г. А. Гиорсо, Т. Сиккелэндом, А.Е. Ларшем и Р.М. Латимером (Беркли, Калифорния, США)
[Назван в честь Эрнеста О. Лоуренса]

Лоуренсий (Lawrencium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: данные отсутствуют
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 8
Диапазон изотопных масс: 253→260

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распростране- нность в при- роде, %	Период полурас- пада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{260}Lr	260,105320	0	3 мес	α (8,30)	д.о.	д.о.	Нет

Основное электронное состояние: $[\text{Rn}]5\text{f}^{14}6\text{d}^17\text{s}^2$

Терм: $^2\text{D}_{5/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: данные отсутствуют

Свойства зелектронной оболочки

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
данные отсутствуют	

Энергии ионизации, кДж/моль

$M \rightarrow M^+$	д.о.
$M^+ \rightarrow M^{2+}$	
$M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	
$M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	
$M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	

В окружающей среде

Биологическая роль
Отсутствует; в природе не встречается, но должен быть токсичен из-за радиоактивности

Распространенность
Солнце (относительно Н = $1 \cdot 10^{12}$):
данные отсутствуют
Земная кора, %: нулевая
Морская вода, %: нулевая

Геологические
сведения
Получен в количестве всего нескольких атомов при бомбардировке ^{252}Cf ядрами бора.

Lu

Атомный номер: 71
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 174,967

Химические свойства

Очень твердый и очень тяжелый; один из наиболее редких лантаноидов (редкоземельных элементов). Применяется мало, лишь в научных исследованиях.

Радиус, пм: Lu³⁺ 85, атомный 173,4, ковалентный 156

Электроотрицательность: 1,27 (по Полингу), 1,14 (по Оллреду), ≤3,0 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 3,00 (по Слейтеру), 8,80 (по Клементи), 12,68 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	III		0
Кислый раствор	Lu ³⁺	-2,30	Lu
Щелочного раствора	Lu(OH) ₃	-2,83	Lu

Состояния окисления

Lu^{III} (f¹⁴) Lu₂O₃, Lu(OH)₃, [Lu(H₂O)_x]³⁺(aq), соли Lu³⁺, LuF₃, LuCl₃ и т.д., Lu Cl₆³⁻, комплексы

Физические свойства

Температура плавления, К: 1936

Температура кипения, К: 3668

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж / моль: 19,2

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: 428

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p' , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	50,96	26,86
Газообразное	427,6	387,8	184,800	20,861

Плотность, кг / м³: 9840 [298 К]

Тепло проводность, Вт / (м · К): 16,4 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: 79,0 · 10⁻⁸ [298 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: +1,3 · 10⁻⁹ (тв.)

Мольный объем, см³: 17,78

Температурный коэффициент линейного расширения, К¹: 8,12 · 10⁻⁶

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

α -Lu гексагональная плотноупакованная ($a = 350,31$; $c = 555,09$); P6₃/mmc
 β -Lu ОЦК ($a = 390$); Im3m

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 153; MoK_α 88,2

Открыт в 1907 г. Ж. Урбэном (Париж, Франция) и независимо Ч. Джеймсом в Университете Нью-Гемпшира (США)
[От лат. Lutetia - Париж]

Лютезий (Lutetium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 84
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 41
Диапазон изотопных масс: 154→182

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распространенность в природе, %	Период полу- в распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распа- да, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{175}Lu	174,940770	97,41	Стабилен		$7/2^+$	+2,2327	ЯМР
^{176}Lu	175,942679	2,59	$2,2 \cdot 10^{10}$ лет	β^- (1,02); γ	7^-	+3,19	
^{177}Lu	176,943752	0	6,71 дня	β^- (0,497); γ	$7/2^+$	+2,239	Метка

ЯМР (не используется)

^{175}Lu

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):

$3,12 \cdot 10^{-2}$

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

156

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):

$3,05 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²:

$5,68 \cdot 10^{-28}$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

11,407

Основное электронное состояние $[\text{Xe}]4f^{14}5d^16s^2$

Терм $^2\text{D}_{3/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: ≤50

Свойства электронные и ядерные

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
261,542	II
291,139	II
328,174	I
331,211	I
335,956 (AA)	I
350,739	II

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	523,5	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1340	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2022	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	4360	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$		10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$

Вокруг меня сведения

Биологическая роль
Отсутствует; малотоксичен; стимулятор
Содержание в человеческом организме: данные отсутствуют, но не велико

Распространенность
Солнце (относительно $H = 1 \cdot 10^{-12}$):
5,8
Земная кора, %: $0,51 \cdot 10^{-4}$
Морская вода, %:
Атлантический океан, в поверхностных слоях: $1,4 \cdot 10^{-11}$
Атлантический океан, в глубинных слоях: $2,0 \cdot 10^{-11}$
Тихий океан, в поверхностных слоях: $0,60 \cdot 10^{-11}$
Тихий океан, в глубинных слоях: $4,1 \cdot 10^{-11}$
Время пребывания, лет: 4000
Геохимическая классификация: возобновляется
Степень окисления: III

Геологические сведения

Основные минералы и источники:
моанцит $\{(Ce, La, \dots)PO_4\}$, бастнезит $\{(Ce, La, \dots)(CO_3)F\}$
Мировое производство, т/год: ~100
Запасы, т: ~10⁶

Mg

Атомный номер: 12
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 24,3050

Химические свойства

Серебристо-белый, блестящий, относительно мягкий металл. Получают электролизом расплава MgCl_2 . Горит на воздухе и реагирует с горячей водой. Используется для изготовления легких сплавов, а также в антикоррозийных системах защиты других металлов.

Радиус, пм: Mg^{2+} 78, атомный 160, ковалентный 136

Электроотрицательность: 1,31 (по Полингу), 1,23 (по Оллреду), 3,75 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 2,85 (по Слейтеру), 3,31 (по Клементи), 4,15 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	II	I	0
Кислый раствор	Mg^{2+} -2,054 -2,356	Mg^+ -2,657	Mg
Щелочной раствор $\text{Mg}(\text{OH})_2$		-2,687	Mg

Состояния окисления

Mg^{II}	([Ne])	MgO , MgO_2 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$, $\text{Mg}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$ (aq), MgH_2 , MgCO_3 , соли Mg^{2+} , MgF_2 , MgCl_2 и т.д., CH_3MgI , комплексы
-------------------------	--------	---

Физические свойства

Температура плавления, К: 922,0

Температура кипения, К: 1363

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: 9,04

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 128,7

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	32,68	24,89
Газообразное	147,70	113,10	148,650	20,786

Плотность, кг/м³: 1738 [293 К]; 1585 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 156 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $4,38 \cdot 10^{-8}$ [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $+6,8 \cdot 10^{-9}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 13,98

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $26,1 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

Гексагональная плотноупакованная ($a = 320,94$; $c = 521,03$); $P6_3/mmc$

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_{α} 38,6; MoK_{α} 4,11

Индивидуальность как элемента доказана в 1755 г. Джозефом Блэком (Эдинбург, Шотландия); впервые выделен сэром Гемфири Дэви в 1808 г.

[От греч. Магнезия - полуостров в Греции]

Магний (Magnesium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 0,063

Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 12

Диапазон изотопных масс: 20→31

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распространенность в природе, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Применение
^{24}Mg	23,985042	78,99	Стабилен		0+		
^{25}Mg	24,985837	10,00	Стабилен		5/2+	-0,85545	ЯМР
^{26}Mg	25,982593	11,01	Стабилен		0+		
$^{28}\text{Mg}^*$	27,983876	0	21,0 ч	β^- (1,832); γ			

* Наиболее долгоживущий радиоактивный изотоп

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):



$$2,67 \cdot 10^{-3}$$

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

$$1,54$$

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):

$$1,6375 \cdot 10^7$$

Квадрупольный момент, м²:

$$0,22 \cdot 10^{-28}$$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

$$6,1195$$

Стандарт: $\text{MgCl}_2(\text{aq})$

Основное электронное состояние: $[\text{Ne}]3s^2$

Терм: 1S_0

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: -21

Свойства электронной оболочки

Основные линии

в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
279,553	II
280,270	II
285,213 (AA)	I
383,829	I
518,361	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	737,7	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	17995
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1450,7	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	21703
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	7732,6	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	25656
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	10540	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	31642
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	13630	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	35461

В окружающей среде

Биологическая роль

Существенно важен для всех форм жизни

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: $9 \cdot 10^{-2}$

Костная ткань, %: $(7-18) \cdot 10^{-2}$

Кровь, мг/л: 37,8

Ежедневный прием с пищей: 260-380 мг

Токсическая доза: нетоксичен

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 19 г

Распространенность
Солнце (относительно $H = 1 \cdot 10^{12}$):
 $4,0 \cdot 10^{-7}$

Земная кора, %: 2,3

Морская вода, %: 0,12

Время пребывания, лет: $1 \cdot 10^7$

Геохимическая классификация: на-
капливается

Степень окисления: II

Геологические сведения

Основные руды и источники: доломит $[\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3]$, магнезит $[\text{MgCO}_3]$, карналлит $[\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$, кизерит $[\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}]$, мор-
ская вода

Мировое производство, т/год:
325000

Запасы: т. $> 2 \cdot 10^{10}$ в виде руд,
 $> 1 \cdot 10^{24}$ в морской воде

Mn

Химические свойства

Атомный номер: 25
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 54,93805

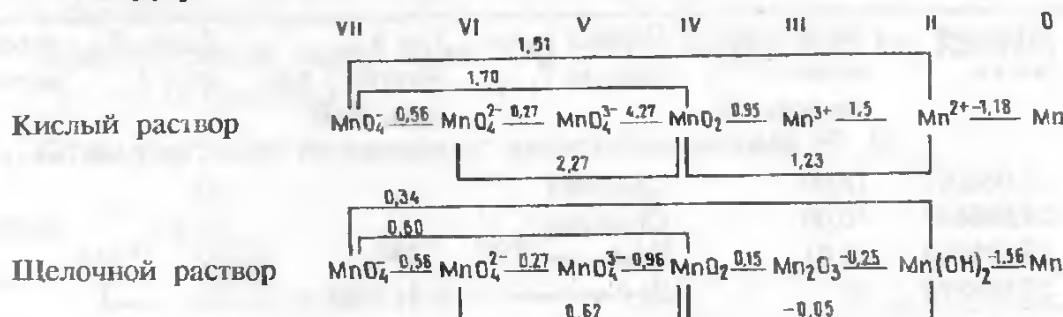
Твердый, хрупкий серебристый металл. При наличии примесей реакционноспособен и горит в кислороде. На воздухе окисляется с поверхности, реагирует с водой, растворяется в разбавленных кислотах. Используется в производстве сталей, как добавка к корму животных и удобрениям, в керамике.

Радиус, пм: Mn²⁺ 91, Mn³⁺ 70, Mn⁴⁺ 52, атомный 124, ковалентный 117

Электроотрицательность: 1,55 (по Полингу), 1,60 (по Оллреду), 3,72 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 3,60 (по Слейтеру), 5,23 (по Клементти), 7,17 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В



Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 13,3
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 15
Диапазон изотопных масс: 49→62

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полурас- пада $T_{1/2}$	Тип и энергия рас- пада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{53}Mn	52,941291	0	$3,7 \cdot 10^6$ лет	Э3 (0,596); нет γ	$7/2^-$	5,024	
^{54}Mn	53,940361	0	312 дней	Э3 (1,377); γ	3^+	+3,2818	Метка
^{55}Mn	54,938047	100	Стабилен		$5/2^-$	+3,4687	ЯМР
^{56}Mn	55,938906	0	2,579 ч	β^- (3,696); γ	3^+	+3,2226	Метка

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):

^{55}Mn

0,18

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

994

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):

$6,6195 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²:

$0,55 \cdot 10^{-28}$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

24,664

Стандарт: KMnO₄(aq)

Основное электронное состояние: [Ar]3d⁵4s²

Терм: $^6\text{S}_{5/2}$

Средство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: <0

**Основные линии
в атомном спектре**

Длина волн, нм	Форма
257,610	
279,482 (AA)	
279,827	
403,076	
403,307	
403,449	

**Энергии ионизации,
кДж/моль**

1. $M \rightarrow M^+$	717,4	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	9200
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1509,0	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	11508
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	3248,4	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	18956
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	4940	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	21400
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	6990	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	23960

**Свойства
электрической
области**

В подвижной среде

Биологическая роль

Важен для всех форм жизни; предполагаемый канцероген

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: $(0,2\text{-}2,3) \cdot 10^{-4}$

Костная ткань, %: $(0,2\text{-}100) \cdot 10^{-4}$

Кровь, мг/л: 0,0016 - 0,075

Ежедневный прием с пищей: 0,4 - 10 мг

Токсическая доза: 10 - 20 мг (для крыс)

Летальная доза: данные отсутствуют

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 12 мг

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):

$2,63 \cdot 10^5$

Земная кора, %: $9,5 \cdot 10^{-2}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $1,0 \cdot 10^{-8}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: $0,06 \cdot 10^{-8}$

Тихий океан, в поверхностных слоях: $1,0 \cdot 10^{-8}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $0,4 \cdot 10^{-8}$

Время пребывания, лет: 50

Геохимическая классификация: выводится

Степень окисления: II

**Геологические
сведения**

Основные руды: пиролюзит [MnO_2], псиломелан [MnO_2 с примесями], криптомелан [$\text{KMn}_8\text{O}_{16}$], манганит [MnO(OH)] и др.

Мировое производство, т/год: $4,85 \cdot 10^6$

Запасы, т: $3,6 \cdot 10^9$

Cu

Атомный номер: 29
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12.0000$): 63,546

Химические свойства

Красноватый металл, ковкий и пластичный, с высокой электро- и теплопроводностью. Устойчив к действию воздуха и воды, но подвержен атмосферным воздействиям - медленно покрывается зеленой патиной (карбонат). (Историческую роль сыграл сплав меди - бронза.) Используется в виде проволоки для электрических проводов, для изготовления монет, в сплавах и т.д.

Радиус, пм: Cu^+ 96, Cu^{2+} 72, атомный 127,8, ковалентный 117

Электроотрицательность: 1,90 (по Полингу), 1,75 (по Оллреду), 4,48 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 4,20 (по Слейтеру), 5,84 (по Клементи), 8,07 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	I	II	0
		0,340	
Cu^{2+}	0,159	Cu^+	0,520
$\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$	0,10	$\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^+$	-0,100
$\text{Cu}(\text{CN})_2^-$	-1,12	$\text{Cu}(\text{CN})_2^-$	-0,44
			Cu

Состояния окисления

Cu^0	(d ¹⁰ s ¹)	[Cu(CO) ₃] при 10 К (редко)
Cu^I	(d ¹⁰)	Cu_2O , CuCl , K[Cu(CN) ₂]
Cu^{II}	(d ⁹)	CuO , CuCl_2 , Cu^{2+} (aq), соли Cu^{2+}
Cu^{III}	(d ⁸)	K_3CuF_6
Cu^{IV}	(d ⁷)	$\text{Cs}_2[\text{CuF}_6]$ (редко)

Физические свойства

Температура плавления, К: 1356,6

Температура кипения, К: 2840

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: 13,0

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 304,6

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p' , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	33,150	24,435
Газообразное	338,32	298,58	166,38	20,786

Плотность, кг/м³: 8960 [293 К]; 7940 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 401 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $1,6730 \cdot 10^{-8}$ [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $-1,081 \cdot 10^{-9}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 7,09

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $1,65 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

ГЦК ($a = 361,47$); Fm3m

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 52,9; MoK_α 50,9

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 3,78
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 18
Диапазон изотопных масс: 58→73

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{63}Cu	62,939598	69,17	Стабилен		3/2-	+2,2233	ЯМР
^{64}Cu	63,929765	0	12,701 ч	β^- (0,578) 39%; β^+ (1,675) 19%; 33 41%; γ	1+	-0,217	Метка, в медици- не
^{65}Cu	64,927793	30,83	Стабилен		3/2-	+2,3817	ЯМР
^{67}Cu	66,927747	0	61,9 ч	β^- (0,58); γ	3/2-		Метка

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$): $9,31 \cdot 10^{-2}$

^{63}Cu

^{65}Cu

0,11

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$): 365

201

Гиromагнитное отношение, рад/(Тл·с): $7,0965 \cdot 10^7$

$7,6018 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²: $-0,211 \cdot 10^{-28}$

$-0,195 \cdot 10^{-28}$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц: 26,505

28,394

Стандарт: Cu(MeCN)₄⁺BF₄⁻ в MeCN

Основное электронное состояние: [Ar]3d¹⁰4s¹

Терм: $^2\text{S}_{1/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: 118,5

Основные линии

в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
216,509	I
217,894	I
324,754 (AA)	I
327,396	I
521,820	I

**Энергии ионизации,
кДж/моль**

$1.M \rightarrow M^+$	745,4	$6.M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	(9940)
$2.M^+ \rightarrow M^{2+}$	1958	$7.M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	(13400)
$3.M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	3554	$8.M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(16000)
$4.M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	5326	$9.M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(19200)
$5.M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	7709	$10.M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(22400)

В окружающей среде

Биологическая роль

Важен для всех форм жизни

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: $1 \cdot 10^{-3}$

Костная ткань, %: $(1 - 26) \cdot 10^{-4}$

Кровь, мг/л: 1,01

Ежедневный прием с пищей: 0,50 - 6 мг

Токсическая доза: > 250 мг

Летальная доза: данные отсутствуют

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 72 мг

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):

$1,15 \cdot 10^4$

Земная кора, %: $5 \cdot 10^{-3}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $8,0 \cdot 10^{-9}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: $12 \cdot 10^{-9}$

Тихий океан, в поверхностных слоях: $8,0 \cdot 10^{-9}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $28 \cdot 10^{-9}$

Время пребывания, лет: 3000

Геохимическая классификация:
возобновляется

Степень окисления: II

Геологические

сведения

Основные руды: халькопирит [CuFeS₂], халькоzin [Cu₂S], куприт [Cu₂O], малахит [Cu₂(CO₃)₂(OH)₂]

Мировое производство, т/год: $> 7 \cdot 10^6$

Запасы, т: $310 \cdot 10^6$

Md

Атомный номер: 101
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): (258)

Химические свойства

Радиоактивный металл, в природе не встречается.

Радиус, пм: Md^{2+} 114, Md^{3+} 96, Md^{4+} 84

Электроотрицательность: 1,3 (по Полингу), д.о. (по Оллреду)

Эффективный заряд ядра: 1,65 (по Слейтеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	III	II	0
Кислый раствор			
	Md^{3+}	$-0,15$	Md^{2+}
		$-1,7$	
		$-2,4$	Md

Состояния окисления

Md^{II}	(f ¹³)	Устойчив?
Md^{III}	(f ¹²)	$[\text{Md}(\text{H}_2\text{O})_x]^{3+}(\text{aq})$

Физические свойства

Температура плавления, К: данные отсутствуют

Температура кипения, К: данные отсутствуют

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж / моль: данные отсутствуют

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: данные отсутствуют

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	д.о.	д.о.
Газообразное	д.о.	д.о.	д.о.	д.о.

Плотность, кг / м³: данные отсутствуют

Теплопроводность, Вт / (м · К): 10 (оценка) [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: данные отсутствуют

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: данные отсутствуют

Мольный объем, см³: данные отсутствуют

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: данные отсутствуют

Тип кристаллической решетки (параметры ячейки, пм); пространственная группа

Данные отсутствуют

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: данные отсутствуют

Получен в 1955 г. А. Гиорсо, В.Дж. Харвеем, Дж.Р. Чоппином, С.Дж.Томпсоном и Г.Т. Сиборгом (Беркли, Калифорния, США)
[Назван в честь Дмитрия Менделеева]

Менделевий (Mendelevium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: данные отсутствуют
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 13
Диапазон изотопных масс: 248→259

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полураспа- да $T_{1/2}$	Тип и энергия рас- пада, МэВ	Ядер- ный спин I	Ядерный магнитный момент μ д.о.	Приме- нение
^{258}Md	258,098570	0	56 дней	α (6,716) 72%; (6,79) 28%; СД	8-		Нет

Основное электронное состояние: $[\text{Rn}]5\text{f}^{13}7\text{s}^2$

Терм: $^2\text{F}_{7/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: данные отсутствуют

Свойства электронной оболочки

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
данные отсутствуют	

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$ 635
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$

В окружющей среде

Биологическая роль

Отсутствует; в природе не встречается, но должен быть токсичен из-за радиоактивности
Содержание в человеческом организме: нулевое

Распространенность

Солнце (относительно Н = $1 \cdot 10^{-12}$):
данные отсутствуют
Земная кора, %: нет
Морская вода, %: нет

Геологические сведения

Получен в количестве всего нескольких атомов при бомбардировке ^{283}Es α -частицами [^4He]

Mo

Атомный номер: 42
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 95,94

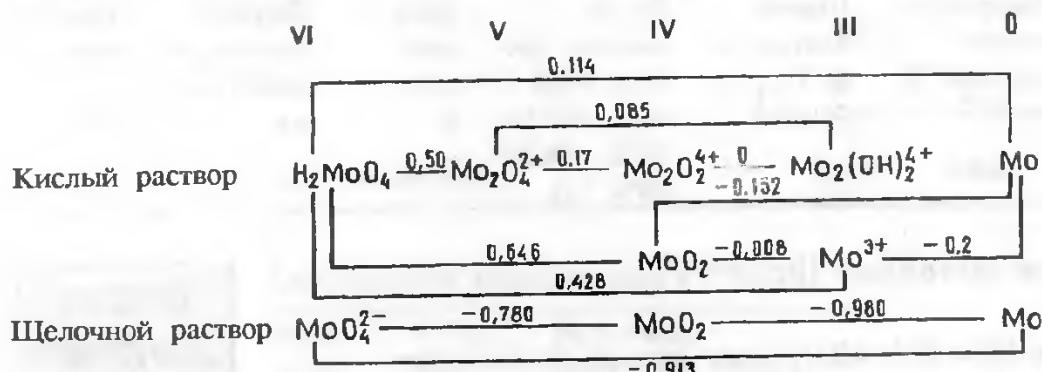
Химические свойства

Радиус, пм: Mo^{2+} 92, Mo^{6+} 6,2, атомный 136,2, ковалентный 129

Электроотрицательность: 2,16 (по Полингу), 1,30 (по Оллреду), 3,9 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 3,45 (по Слейтеру), 6,98 (по Клементи), 9,95 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В



Состояния окисления

Mo^{II}	(d ⁸)	$[\text{Mo}(\text{CO})_5]^2-$ (редко)
Mo^0	(d ⁶)	$\text{Mo}(\text{CO})_6$ (редко)
Mo^1	(d ⁵)	$[\text{Mo}(\text{C}_6\text{H}_6)_2]^+$ (редко)
Mo^{II}	(d ⁴)	$\text{Mo}_6\text{Cl}_{12}$, $[\text{Mo}_2\text{Cl}_8]^{4-}$, $\text{Mo}_2^{4+}(\text{aq})$
Mo^{III}	(d ³)	MoF_3 , MoCl_3 и т.д., $[\text{Mo}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}(\text{aq})$
Mo^{IV}	(d ²)	MoO_2 , MoS_2 , MoF_4 , MoCl_4 и т.д.
Mo^{V}	(d ¹)	Mo_2O_5 , MoF_5 , MoCl_5
Mo^{VI}	(d ⁰ , [Kr])	MoO_3 , $\text{MoO}_4^{2-}(\text{aq})$, MoF_6 , MoF_8^{2-} , MoOF_4

Температура плавления, К: 2890

Температура кипения, К: 4885

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж / моль: 27,6

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: 594,1

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	28,66	24,06
Газообразное	658,1	612,5	181,950	20,786

Плотность, кг / м³: 10220 [293 К]; 9330 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 138 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $5,2 \cdot 10^{-8}$ [273 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: $+1,2 \cdot 10^{-8}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 9,39

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $5,43 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры ячейки, пм); пространственная группа

ОЦК ($a = 314,700$); $\text{Im}3m$

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 162; MoK_α 18,4

Выделен в 1781 г. П. Гельмом (Упсала, Швеция)
[От греч. *molybdos* - свинец]

Молибден

(Molybdenum)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 2,60
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 23
Диапазон изотопных масс: 88→106

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распа- да, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Приме- нение
^{92}Mo	91,906808	14,84	Стабилен		0+		
^{94}Mo	93,905085	9,25	Стабилен		0+		
^{95}Mo	94,905840	15,92	Стабилен		5/2+	-0,9133	ЯМР
^{96}Mo	95,904678	16,68	Стабилен		0+		
^{97}Mo	96,906020	9,55	Стабилен		5/2+	-0,9335	ЯМР
^{98}Mo	97,905406	24,13	Стабилен		0+		
^{99}Mo	98,907711	0	65,94 ч	β^- (1,357); γ	1/2+		Метка
^{100}Mo	99,907477	9,63	Стабилен		0+		

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$): $3,23 \cdot 10^{-3}$ $[^{97}\text{Mo}]$ $3,43 \cdot 10^{-3}$

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$): 2,88 1,84

Гиromагнитное отношение, рад/(Тл·с): $1,7433 \cdot 10^7$ $-1,7799 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²: $0,12 \cdot 10^{-28}$ $1,1 \cdot 10^{-28}$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц: 6,514 6,652

Стандарт: MoO_4^{2-} (aq)

Основное электронное состояние: [Kr]4d⁵5s¹

Терм: $^7\text{S}_3$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: 72,0

Основные линии

в атомном спектре

Длина волн, нм	Форма
201,511	II
202,030	II
203,844	II
313,259 (AA)	I
379,825	I
386,411	I
390,296	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	685,0	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	6560
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1558	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	12230
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2621	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	14800
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	4480	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(16800)
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	5900	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(19700)

В окружающей среде

Биологическая роль

Важен для всех форм жизни; тератоген

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: $0,018 \cdot 10^{-4}$

Костная ткань, %: $< 0,7 \cdot 10^{-4}$

Кровь, мг/л: ~0,001

Ежедневный прием с пищей:
0,06 - 0,35 мг

Токсическая доза: 5 мг

Летальная доза: 50 мг (для крыс)

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): данные отсутствуют

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):

145

Земная кора, %: $1,5 \cdot 10^{-4}$

Морская вода, %: $0,01 \cdot 10^{-4}$

Время пребывания, лет: 600000

Геохимическая классификация: на-
капливается

Степень окисления: VI

Геологические сведения

Основные минералы и источники:
молибденит [MoS_2]; получают так-
же как побочный продукт в про-
изводстве меди

Мировое производство, т/год:
80000

Запасы, т: $5 \cdot 10^6$

As

Химические свойства

Атомный номер: 33

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 74,9216

Неметалл, существует в нескольких аллотропных модификациях. Серая α -форма - по внешнему виду мягкий и хрупкий металл, в O_2 покрывается оксидной пленкой и горит, устойчив к воздействию воды, кислот и щелочей. Реагирует с горячими кислотами и расплавленным NaOH . Применение: сплавы, полупроводники, пестициды, составы для пропитки древесины, стекла.

Радиус, пм: As^{5+} 46, As^{3+} 69, ковалентный 121, атомный 125, вандервальсов 200

Электроотрицательность: 2,18 (по Полингу), 2,20 (по Оллреду), 5,3 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 6,30 (по Слейтеру), 7,45 (по Клементи), 8,98 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	V	III	0	-III
Кислый раствор	H_3AsO_4 -0,560	HAsO_2 0,240	As -0,225	AsH_3
Щелочной раствор	AsO_4^{3-} -0,67	AsO_2^- -0,68	As -1,37	AsH_3

Ковалентная связь	r, пм	E, кДж/моль	Состояния окисления
As-H	151,9	~245	As^{III}
As-C	198	200	As^{III}
As-O	178	477	AsCl_3 и т.д.
As-F	171	464	AsO_{10}^5 , H_3AsO_4 , H_2AsO_4^- и т.д. (aq), NaAsO_3 , AsF_5
As-Cl	216	293	
As-As	244	348	

Физические свойства

Температура плавления, К: 1090 (α) под давлением

Температура кипения, К: 889 (сублимация)

$\Delta H_{\text{пл.}}$, кДж/моль: 27,7

$\Delta H_{\text{ исп.}}$, кДж/моль: 31,9

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр.}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр.}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p° , Дж/(К·моль)
Твердое (α)	0	0	35,1	24,64
Газообразное	302,5	261,0	174,21	20,786

Плотность, кг/м³: 5780 (α); 4700 (β) [293 К]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 50,0(α) [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом м: $26 \cdot 10^{-8}$ [273 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $-9,17 \cdot 10^{-10}$ (α); $-3,97 \cdot 10^{-9}$ (β)

Мольный объем, см³: 12,95 (α); 15,9 (β)

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $4,7 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры ячейки, пм); пространственная группа

α -As ромбическая ($a = 413,18$; $\alpha = 54^\circ10'$), $R\bar{3}m$, металлическая форма

β -As гексагональная ($a = 376,0$; $c = 10,548$), желтая форма

Серая форма аморфна

$T(\alpha \rightarrow \beta) = 501$ К; $T(\beta \rightarrow \text{серая форма})$ - комнатная температура

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 83,4; MoK_α 69,7

Вероятно, впервые выделен Альбертом Великим (1193 - 1280).

[От греч. arsenikon - желтый пигмент]

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 4,30

Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 21

Диапазон изотопных масс: 67→86

Мышьяк

(Arsenic)

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распространенность в природе, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Применение
^{73}As	72,923827	0	80,3 дня	Э3 (0,35); γ	$3/2^-$		Метка
^{74}As	73,923827	0	17,78 дня	β^- (1,36); β^+ ; Э3; γ	2^-	-1,597	Метка
^{75}As	74,921594	100	Стабилен		$3/2^-$	+1,43947	ЯМР
^{76}As	75,922393	0	26,3 ч	β^- (2,97); γ	2^-	-0,906	Метка

ЯМР

^{75}As

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$): $2,51 \cdot 10^{-2}$

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$): 143

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с): $4,5804 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²: $0,3 \cdot 10^{-28}$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц: 17,126

Стандарт: KAsF₆

Основное электронное состояние: [Ar]3d¹⁰4s²4p³

Терм: $^4\text{S}_{3/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: 78

Свойства электронной оболочки

Основные линии

в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
193,759(АА)	I
419,008	II
445,847	II
446,635	II
449,423	II
450,766	II
454,348	II

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	947,0	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	12305
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1798	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	(15400)
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2735	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(18900)
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	4837	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(22600)
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	6042	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(26400)

В окружающей среде

Биологическая роль

Важен для некоторых форм жизни, включая человека; токсичен; стимулятор, канцероген

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: (0,009 - 0,65) · 10⁻⁴

Костная ткань, %: (0,08 - 1,6) · 10⁻⁴

Кровь, мг/л: 0,0017 - 0,09

Ежедневный прием с пищей: 0,04 - 1,4 мг

Токсическая доза: 5 - 50 мг

Летальная доза: 50 - 340 мг

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 18 мг

Распространенность

Солнце (относительно $H = 1 \cdot 10^{12}$): данные отсутствуют

Земная кора, % : 1,6 · 10⁻⁴

Морская вода, % :

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $1,45 \cdot 10^{-7}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: $1,53 \cdot 10^{-7}$

Тихий океан, в поверхностных слоях: $1,45 \cdot 10^{-7}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $1,75 \cdot 10^{-7}$

Время пребывания, лет: 90000

Геохимическая классификация: As(III) выводится, As(V) возобновляется

Степень окисления: иногда III, но в основном V

Атмосфера, об.% : следы

Геологические сведения

Основные минералы и источники: реальгар $[\text{As}_4\text{S}_4]$, арсенопирит $[\text{As}_2\text{S}_3]$, аурипигмент $[\text{FeAs}_2]$

Мировое производство, т/год: 47000 As_2O_3

Запасы, т: данные отсутствуют

Na

Атомный номер: 11
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 22,989768

Химические свойства

Мягкий серебристо-белый металл, на срезе быстро окисляется. Бурно реагирует с водой. Производится в больших количествах и используется как металл в теплообменниках в ядерных реакторах. NaCl - ключевое вещество в химической промышленности, применяется в производстве Cl_2 , NaOH и т.д.

Радиус, пм: Na^+ 98, атомный 153,7, вандерваальсов 231

Электроотрицательность: 0,93 (по Полингу), 1,01 (по Оллреду), 2,85 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 2,20 (по Слейтеру), 2,51 (по Клементи), 3,21 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

I		0
Na^+	-2,713	Na

Состояния окисления

Na^{-1}	(s^2)	Раствор в жидком аммиаке
Na^1	($[\text{Ne}]$)	Na_2O , Na_2O_2 (пероксид), NaOH , NaN , NaF , NaCl и т.д., $[\text{Na}(\text{H}_2\text{O})_4]^+$ (aq), NaHCO_3 , Na_2CO_3 , Na^+ соли, ряд комплексов

Физические свойства

Температура плавления, К: 370,96

Температура кипения, К: 1156,1

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж / моль: 2,64

$\Delta H_{\text{ исп}}$, кДж / моль: 89,04

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	51,21	28,24
Газообразное	107,32	76,671	153,712	20,786

Плотность, кг / м³: 971 [293 К]; 928 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 141 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $4,2 \cdot 10^{-8}$ [273 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: $+8,8 \cdot 10^{-9}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 23,68

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $70,6 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры ячейки, пм); пространственная группа

α -Na гексагональная ($a = 376,7$, $c = 615,4$); $P6_3/mmc$

β -Na ОЦК ($a = 429,06$); $I\bar{m}3m$

T (ОЦК \rightarrow гексагональная) = 5 К

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 30,1; MoK_α 3,21

Выделен в 1807 г. сэром Гемфри Дэви в Королевском Институте (Лондон, Англия)
[Англ. soda; лат. sodium]

Натрий (Sodium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 0,53
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 14
Диапазон изотопных масс: 19→31

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распространенность в природе, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Применение
^{22}Na	21,994434	0	2,605 года	β^+ (2,842) 90%; 3+ Э3 10%; γ		+1,746	Метка
^{23}Na	22,989767	100	Стабилен		3/2+	+2,21752	ЯМР
^{24}Na	23,990961	0	14.97 ч	β^- (5,514); γ	4+	+1,6903	Метка, в медицине

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):	^{23}Na
Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):	$9,25 \cdot 10^{-2}$
Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):	525
Квадрупольный момент, м ² :	$7,0761 \cdot 10^7$
Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:	$0,12 \cdot 10^{-28}$
Стандарт: NaCl (aq)	26,451

Основное электронное состояние: [Ne]3s¹

Терм: $^2\text{S}_{1/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: 52,9

Основные линии

в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
313,548	II
588,995 (AA)	I
589,592	I
818,326	I
819,482	I

Энергии ионизации,

кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	495,8	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	16610
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	4562,4	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	20114
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	6912	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	25490
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	9543	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	28933
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	13353	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	141360

Свойства электронной оболочки

в окружающей среде

Биологическая роль

Важен для большинства форм жизни, включая человека

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: 0,26 - 0,78

Костная ткань, %: 1,00

Кровь, мг/л: 1970

Ежедневный прием с пищей: 2 - 15

г

Токсическая доза: нетоксичен

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 100 г

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):
 $1,91 \cdot 10^6$

Земная кора, %: 2,3

Морская вода, %: 1,05

Время пребывания, лет: $1 \cdot 10^8$

Геохимическая классификация: накапливается

Степень окисления: I

Геологические сведения

Основные минералы и источники: галит (каменная соль) [NaCl]; трона $[\text{Na}_3(\text{CO}_3)(\text{HCO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$

Мировое производство соли, т/год: $168 \cdot 10^6$

Мировое производство карбоната натрия, т/год: $29 \cdot 10^6$

Мировое производство металлического натрия, т/год: ~200000

Запасы, т: почти неограниченны

Nd

Атомный номер: 60
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 144,24

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Серебристо-белый металл группы редкоземельных элементов (лантаноидов). На воздухе покрывается оксидной пленкой, медленно реагирует с холодной водой, быстро — с горячей. Применяется в сплавах для получения постоянных магнитов, в оптических стеклах, глазури и стекле.

Радиус, пм: Nd^{3+} 104, атомный 182,1, ковалентный 164

Электроотрицательность: 1,14 (по Полингу), 1,07 (по Оллреду), $\leq 3,0$ эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 2,85 (по Слейтеру), 9,31 (по Клементи), 10,83 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	IV	III	II	0
			$-2,32$	
Кислый раствор	$\text{Nd}^{4+} \quad -4,9$	$\text{Nd}^{3+} \quad -2,6$	$\text{Nd}^{2+} \quad -2,2$	Nd
Щелочного раствора	$[\text{NdO}_2] \quad -2,5$	Nd(OH)_3	$-2,78$	

Состояния окисления

Nd^{II}	(f ⁴)	$\text{NdO}, \text{NdCl}_2, \text{NdI}_2$
Nd^{III}	(f ³)	$\text{Nd}_2\text{O}_3, \text{Nd(OH)}_3, [\text{Nd}(\text{H}_2\text{O})_x]^{3+}(\text{aq}), \text{NdF}_3, \text{NdCl}_3$ и т.д., соли Nd^{3+} , комплексы
Nd^{IV}	(f ²)	Cs_3NdF_7

Температура плавления, К: 1294

Температура кипения, К: 3341

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж / моль: 7,113

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: 283,7

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	71,5	27,45
Газообразное	327,6	292,4	189,406	22,092

Плотность, кг / м³: 7007 [293 К]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 16,5 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $64,0 \cdot 10^{-8}$ [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: $+4,902 \cdot 10^{-7}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 20,59

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $6,7 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры ячейки, пм); пространственная группа

α -Nd гексагональная ($a = 365,79$; $c = 1179,92$); $P6_3/mmc$

β -Nd ОЦК ($a = 413$); $I\bar{m}3m$

T ($\alpha \rightarrow \beta$) = 1135 К

Фаза высокого давления: ГЦК ($a = 480$); $Fm\bar{3}m$

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_{α} 374; MoK_{α} 53,2

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 49
 Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 24
 Диапазон изотопных масс: 133→154

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростране- нность в при- роде, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распа- да, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Приме- нение
^{142}Nd	141,907719	27,13	Стабилен		0+		
^{143}Nd	142,909810	12,18	Стабилен		7/2-	-1,08	ЯМР
^{144}Nd	143,910083	23,80	$2,1 \cdot 10^{15}$ лет	$\alpha(1,83)$	0+		
^{145}Nd	144,912570	8,30	Стабилен		7/2-	-0,66	ЯМР
^{146}Nd	145,913113	17,19	Стабилен		0+		
^{147}Nd	146,916097	0	10,99 дней	$\beta^-(0,895); \gamma$	5/2-	0,59	Метка
^{148}Nd	147,916889	5,76	Стабилен		0+		
^{150}Nd	149,920889	5,64	Стабилен		0+		

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):	$3,38 \cdot 10^{-3}$	^{145}Nd
Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):	2,43	$7,86 \cdot 10^{-4}$
Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):	$-1,474 \cdot 10^7$	$-0,913 \cdot 10^7$
Квадрупольный момент, м ² :	$-0,48 \cdot 10^{-28}$	$-0,25 \cdot 10^{-28}$
Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:	5,437	3,346

Основное электронное состояние: $[\text{Xe}]4f^46s^2$

Терм: $^5\text{I}_4$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: ≤ 50

**Основные линии
в атомном спектре**

Длина волны, нм	Форма
386,333	II
395,116	II
401,225	II
406,109	II
430,358	II
495,453 (AA)	I

**Энергии ионизации,
кДж/моль**

1. $M \rightarrow M^+$	529,6
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1035
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2130
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	3899
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	

**Свойства
затекционной
оболочки**

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; малотоксичен, вызывает раздражение глаз

Содержание в человеческом организме: данные отсутствуют, но невелико

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$): 17,0

Земная кора, %: $38 \cdot 10^{-4}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $1,8 \cdot 10^{-10}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: $3,2 \cdot 10^{-10}$

Тихий океан, в поверхностных слоях: $1,8 \cdot 10^{-10}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $4,8 \cdot 10^{-10}$

Время пребывания, лет: 500

Геохимическая классификация: возобновляется

Степень окисления: III

Геологические сведения

Основные минералы и источники: монацит $[(\text{Ce}, \text{La}, \dots) \text{PO}_4]$; бастнезит $[(\text{Ce}, \text{La}, \dots) (\text{CO}_3)_2 \text{F}]$

Мировое производство, т/год: 2900

Запасы, т: 10⁷

Ne

Атомный номер: 10
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12.0000$): 20,1797

Химические свойства

Бесцветный газ, практически без запаха; получают из сжиженного воздуха. Химически инертен ко всем веществам, за исключением газообразного фтора. Применяется в осветительных трубках ("неоновые" огни).

Радиус, пм: вандерваальсов 160

Электроотрицательность: д.о. (по Полингу), д.о. (по Оллреду), [10,6 эВ (абсолютная)]

Эффективный заряд ядра: 5,85 (по Слейтеру); 5,76 (по Клементи); 5,18 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления $E^\circ, \text{ В}$

Данные отсутствуют

Ковалентная связь	$r, \text{ пм}$	$E, \text{ кДж/моль}$
--------------------------	-----------------	-----------------------

Не образует связей

Состояния окисления

Только Ne^0 (газ)

Физические свойства

Температура плавления, К: 24,48

Температура кипения, К: 27,10

$\Delta H_{\text{пл}}, \text{ кДж/моль: } 0,324$

$\Delta H_{\text{исп}}, \text{ кДж/моль: } 1,736$

Критическая температура, К: 44,4

Критическое давление, кПа: 2760

Критический объем, см³/моль: 41,7

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ, \text{ кДж/моль}$	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ, \text{ кДж/моль}$	$S^\circ, \text{ Дж/(К·моль)}$	$C_p^\circ, \text{ Дж/(К·моль)}$
Газообразное	0	0	146,328	20,786

Плотность, кг/м³: 1444 [тв., при т.пл.]; 1207,3 [жидкость, при т. кип.], 0,89994 [газ, 273 К]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 0,0493 [300 К] (газ)

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: -4,2 · 10⁻⁹ (газ)

Мольный объем, см³: 13,97 [24 К]

Тип кристаллической решетки (параметры ячейки, пм); пространственная группа

ГЦК ($a = 445,462$); Fm3m

Гексагональная плотноупакованная ($a = 314,5$; $c = 514$); P6₃/mmc [3 К]

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 22,9; MoK_α 2,47

Открыт в 1898 г. сэром Уильямом Рамзаем и М.У. Траверсом
 (Лондон, Англия)
 [От греч. *neos* - новый]

Неон

(Neon)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 0,040
 Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 9
 Диапазон изотопных масс: 17→25

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распространенность в природе, %	Период полу- $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Применение
^{20}Ne	19,992435	90,48	Стабилен		0+		
^{21}Ne	20,993843	0,27	Стабилен		3/2+	-0,66179	ЯМР
^{22}Ne	21,991383	9,215	Стабилен		0		

ЯМР (для соединений неизвестен)

^{21}Ne

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$): $2,50 \cdot 10^{-3}$

0,0359

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

$-2,1118 \cdot 10^7$

Гиromагнитное отношение, рад/(Тл·с):

$9 \cdot 10^{-30}$

Квадрупольный момент, м²:

7,894

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

Основное электронное состояние: $[\text{Ne}]2s^22p^6$

Терм: 1S_0

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: -29 (расчит.)

Свойства электронной оболочки

Основные линии

в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
837,761	I
865,438	I
878,062	I
878,375	I
885,387	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	2080,6	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	15238
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	3952,2	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	19998
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	6122	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	23069
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	9370	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	115377
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	12177	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	131429

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; не токсичен, но может

вызывать асфиксию

Содержание в человеческом организме: данные отсутствуют, но очень низкое

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{-12}$): $3,72 \cdot 10^{-7}$

Земная кора, %: $7 \cdot 10^{-9}$

Морская вода, %: $2 \cdot 10^{-8}$

Время пребывания, лет: данные отсутствуют

Степень окисления: 0

Атмосфера, об.%: 0,0018

Геологические сведения

Основные источники: сжиженный воздух

Мировое производство, т/год: ~1
 Запасы, т: $6,5 \cdot 10^{10}$ (в атмосфере)

Np

Атомный номер: 93

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 237,0482

Химические свойства

Радиоактивный, серебристый металл, не встречающийся в природе. Подвержен воздействию воздуха, водяного пара и кислот, но не щелочей.

Радиус, пм: Np^{3+} 110, Np^{4+} 95, Np^{5+} 88, Np^{6+} 82, атомный 131

Электроотрицательность: 1,36 (по Полингу), 1,22 (по Оллреду)

Эффективный заряд ядра: 1,80 (по Слейтеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	VII	VI	V	IV	III	0
Кислый раствор	NpO_3^+ <small>— 2,04</small>	NpO_2^{2+} <small>— 1,24</small>	NpO_2^+ <small>0,66</small>	Np^{4+} <small>0,18</small>	Np^{3+} <small>— 1,30</small>	Np
	<small>0,95</small>					



Состояния окисления

Np^{II}	(f ⁴ d ¹)	NpO
Np^{III}	(f ⁴)	NpF_3 , NpCl_3 и т.д., $[\text{NpCl}_6]^{3-}$, $[\text{Np}(\text{H}_2\text{O})_x]^{3+}$ (aq)
Np^{IV}	(f ³)	NpO_2 , $[\text{Np}(\text{H}_2\text{O})_x]^{4+}$ (aq), NpF_4 , NpCl_4 , NpBr_4 , $[\text{NpCl}_6]^{2-}$, комплексы
Np^{V}	(f ²)	Np_2O_5 , NpF_5 , CsNpF_6 , Na_3NpF_8 , NpO_2^+ (aq)
Np^{VI}	(f ¹)	$\text{NpO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, NpO_2^{2+} (aq), NpF_6
Np^{VII}	([Rn])	Li_5NpO_6

Физические свойства

Температура плавления, К: 913

Температура кипения, К: 4175

$\Delta H_{\text{пп}}$, кДж/моль: 9,46

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 336,6

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	д.о.	д.о.
Газообразное	д.о.	д.о.	д.о.	д.о.

Плотность, кг/м³: 20250 [293 К]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 6,3 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $122 \cdot 10^{-8}$ [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: данные отсутствуют

Мольный объем, см³: 11,71

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $2,75 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры ячейки, пм); пространственная группа

α -Np орторомбическая ($a = 472,3$; $b = 488,7$; $c = 666,3$), Pmcm

β -Np тетрагональная ($a = 489,7$; $c = 338,8$); P42₁2

γ -Np кубическая ($a = 352$); Im3m

$T(\alpha \rightarrow \beta) = 551$ К

$T(\beta \rightarrow \gamma) = 850$ К

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: данные отсутствуют

Получен в 1940 г. Э.М. Макмилланом и Ф. Абельсоном
(Беркли, Калифорния, США)
[Назван в честь планеты Нептун]

Нептуний

(Neptunium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 180 (^{237}Np)
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 18
Диапазон изотопных масс: 228–242

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распространенность в природе, %	Период полу-распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Применение
^{237}Np	237,048167	0	$2,14 \cdot 10^6$ лет	α (4,957); γ	5/2+	+3,14	Метка

ЯМР

^{237}Np

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):

Квадрупольный момент, м²:

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

Основное электронное состояние: [Rn]5f⁴6d¹7s²

Терм: $^6\text{L}_{11/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: данные отсутствуют

Свойства электронной оболочки

Основные линии

в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
901,618	
1009,199	
1081,745	
1169,515	
1177,664	
1214,818	
1237,742	
1240,799	
1383,433	

Энергии ионизации, кДж/моль

- 1. $M \rightarrow M^+$ 597
- 2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$
- 3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$
- 4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$
- 5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$

В окружающей среде

Биологическая роль
Отсутствует; в природе не встречается, но должен быть токсичен из-за радиоактивности
Содержание в человеческом организме нулевое

Распространенность
Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):
данные отсутствуют
Земная кора, %: нет
Морская вода, %: нет

Геологические сведения

Основные источники: получен в виде ^{237}Np в количестве нескольких килограммов из уранового ядерного топлива

Ni

Атомный номер: 28

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 58,69

Химические свойства

Серебристо-белый металл, блестящий, ковкий и пластичный. Устойчив к коррозии, растворяется в кислотах, за исключением концентрированной HNO_3 , не реагирует со щелочами. Применяется в сплавах, для изготовления монет, в металлических покрытиях и катализаторах.

Радиус, пм: Ni^{2+} 78, Ni^{3+} 62, атомный 124,6, ковалентный 115

Электроотрицательность: 1,91 (по Полингу), 1,75 (по Оллреду), 4,40 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 4,05 (по Слейтеру), 5,71 (по Клементи), 7,86 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	V	IV	II	0
		>1,6		
Кислый раствор	$\text{NiO}_4^{2-} \xrightarrow{>1,8}$	$\text{NiO}_2 \xrightarrow{1,593}$	$\text{Ni}^{2+} \xrightarrow{-0,257}$	Ni
Щелочной раствор	$\text{NiO}_4^{2-} \xrightarrow{>0,4}$	$\text{NiO}_2 \xrightarrow{0,490}$	$\text{Ni(OH)}_2 \xrightarrow{-0,72}$	Ni

Состояния окисления

Ni^{-1}	(d ¹⁰ s ¹)	$[\text{Ni}_2(\text{CO})_6]^{2-}$
Ni^0	(d ¹⁰)	$\text{Ni}(\text{CO})_4^-, \text{K}_4^+[\text{Ni}(\text{CN})_4]$
Ni^I	(d ⁹)	$\text{K}_2^+[\text{Ni}(\text{CN})_4]$
Ni^{II}	(d ⁸)	$\text{NiO}, \text{Ni}(\text{OH})_2, [\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}(\text{aq}), \text{NiF}_2, \text{NiCl}_2$ и т.д., со- ли, $\text{NiAs}, \text{NiCl}_4^{2-}$, комплексы, $[\text{Ni}(\text{C}_5\text{H}_5)_2]$
Ni^{III}	(d ⁷)	$\text{NiO}(\text{OH}), \text{NiF}_3 ?$, NiF_6^{3-}
Ni^{IV}	(d ⁶)	$\text{NiO}_2 ?, \text{NiF}_6^{2-}$
Ni^{VI}	(d ⁴)	$\text{K}_2^+[\text{NiO}_4] ?$

Температура плавления, К: 1726

Температура кипения, К: 3005

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж / моль: 17,6

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: 371,8

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	29,87	26,07
Газообразное	429,7	384,5	182,193	23,359

Плотность, кг / м³: 8902 [298 К]; 7780 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 90,7 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $6,84 \cdot 10^{-8}$ [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: ферромагнетик

Точка Кюри, К: 6,33

Мольный объем, см³: 6,59

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $13,3 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры ячейки, пм); пространственная группа

ГЦК ($a = 352,38$); Fm3m

"Гексагональный" никель * ($a = 266$; $c = 432$); P6₃/mmc

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 45,7; MoK_α 46,6

* Никель с примесями

Открыт в 1751 г. А. Кронштедтом (Стокгольм, Швеция)
[Происходит от нем. *kuerpnickel*, что означает дьявольская
медь, или медь Св. Николаса]

Никель (Nickel)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 37,2
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 14
Диапазон изотопных масс: 53→67

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{58}Ni	57,935346	68,27	Стабилен			0+	
^{59}Ni	58,934349	0	$7,6 \cdot 10^4$	Э3 (1,072); нет γ	3/2-		
^{60}Ni	59,930788	26,10	Стабилен		0+		
^{61}Ni	60,931058	1,13	Стабилен		3/2-	-0,75002	ЯМР
^{62}Ni	61,928346	3,59	Стабилен		0+		
^{63}Ni	62,929669	0	100 лет	β^- (0,065); нет γ	1/2-		Метка
^{64}Ni	63,927968	0,91	Стабилен		0+		

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$): $3,57 \cdot 10^{-3}$
Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$): 0,242
Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с): $-2,3948 \cdot 10^7$
Квадрупольный момент, м²: $0,16 \cdot 10^{-28}$
Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц: 8,936

Основное электронное состояние: [Ar]3d⁸4s²

Терм: $^3\text{F}_4$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: 156

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
232,003 (AA)	
341,476	
349,296	
351,505	
352,454	
361,939	

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	736,7	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	10400
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1753,0	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	12800
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	3393	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	15600
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	5300	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	18600
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	7280	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	21660

Свойства зеленой области

В окружающей среде

Биологическая роль

Важен для некоторых форм жизни; канцероген; стимулятор; карбонил никеля высокотоксичен

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: $(1\text{-}2) \cdot 10^{-4}$

Костная ткань, %: $< 0,7 \cdot 10^{-4}$

Кровь, мг/л: 0,01 - 0,08

Ежедневный прием с пищей: 0,3 - 0,6 мг

Токсическая доза: 50 мг (для крыс)

Летальная доза: данные отсутствуют

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 1 мг

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$): $1,91 \cdot 10^{-6}$

Земная кора, %: $\sim 80 \cdot 10^{-4}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $1 \cdot 10^{-8}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: $4,0 \cdot 10^{-8}$

Тихий океан, в поверхностных слоях: $1 \cdot 10^{-8}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $5,7 \cdot 10^{-8}$

Время пребывания, лет: 80000

Геохимическая классификация: возобновляется

Степень окисления: II

Геологические сведения

Основные руды: гарниерит $[(\text{Ni}, \text{Mg})_6 \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2]$, пенландит $[(\text{Ni}, \text{Fe})_8 \text{S}_8]$

Мировое производство, т/год: 510000

Запасы, т: $70 \cdot 10^6$

**ХИМИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА**

Радиоактивный металл, не встречающийся в природе.

Радиус, пм: данные отсутствуют

Электроотрицательность: данные отсутствуют

Эффективный заряд ядра: данные отсутствуют

Стандартный потенциал восстановления $E^\circ, \text{ В}$

Данные отсутствуют

Состояния окисления

$\text{Ns}^V ?$

**Физические
свойства**

Температура плавления, К: данные отсутствуют

Температура кипения, К: данные отсутствуют

$\Delta H_{\text{пл}}, \text{ кДж/моль:}$ данные отсутствуют

$\Delta H_{\text{ исп}}, \text{ кДж/моль:}$ данные отсутствуют

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ, \text{ кДж/моль}$	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ, \text{ кДж/моль}$	$S^\circ, \text{ Дж/(К·моль)}$	$C_p, \text{ Дж/(К·моль)}$
Твердое	0	0	д.о.	д.о.
Газообразное	д.о.	д.о.	д.о.	д.о.

Плотность, кг/м³: данные отсутствуют

Теплопроводность, Вт/(м·К): данные отсутствуют

Электрическое сопротивление, Ом·м: данные отсутствуют

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: данные отсутствуют

Мольный объем, см³: данные отсутствуют

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: данные отсутствуют

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

Данные отсутствуют

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: данные отсутствуют

Нильсборий

(Unnilpentium)

Об изотопах 260 и 261 сообщалось в 1967 г. группой ученых из Дубны (СССР), но элемент не получил названия. Честь открытия оспаривалась в 1970 г. группой исследователей под руководством А. Гиорса (Беркли, США), наблюдавшими изотоп 260 и давшими ему название *hahnium* в честь Отто Гана. ИЮПАК предложено название *un-nil-pentium* (*от греч. и лат. обозначений 1-0-5*).

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: данные отсутствуют

Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 6

Диапазон изотопных масс: 257→262

Ядерные
свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная мас- са	Распростране- нность в при- роде, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распа- да, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{258}Ns	258,109020	0	4 с	α (9,02) СД; α д.о. (8,45)			д.о.
^{262}Ns	262,113760	0	34 с		д.о.		д.о.

Основное электронное состояние: $[\text{Rn}]5\text{f}^{14}6\text{d}^37\text{s}^2$?

Терм: $^3\text{F}_{3/2}$?

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: данные отсутствуют

Свойства
электронной
оболочки

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
Данные отсутствуют	

Энергии ионизации, кДж/моль

$1. M \rightarrow M^+$	Данные отсутствуют

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; в природе не встречается, но должен быть токсичен из-за радиоактивности

Содержание в человеческом организме: нулевое

Распространенность

Солнце (относительно Н = $1 \cdot 10^{12}$):

данные отсутствуют

Земная кора, %: нет

Морская вода, %: нет

Геологические сведения

Основные источники: был получен в количестве нескольких атомов из ^{249}Cf при бомбардировке его ядрами ^{18}N

Nb

Атомный номер: 41

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 92,90638

Химические свойства

Блестящий, серебристый металл; чистый ниобий мягок. Устойчив к коррозии благодаря образованию оксидной пленки, взаимодействует с горячими концентрированными кислотами, но устойчив к расплавленным щелочам. Применяется как легирующая добавка к нержавеющей стали.

Радиус, пм: Nb^{4+} 74, Nb^{5+} 69, атомный 142,9, ковалентный 134

Электроотрицательность: 1,6 (по Полингу), 1,23 (по Оллреду), 4,0 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 3,30 (по Слейтеру), 6,70 (по Клементи), 9,60 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	V	III	0
Кислый раствор	Nb_2O_5	$-0,1$ $-0,65$	Nb^{3+} $-1,1$

Состояния окисления

Nb^{III}	(d ⁸)	$[\text{Nb}(\text{CO})_5]^{3-}$
$\text{Nb}^{\text{-I}}$	(d ⁶)	$[\text{Nb}(\text{CO})_6]$
Nb^{I}	(d ⁴)	$[(\text{C}_5\text{H}_5)\text{Nb}(\text{CO})_4]$
Nb^{II}	(d ³)	NbO
Nb^{III}	(d ²)	LiNbO_2 , NbCl_3 , NbBr_3 , NbI_3 , $[\text{Nb}(\text{CN})_8]^{5-}$
Nb^{IV}	(d ¹)	NbO_2 , NbF_4 , NbCl_4 и т.д., NbOCl_2
Nb^{V}	(d ⁰ f ¹⁴)	Nb_2O_5 , $[\text{HNb}_6\text{O}_{19}]^{(aq)}$, NbF_5 , NbCl_5 и т.д., NbO_2F , NbOCl_3

Физические свойства

Температура плавления, К: 2741

Температура кипения, К: 5015

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж / моль: 27,2

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: 696,6

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	36,40	24,60
Газообразное	725,9	681,1	186,256	30,158

Плотность, кг / м³: 8570 [293 К]; 7830 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 53,7 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $12,5 \cdot 10^{-8}$ [273 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: $+2,76 \cdot 10^{-8}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 10,84

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $7,07 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры ячейки, пм); пространственная группа

ОЦК ($a = 329,86$;); Im3m

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 153; MoK_α 17,1

Открыт в 1801 г. Ч. Хатчеттом (Лондон, Англия)
[От греч. Niobe - Ниобея, дочь Тантала]

Ниобий (Niobium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 1,15
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 31
Диапазон изотопных масс: 86→103

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распространенность в природе, %	Период полу-распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Применение
^{93}Nb	92,906377	100	Стабилен		$9/2^+$	+6,1705	ЯМР
^{94}Nb	93,907280	0	$2,4 \cdot 10^4$ лет	β^- (2,04); γ	6^+		

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):

^{93}Nb

0,48

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

2740

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):

$6,5476 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²:

$-0,2 \cdot 10^{-28}$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

24,442

Стандарт: NbF_6^- (в конц. HF)

Основное электронное состояние: [Kr]4d⁴5s¹

Терм: $^6\text{D}_{1/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: 86,2

Свойства электронной оболочки

Основные линии

в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
334,371 (AA)	I
358,027	I
405,894	I
407,973	I
410,092	I
412,381	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	664	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	9899
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1382	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	12100
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2416	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	3695	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	4877	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: $0,14 \cdot 10^{-4}$

Костная ткань, %: $< 0,07 \cdot 10^{-4}$

Кровь, мг/л: 0,005 ?

Ежедневный прием с пищей: 0,02 - 0,6 мг

Токсическая доза: данные отсутствуют; умеренно токсичен

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): данные отсутствуют

Распространенность Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):

79

Земная кора, %: $20 \cdot 10^{-4}$

Морская вода, %: $9 \cdot 10^{-11}$

Время пребывания, лет: данные отсутствуют

Степень окисления: V

Геологические сведения

Основные минералы и источники: колумбит $[(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Nb}_2\text{O}_6]$; получается как побочный продукт при извлечении олова

Мировое производство, т/год: 15000

Запасы, т: данные отсутствуют

No

Атомный номер: 102
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): (259)

**ХИМИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА**

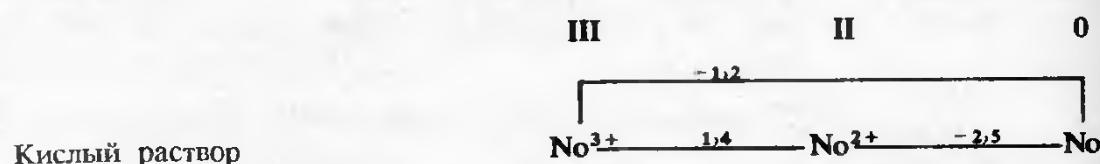
Радиоактивный металл, в природе не встречается.

Радиус, пм: No²⁺ 113, No³⁺ 95, No⁴⁺ 83

Электроотрицательность: 1,3 (по Полингу), д.о. (по Оллреду), д.о. (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 1,65 (по Слейтеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В



Состояния окисления



**Физические
свойства**

Температура плавления, К: данные отсутствуют

Температура кипения, К: данные отсутствуют

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: данные отсутствуют

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: данные отсутствуют

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	д.о.	д.о.
Газообразное	д.о.	д.о.	д.о.	д.о.

Плотность, кг/м³: данные отсутствуют

Теплопроводность, Вт/(м·К): 10 [300 К] (оценка)

Электрическое сопротивление, Ом·м: данные отсутствуют

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: данные отсутствуют

Мольный объем, см³: данные отсутствуют

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: данные отсутствуют

Тип кристаллической решетки (параметры ячейки, пм); пространственная группа

Данные отсутствуют

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: данные отсутствуют

Окончательно идентифицирован в 1958 г. А. Гиорсо, Т. Сиккелэндом, Дж. Уолтоном и Г.Т. Сиборгом (Беркли, Калифорния, США)

[Назван в честь Альфреда Нобеля]

Нобелий
(Nobelium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: данные отсутствуют

Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 11

Диапазон изотопных масс: 250→259

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распространенность в природе, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распа- да, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Приме- нение
^{259}No	259,100931	0	58 мин	α (7,794) Э3 22%	78%; $9/2^+$		

Основное электронное состояние: $[\text{Rn}]5f^{14}7s^2$

Терм: 1S_0

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж / моль: данные отсутствуют

**Свойства
затеклонной
оболочки**

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
данные отсутствуют	

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	642
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; в природе не встречается, но должен быть токсичен из-за радиоактивности
Содержание в человеческом организме: нулевое

Распространенность

Солнце (относительно Н = $1 \cdot 10^{-12}$):
данные отсутствуют
Земная кора, %: нет
Морская вода, %: нет

Геологические сведения

Получен в количестве всего нескольких атомов при бомбардировке ^{246}Cm ядрами углерода.

Sn

Атомный номер: 50
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 118,710

Химические свойства

Мягкий, пластичный, серебристо-белый металл. Не реагирует с кислородом (защищен оксидной пленкой) и водой, но растворим в кислотах и щелочах. Используется в смазках, сплавах, припое, как добавки к полимерам и в защитных (противообрастающих) красочных покрытиях.

Радиус, пм: Sn^{2+} 93, Sn^{4+} 74, атомный 140,5, ковалентный 140, Sn^{4-} 294

Электроотрицательность: 1,96 (по Полингу), 1,72 (по Оллреду), 4,30 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 5,65 (по Слейтеру), 9,10 (по Клементи), 11,11 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	IV	II	0	-IV
Кислый раствор	SnO_2 -0,088	SnO -0,104	Sn -1,071	SnH_4
	Sn^{4+} 0,15	Sn^{2+} -0,137		

[Щелочной раствор содержит множество различных форм]

Ковалентная связь	r , пм	E , кДж/моль	Состояния окисления	
$\text{Sn}-\text{H}$	170,1	< 314	Sn^{II}	SnO , SnF_2 , SnCl_2 и т.д., $[\text{Sn}(\text{OH})]^+$ (aq), $[\text{Sn}_3(\text{OH})_4]^{2+}$ (aq), со-ли Sn^{2+}
$\text{Sn}-\text{C}$	217	225	Sn^{IV}	SnO_2 , SnF_4 , SnCl_4 и т.д., $[\text{SnCl}_6]^{2-}$ (aq, HCl), $[\text{Sn}(\text{OH})_6]^{2-}$ (aq, щелочь), оловоорганические соединения
$\text{Sn}^{\text{II}}-\text{O}$	195	557		
$\text{Sn}^{\text{IV}}-\text{F}$	188	322		
$\text{Sn}^{\text{IV}}-\text{Cl}$	231	315		
$\text{Sn}-\text{Sn} (\alpha)$	281	195		

Физические свойства

Температура плавления, К: 505,118

Температура кипения, К: 2543

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: 7,20

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 290,4

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое (α)	-2,09	0,13	44,14	25,77
Твердое (β)	0	0	51,55	26,99
Газообразное	302,1	267,3	168,486	21,259

Плотность, кг/м³: 5750 (α); 7310 (β) [293 К]; 6973 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 66,6 (α) [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $11,0 \cdot 10^{-8}$ (α) [273 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $-4,0 \cdot 10^{-9}$ (α); $+3,3 \cdot 10^{-10}$ (β)

Мольный объем, см³: 16,24 (β)

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $5,3 \cdot 10^{-6}$ (α); $21,2 \cdot 10^{-6}$ (β)

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

α -Sn (серая форма) кубическая ($a = 648,92$); Fd3m

β -Sn (белая форма) тетрагональная ($a = 583,16$; $c = 318,13$); I4₂/amd

T ($\alpha \rightarrow \beta$) = 286,4 К [β -форма образуется при комнатной температуре]

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 256; MoK_α 31,1

Известно древним цивилизациям
[Англо-сакс. *tin*; лат. *stannum*]

ОЛОВО
(Tin)

Сечение заквата тепловых нейтронов, барн: 0,63
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 37
Диапазон изотопных масс: 106→132

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распространенность в природе, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип распада	Энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Применение
^{112}Sn	111,904826	0,97	Стабилен			0+		
^{113}Sn	112,905176	0	115 дней	β^+ (1,02); γ	0,33 (1,02)	1/2+		Метка
^{114}Sn	113,902784	0,65	Стабилен			0+		
^{115}Sn	114,903348	0,36	Стабилен			1/2+	-0,918	ЯМР
^{116}Sn	115,901747	14,53	Стабилен			0+		
^{117}Sn	116,902956	7,68	Стабилен			1/2+	-1,000	ЯМР
^{118}Sn	117,901609	24,22	Стабилен			0+		
^{119}Sn	118,903310	8,58	Стабилен			1/2+	-1,046	ЯМР
^{120}Sn	119,902220	32,59	Стабилен			0+		
^{121}Sn	120,904238	0	27,0 ч	β^- (0,388); нет γ	0,388	3/2+	0,70	Метка
^{122}Sn	121,903440	4,63	Стабилен			0+		
^{124}Sn	123,905274	5,79	Стабилен			0+		

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

Стандарт: $\text{Sn}(\text{CH}_3)_4$

Основное электронное состояние: [Kr]4d¹⁰5s²5p²

Терм: $^3\text{P}_0$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: 116

Основные линии

в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
224,605 (AA)	
235,484	
242,949	
283,999	
286,333	
303,412	

[^{115}Sn] [^{117}Sn] [^{119}Sn]

$3,5 \cdot 10^{-2}$ $4,52 \cdot 10^{-2}$ $5,18 \cdot 10^{-2}$

0,693 19,54 25,2

$-8,7485 \cdot 10^7$ $-9,5319 \cdot 10^7$ $-9,9756 \cdot 10^7$

32,699 35,625 37,272

**Свойства
электронной
оболочки**

Энергии ионизации,

кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	708,6	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	(9900)
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1411,8	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	(12200)
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2943,0	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(14600)
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	3930,2	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(17000)
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	6974	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(20600)

В окружающей среде

Биологическая роль

Может быть важен для некоторых форм жизни, включая человека

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: $(0,33\text{--}2,4) \cdot 10^{-4}$

Костная ткань, %: $1,4 \cdot 10^{-4}$

Кровь, мг/л: ~0,38

Ежедневный прием с пищей: 0,2 - 3,5 мг

Токсическая доза: 2 г

Летальная доза: данные отсутствуют; некоторые оловоорганические соединения очень токсичны

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 14 мг

Распространенность

Солнце (относительно $H = 1 \cdot 10^{12}$): 100

Земная кора, %: $2,2 \cdot 10^{-4}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $2,3 \cdot 10^{-10}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: $5,8 \cdot 10^{-10}$

Время пребывания, лет: данные отсутствуют

Геохимическая классификация: выводится

Степень окисления: IV

Геологические

сведения

Основная руда: кассiterит [SnO_2]

Мировое производство, т/год: 166000

Запасы, т: $4,5 \cdot 10^6$

Os

Атомный номер: 76

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 190,2

Химические свойства

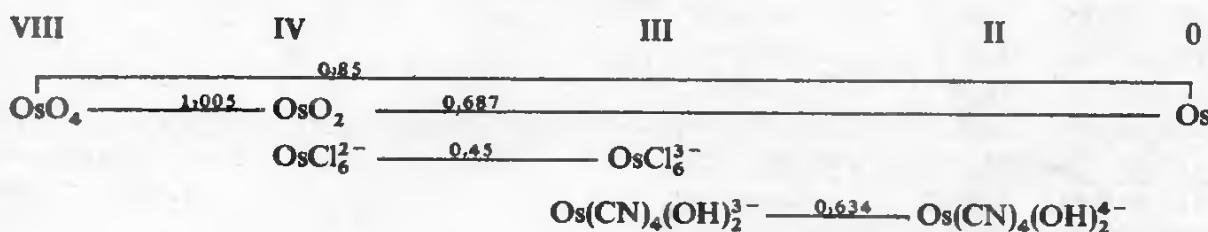
Блестящий, серебристый металл семейства платиновых. Не реагирует с воздухом, водой и кислотами, но растворяется в расплавленных щелочах. Обладает запахом, поскольку образуется летучий OsO_4 . Применяется в сплавах и катализаторах.

Радиус, пм: Os^{2+} 89, Os^{3+} 81, Os^{4+} 67, атомный 135, ковалентный 126

Электроотрицательность: 2,2 (по Полингу), 1,52 (по Оллреду), 4,9 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 3,75 (по Слейтеру), 10,32 (по Клементи), 14,90 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В



Состояния окисления

Os^{II}	(d ¹⁰)	$[\text{Os}(\text{CO})_4]^{2-}$
Os^0	(d ⁸)	$\text{Os}(\text{CO})_5$, $\text{Os}_2(\text{CO})_9$
Os^{I}	(d ⁷)	OsI
Os^{II}	(d ⁶)	OsCl_2 , OsI_2
Os^{III}	(d ⁵)	OsCl_3 , OsBr_3 , OsI_3 , комплексы
Os^{IV}	(d ⁴)	OsO_2 , $\text{OsO}_2\text{(aq)}$, OsF_4 , OsCl_4 , OsBr_4 , $[\text{OsCl}_6]^{2-}$, комплексы
Os^{V}	(d ³)	OsF_5 , OsCl_5
Os^{VI}	(d ²)	OsO_3 ?, OsF_6
Os^{VII}	(d ¹)	OsF_7
Os^{VIII}	(d ^{0, f¹⁴)}	OsO_4 , $[\text{OsO}_4(\text{OH})_2]^{2-}$ (aq)

Физические свойства

Температура плавления, К: 3327

Температура кипения, К: 5300

$\Delta H_{\text{пп}}$, кДж/моль: 29,3

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 627,6

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	32,6	24,7
Газообразное	791	745	192,573	20,786

Плотность, kg/m^3 : 22590 [293 K]; 20100 [жидкость при т.пп.]

Теплопроводность, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$: 87,6 [300 K]

Электрическое сопротивление, $\text{Ом} \cdot \text{м}$: $8,12 \cdot 10^{-8}$ [273 K]

Удельная магнитная восприимчивость, $\text{m}^3/\text{кг}$: $+6,5 \cdot 10^{-10}$ (тв.)

Мольный объем, см^3 : 8,43

Температурный коэффициент линейного расширения, K^{-1} : $4,3 \cdot 10^{-6}$ (ось a); $6,1 \cdot 10^{-6}$ (ось b); $6,8 \cdot 10^{-6}$ (ось c)

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

гексагональная плотноупакованная ($a = 273,43$; $c = 432,00$); $P6_3/mmc$

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), $\text{см}^2/\text{г}$: CuK_α 186; MoK_α 106

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 15
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 37
Диапазон изотопных масс: 166→196

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная мас- са	Распростране- нность в при- роде, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распа- да, МэВ	Ядерный спин /	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{184}Os	183,952488	0,02	Стабилен		0+		
^{185}Os	184,954041	0	9,36 дня	Э3 (1,015); γ	1/2-		Метка
^{186}Os	185,953830	1,58	2.1015 лет	α	0+		
^{187}Os	186,955741	1,6	Стабилен		1/2-	+0,0646	ЯМР
^{188}Os	187,955860	13,3	Стабилен		0+		
^{189}Os	188,958137	16,1	Стабилен		3/2+	+0,6599	ЯМР
^{190}Os	189,958436	26,4	Стабилен		0+		
^{191}Os	190,960920	0	15,4 дня	β^- (0,313); γ	9/2-		Метка
^{192}Os	191,961476	41,0	Стабилен		0+		

ЯМР (изучен только OsO_4)

^{187}Os

^{189}Os

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):

$1,22 \cdot 10^{-5}$

$2,34 \cdot 10^{-3}$

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

$1,14 \cdot 10^{-3}$

2,13

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):

$0,6105 \cdot 10^7$

$2,0773 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²:

-

$0,8 \cdot 10^{-28}$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

2,282

7,758

Стандарт: OsO_4

Основное электронное состояние: $[\text{Xe}]4f^{14}5d^66s^2$

Терм: $^5\text{D}_4$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: 106

**Свойства
электронной
оболочки**

Основные линии

в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
201,015	I
201,814	I
202,026	I
203,444	I
204,536	I
290,906 (AA)	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	840	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	(6600)
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	(1600)	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	(8100)
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	(2400)	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(9500)
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	(3900)	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	(5200)	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; высокотоксичен, особенно OsO_4

Содержание в человеческом организме: данные отсутствуют, но не велико

Распространенность

Солнце (относительно $H = 1 \cdot 10^{12}$):

б

Земная кора, %: $\sim 1 \cdot 10^{-8}$

Морская вода, %: данные отсутствуют, но пренебрежимо мала

Геологические сведения

Основные минералы и источники: встречается в свободном состоянии и редко в виде осмирида $[\text{Os}, \text{Ir}]$, но получают осмий как побочный продукт очистки никеля

Мировое производство, т/год: 0,06

Запасы, т: 200

Pd

Атомный номер: 46
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12.0000$): 106,42

Химические свойства

Серебристо-белый металл, блестящий, ковкий и пластичный. Устойчив к коррозии, растворим в кислотах-окислителях и расплавах щелочей. Хорошо поглощает газообразный водород. Используется главным образом как катализатор.

Радиус, пм: Pd^{2+} 86, Pd^{4+} 64, атомный 137,6, ковалентный 128

Электроотрицательность: 2,20 (по Полингу), 1,35 (по Оллреду), 4,45 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 4,05 (по Слейтеру), 7,84 (по Клементи), 11,11 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	VI	IV	II	0
Кислый раствор		PdO_2 1,263	Pd^{2+} 0,915	Pd
Щелочной раствор « PdO_3 »	2,03	PdO_2 1,283	Pd(OH)_2 -0,19	Pd

Состояния окисления

Pd^0	(d ¹⁰)	$[\text{Pd}(\text{PPh}_3)_3]^-, [\text{Pd}(\text{PF}_3)_4]$
Pd^{II}	(d ⁸)	$\text{PdO}, [\text{Pd}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}(\text{aq}), \text{PdF}_2, \text{PdCl}_2$ и т.д., PdCl_4^{2-} , соли, комплексы
Pd^{IV}	(d ⁶)	$\text{PdO}_2, \text{PdF}_4, \text{PdCl}_6^{2-}$

Физические свойства

Температура плавления, К: 1825

Температура кипения, К: 3413

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж / моль: 17,2

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: 393,3

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p' , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	37,57	25,98
Газообразное	378,2	339,7	167,05	20,786

Плотность, кг / м³: 12020 [293 К]; 10379 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 71,8 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $10,8 \cdot 10^{-8}$ [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: $+6,702 \cdot 10^{-8}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 8,85

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $11,2 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

ГЦК ($a = 389,08$); Fm3m

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 206; MoK_α 24,1

Открыт в 1803 г. У. Волластоном (Лондон, Англия)
[Назван в честь астероида Паллас]

Палладий (Palladium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 6,9
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 25
Диапазон изотопных масс: 96→116

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная мас-са	Распростра-ненность в природе, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит-ный мо-мент μ	Приме-нение
^{102}Pd	101,905634	1,02	Стабилен		0+		
^{103}Pd	102,906114	0	16,97 дня	β^- (0,52); γ	5/2+		Метка
^{104}Pd	103,904029	11,14	Стабилен		0+		
^{105}Pd	104,905079	22,33	Стабилен		5/2+	-0,642	ЯМР
^{106}Pd	105,903478	27,33	Стабилен		0+		
^{108}Pd	107,903895	26,46	Стабилен		0+		
^{108}Pd	108,905954	0	13,47 ч	β^- (1,116); γ	5/2+		Метка
^{110}Pd	109,905167	11,72	Стабилен		0+		

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):

^{105}Pd (зарегистрировано только для K_2PdCl_6)

$1,12 \cdot 10^{-3}$

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

1,41

Гиromагнитное отношение, рад/(Тл·с):

$-0,756 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²:

$+0,8 \cdot 10^{-28}$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

4,576

Основное электронное состояние: [Kr]4d¹⁰

Терм: $^1\text{S}_0$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: 53,7

Основные линии

в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
247,642 (AA)	
340,458	
342,124	
351,694	
355,308	
340,955	
363,470	

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	805	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	(8700)
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1875	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	(10700)
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	3177	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(12700)
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	(4700)	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(15000)
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	(6300)	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(17200)

Свойства электронной оболочки

Биологическая роль

Отсутствует; в общем нетоксичен
Содержание в человеческом организме: данные отсутствуют, но невелико

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):

32

Земная кора, %: $\sim 6 \cdot 10^{-8}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: данные отсутствуют

Атлантический океан, в глубинных слоях: данные отсутствуют

Тихий океан, в поверхностных слоях: $1,9 \cdot 10^{-12}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $6,8 \cdot 10^{-12}$

Время пребывания, лет: 50000

Геохимическая классификация:
возобновляется

Степень окисления: II

Геологические сведения

Основные минералы и источники: встречается как один из металлов платиновой группы; извлекается как побочный продукт при очистке Cu и Zn

Мировое производство, т/год: 24

Запасы, т: 24000

В окружающей среде

Pt

Атомный номер: 78
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 195,08

Химические свойства

Серебристо-белый металл, блестящий, ковкий и пластичный. Устойчив к действию кислорода и воды, растворим только в царской водке и расплавах щелочей. Хорошо поглощает газообразный водород. Используется в ювелирном деле, фармацевтике, как катализатор.

Радиус, пм: Pt²⁺ 85, Pt⁴⁺ 70, атомный 138, ковалентный 129

Электроотрицательность: 2,28 (по Полингу), 1,44 (по Оллреду), 5,6 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 4,05 (по Слейтеру), 10,75 (по Клементи), 15,65 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

VI	IV	II	0
PtO ₃	2,0	PtO ₂	Pt
		PtO ₂	Pt
		Pt ²⁺	Pt
		PtCl ₆ ²⁻	Pt
		PtCl ₄ ²⁻	

Состояния окисления

Pt ⁰	(d ¹⁰)	[Pt(PPh ₃) ₃] ⁺ , [Pt(PF ₃) ₄] ⁻
Pt ^{II}	(d ⁸)	PtO, PtCl ₂ , PtBr ₂ , PtI ₂ , PtCl ₄ ²⁻ , [Pt(CN) ₄] ²⁻ , комплексы
Pt ^{IV}	(d ⁶)	PtO ₂ , [Pt(OH) ₆] ²⁻ (aq), PtF ₄ , PtCl ₄ и т.д., PtCl ₆ ²⁻ , комплексы
Pt ^V	(d ⁵)	(PtF ₅) ₄ , PtF ₆ ⁻
Pt ^{VI}	(d ⁴)	PtO ₃ , PtF ₆

Физические свойства

Температура плавления, К: 2045

Температура кипения, К: 4100 ± 100

$\Delta H_{\text{пп.}}$, кДж / моль: 19,7

$\Delta H_{\text{исп.}}$, кДж / моль: 510,5

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	41,63	25,86
Газообразное	565,3	520,5	192,406	25,531

Плотность, кг / м³: 21450 [293 К]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 71,6 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: 10,6 · 10⁸ [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: +1,301 · 10⁻⁸ (тв.)

Мольный объем, см³: 9,10

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: 9,0 · 10⁻⁶

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

ГЦК ($a = 392,40$); Fm3m

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 200; MoK_α 113

Известна в Южной Америке в доколумбовы времена; привезена в Европу около 1750 г.

[От исп. *platina* - серебро]

Платина
(Platinum)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 10

Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 36

Диапазон изотопных масс: 172→201

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{190}Pt	189,959917	0,01	$6,9 \cdot 10^{11}$ лет	α (3,18)	0+		
^{192}Pt	191,961019	0,79	$\sim 10^{15}$ лет	α	0+		
^{194}Pt	193,962665	32,9	Стабилен		0+		
^{195m}Pt		0	4,02 дня	ИП (0,2592); γ	$13/2^+$	0,597	Метка
^{195}Pt	194,964766	33,8	Стабилен		$1/2^-$	+0,6095	ЯМР
^{196}Pt	195,9650	25,3	Стабилен		0+		
^{197}Pt	196,967315	0	18,3 ч	β^- (0,719); γ	$1/2^-$	-0,51	Метка
^{198}Pt	197,967869	7,2	Стабилен		0+		

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):

^{195}Pt

$9,94 \cdot 10^{-3}$

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

19,1

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):

$5,7412 \cdot 10^7$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

21,499

Стандарт: $[\text{Pt}(\text{CN})_6]^{2-}$

Основное электронное состояние: $[\text{Xe}]4f^{14}5d^96s^1$

Терм: $^3\text{D}_3$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: 205,3

Основные линии

в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
204,937	I
208,459	I
214,432	I
265,945 (AA)	I
270,240	I
299,767	I
306,471	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	870	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	(7200)
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1791	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	(8900)
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	(2800)	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(10500)
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	(3900)	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(12300)
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	(5300)	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(14100)

**Свойства
электронной
оболочки**

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; в общем нетоксичен

Содержание в человеческом организме: данные отсутствуют, но невелико

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):

56,2

Земная кора, %: $\sim 10^{-7}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: данные отсутствуют

Атлантический океан, в глубинных слоях: данные отсутствуют

Тихий океан, в поверхностных слоях: $1,1 \cdot 10^{-11}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $2,7 \cdot 10^{-11}$

Время пребывания, лет: данные отсутствуют

Степень окисления: II

Геологические сведения

Основные минералы и источники: руды платины; извлекается как побочный продукт при очистке Cu и Ni

Мировое производство, т/год: 30

Запасы, т: 27000

Pu

**Атомный номер: 94
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): (244)**

Химические свойства

Радиоактивный серебристый металл. Взаимодействует с кислородом, водяным паром и кислотами, но не щелочами. Используется как компактный источник энергии, ядерное топливо и в производстве ядерных вооружений.

Радиус, пм: Pu^{3+} 108, Pu^{4+} 93, Pu^{5+} 87, Pu^{6+} 81, атомный 151 (α-форма)

Электроотрицательность: 1,28 (по Полингу), 1,22 (по Оллреду)

Эффективный заряд ядра: 1,65 (по Слейтеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	VII	VI	V	IV	III	0
			1,03		-1,25	
Кислый раствор		$\text{PuO}_2^{2+} \frac{1,02}{}$	$\text{PuO}_2^{\pm} \frac{1,04}{}$	$\text{Pu}^{4+} \frac{1,01}{}$	$\text{Pu}^{3+} \frac{1,584}{}$	Pu

Щелочной раствор	$\text{PuO}_3^{3-} \frac{0,95}{}$	$\text{Pu}_2(\text{OH})_3 \frac{0,3}{}$	$\text{PuO}_2(\text{OH}) \frac{0,9}{}$	$\text{PuO}_2 \frac{-1,4}{}$	$\text{Pu}(\text{OH})_3 \frac{2,46}{}$	Pu
------------------	-----------------------------------	---	--	------------------------------	--	-------------

Состояния окисления

Pu^{II}	(f ⁶)	PuO , PuH_2
Pu^{III}	(f ⁵)	Pu_2O_3 , PuF_3 , PuCl_3 и т.д., $[\text{Pu}(\text{H}_2\text{O})_x]^{3+}$ (aq), соли Pu^{3+} , комплексы
Pu^{IV}	(f ⁴)	PuO_2 , PuF_4 , $[\text{PuCl}_6]^{2-}$, $[\text{Pu}(\text{H}_2\text{O})_x]^{4+}$ (aq) (неустойчив), комплексы
Pu^{V}	(f ³)	PuO_2^{+} (aq) (неустойчив), CsPuF_6
Pu^{VI}	(f ²)	PuO_2^{2+} (aq), PuF_6
Pu^{VII}	(f ¹)	Li_5PuO_6 , $[\text{PuO}_5]^{3-}$ (aq)

Физические свойства

Температура плавления, К: 914

Температура кипения, К: 3505

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж / моль: 2,8

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: 343,5

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	д.о.	д.о.
Газообразное	д.о.	д.о.	д.о.	д.о.

Плотность, кг / м³: 19840 (α) [298 К]; 16623 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 6,74 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $146 \cdot 10^{-8}$ [273 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: $+3,17 \cdot 10^{-8}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 12,3

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $55 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

α-Ру моноклинная ($a = 618,3$; $b = 482,2$; $c = 1096,3$; $\beta = 101,79^\circ$), $P2_1/m$

β-Ру моноклинная ($a = 928,4$; $b = 1046,3$; $c = 785,9$; $\beta = 92,13^\circ$), $I2/m$

γ-Ру орторомбическая ($a = 315,87$; $b = 576,82$; $c = 1016,2$), $Fddd$

δ-Ру ГЦК ($a = 463,71$); $Fm\bar{3}m$

δ'-Ру тетрагональная ($a = 333,9$; $c = 444,6$); $I4/mmm$

ε-Ру ОЦК ($a = 363,48$); $I\bar{m}3m$

$T(\alpha \rightarrow \beta) = 395$ К; $T(\beta \rightarrow \gamma) = 473$ К; $T(\gamma \rightarrow \delta) = 583$ К; $T(\delta \rightarrow \delta') = 725$ К; $T(\delta' \rightarrow \epsilon) = 753$ К

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: данные отсутствуют

Открыт в 1940 г. Г.Т. Сиборгом, А.Валем и Дж.У.Кеннеди
 (Беркли, Калифорния, США)
 [Назван в честь планеты Плутон]

Плутоний

(Plutonium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 1,7 (^{244}Pu)
 Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 15
 Диапазон изотопных масс: 232→246

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распространенность в природе, %	Период полу- в распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распа- да, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{239}Pu	239,052157	0	24,110 лет	α (5,244); γ	$1/2^+$	+0,203	ЯМР
^{242}Pu	242,058737	0	$3,76 \cdot 10^5$ лет	α (4,983); γ	0^+		
^{244}Pu	244,064199	0	$8,2 \cdot 10^7$ лет	α (4,665) 99%; СД 0,1%; γ	0^+		

^{239}Pu

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

Гиromагнитное отношение, рад/(Тл·с):

Квадрупольный момент, м²:

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

Свойства электронной оболочки

Основное электронное состояние: $[\text{Rn}]5f^67s^2$

Терм: $^7\text{F}_0$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж / моль: данные отсутствуют

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
321,508	I
324,416	I
325,208	I
327,524	I
329,256	I
329,361	I
329,691	I

Энергии ионизации, кДж/моль

- $M \rightarrow M^+$ 585
- $M^+ \rightarrow M^{2+}$
- $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$
- $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$
- $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; в природе не встречается, но должен быть токсичен из-за радиоактивности

Содержание в человеческом организме: данные отсутствуют, но, вероятно, нулевое

Распространенность

Солнце (относительно $H = 1 \cdot 10^{12}$):
данные отсутствуют

Земная кора, %: следы в урановых рудах

Морская вода, %: нет

Геологические сведения

Основные источники: получается в количестве нескольких тонн из уранового ядерного топлива

Po

Атомный номер: 84

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): (209)

Химические свойства

Радиоактивный серебристо-серый металл. Растворяется в разбавленных кислотах. Используется как источник тепла в космическом оборудовании и источник α -частиц для научных исследований.

Радиус, пм: Po⁴⁺ 65, атомный 167, ковалентный 153, Po²⁻ 230

Электроотрицательность: 2,0 (по Полингу), 1,76 (по Оллреду), 5,16 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 6,95 (по Слейтеру), 14,22 (по Клементи), 18,31 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	VI	IV	II	0	-II
		1.3			
Кислый раствор	PoO ₃ 1,51	PoO ₂ 1,1 0,73	Po ²⁺ 0,37	Po ~ -1,0	H ₂ Po
Щелочн. раствор	PoO ₃ 1,48	PoO ₃ ²⁻ -0,5	Po ~ -1,4	Po ²⁻	

Ковалентная связь	r, пм	E, кДж/моль	Состояния окисления
Po-Cl	238	д.о.	Po ^{-II} H ₂ Po, Na ₂ Po
Po-Po	335	д.о.	Po ^{II} PoO, PoCl ₂ , PoBr ₂ Po ^{IV} PoO ₂ , PoO ₃ ²⁻ (aq), PoCl ₄ , PoBr ₄ , PoI ₄ , Po ₂ ²⁻ Po ^{VI} PoO ₃ ?, PoF ₆

Физические свойства

Температура плавления, К: 527

Температура кипения, К: 1235

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: 10

$\Delta H_{\text{ исп.}}$, кДж/моль: 100,8

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	д.о.	26,1
Газообразное	д.о.	д.о.	д.о.	д.о.

Плотность, кг/м³: 9320 (α) [293 К]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 20 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $140 \cdot 10^8$ [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: данные отсутствуют

Мольный объем, см³: 22,4

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $23,0 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

α -Po кубическая ($a = 335,2$); Pm3m

β -Po ромбоздрическая ($a = 336,6$; $\alpha = 98^\circ 13'$), R̄3m

$T(\alpha \rightarrow \beta) = 309$ К

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: данные отсутствуют

Открыт в 1898 г. Мари Кюри (Париж, Франция)
[Назван в честь Польши]

Полоний (Polonium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: < 0,5 (^{210}Po)
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 33
Диапазон изотопных масс: 194→218

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростране- нность в при- роде, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Приме- жение
^{209}Po	208,982404	0	105 лет	α (4,976); γ	$1/2^-$	+0,77	
^{210}Po	209,982848	Следы	138,4 дня	α (5,407); γ	0^+		Метка, топливо
^{211}Po	210,986627	Следы	0,52 с	α (7,594); γ	$9/2^+$		
^{216}Po	216,001889	Следы	0,15 с	α (6,906); нет γ	0^+		
^{218}Po	218,0089	Следы	3,11 мин	α (6,114); нет γ	0^+		

Основное электронное состояние: $[\text{Xe}]4f^{14}5d^{10}6s^26p^4$

Терм: 3P_2

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж / моль: 183

Свойства электронной оболочки

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
245,008	I
255,801	I
300,321	I
417,052	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	812	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	(7000)
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	(1800)	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	(10800)
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	(2700)	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(12700)
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	(3700)	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(14900)
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	(5900)	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(17000)

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; в природе не встречается, но должен быть токсичен из-за радиоактивности
Содержание в человеческом организме: нулевое

Распространенность

Солнце (относительно Н = $1 \cdot 10^{-12}$):
данные отсутствуют
Земная кора, %: следы в урановых рудах
Морская вода, %: нет

Геологические сведения

Основные источники: получается в количестве нескольких граммов при нейтронной бомбардировке висмута

Pr

Атомный номер: 59

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 140,90765

Химические свойства

Мягкий, ковкий, серебристый металл семейства редкоземельных элементов. Медленно реагирует с кислородом, быстро - с водой. Применяется в сплавах для получения постоянных магнитов, оптических стеклах, в желтых стеклах защитной маски электросварщика.

Радиус, пм: Pr^{3+} 106, Pr^{4+} 92, атомный 182,8, ковалентный 165

Электроотрицательность: 1,13 (по Полингу), 1,07 (по Оллреду), < 3,0 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 2,85 (по Слейтеру), 7,75 (по Клементи), 10,70 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	IV		III		0
Кислый раствор	Pr^{4+}	3,2	Pr^{3+}	-2,35	Pr^{3+}
Щелочной раствор	PrO_2	0,8	Pr(OH)_3	-2,79	Pr^{3+}

Состояния окисления

Pr^{III}	(f ²)	Pr_2O_3 ; Pr(OH)_3 ; $[\text{Pr}(\text{H}_2\text{O})_x]^{3+}$ (aq), со- ли Pr^{3+} , PrF_3 , PrCl_3 и т.д., комплексы
Pr^{IV}	(f ¹)	PrO_2 , PrF_4 , Na_2PrF_6

Физические свойства

Температура плавления, К: 1204

Температура кипения, К: 3785

$\Delta H_{\text{пп}}$, кДж / моль: 11,3

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: 332,6

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p° , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	73,2	27,20
Газообразное	355,6	320,9	189,808	21,359

Плотность, кг / м³: 6773 [293 К]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 12,5 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $68 \cdot 10^{-8}$ [298 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: $+4,47 \cdot 10^{-7}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 20,80

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $6,79 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

α -Pr гексагональная плотноупакованная ($a = 367,25$; $c = 1183,5$); $P6_3/mmc$

β -Pr ОЦК ($a = 413$); $I\bar{m}3m$

$T(\alpha \rightarrow \beta) = 1065$ К

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 363; MoK_α 50,7

Выделен в 1885 г. Ауэром фон Вельсбахом
(Вена, Австрия).
[От греч. *prasios didymos* - зеленый близнец]

Празеодим

(Praseodymium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 11,4
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 26
Диапазон изотопных масс: 132→152

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распрост- раненность в природе, $T_{1/2}$ %	Период полураспада	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{141}Pr	140,907647	100	Стабилен		$5/2^+$	+4,3	ЯМР
^{142}Pr	141,910039	0	19,13 ч	β^- (2,160); γ	2	-0,26	Метка
^{143}Pr	142,910814	0	13,58 дня	β^- (0,934); слабо γ	$7/2^+$		Метка

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):

^{141}Pr

0,29

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

$1,62 \cdot 10^3$

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):

$7,765 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²:

$-5,9 \cdot 10^{-30}$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

29,291

Основное электронное состояние: [Xe]4f³6s²

Терм: $^4\text{I}_{9/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: ≤ 50

Свойства электронной оболочки

Основные линии в атомном спектре

Длина волн, нм	Форма
406,282	II
410,072	II
417,939	II
422,293	II
422,535	II
495,137 (AA)	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	523,1
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1018
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2086
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	3761
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	5543

В окружающей среде

Биологическая роль
Отсутствует; малотоксичен, стимулятор
Содержание в человеческом организме: данные отсутствуют, но невелико

Распространенность
Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):
4,6
Земная кора, %: $9,5 \cdot 10^{-4}$
Морская вода, %:
Атлантический океан, в поверхностных слоях: $4 \cdot 10^{-11}$
Атлантический океан, в глубинных слоях: $7 \cdot 10^{-11}$
Тихий океан, в поверхностных слоях: $4,4 \cdot 10^{-11}$
Тихий океан, в глубинных слоях: $10 \cdot 10^{-11}$
Время пребывания, лет: данные отсутствуют
Степень окисления: III

Геологические сведения

Основные минералы и источники: монацит [$(\text{Ce}, \text{La}, \dots) \text{PO}_4$]; бастнезит [$(\text{Ce}, \text{La}, \dots) (\text{CO}_3)_2 \text{F}$]
Мировое производство, т/год: 1000
Запасы, т: $4 \cdot 10^6$

Pm

Атомный номер: 61
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,000$): (145)

Химические свойства

Радиоактивный металл семейства редкоземельных элементов. Применяется в специальных миниатюрных батареях.

Радиус, пм: Pm^{3+} 106, атомный 181,0

Электроотрицательность: д.о. (по Полингу), 1,07 (по Оллреду), $\leq 3,0$ эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 2,85 (по Слейтеру), 9,40 (по Клементи), 10,94 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	III	0
Кислый раствор	Pm^{3+}	-2,29
Щелочного раствора	Pm(OH)_3	-2,76
		Pm

Состояния окисления

Pm^{III}	(f ⁴)	Pm_2O_3 , Pm(OH)_3 , $[\text{Pm}(\text{H}_2\text{O})_x]^{3+}$ (aq), PmF_3 , некоторые комплексы
--------------------------	-------------------	--

Физические свойства

Температура плавления, К: 1441

Температура кипения, К: ~3000

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж / моль: 12,6

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: данные отсутствуют

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	д.о.	26,8
Газообразное	д.о.	д.о.	187,101	24,255

Плотность, кг / м³: 7220 [298 К]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 17,9 (оценка) [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $50 \cdot 10^{-8}$ (оценка) [273 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: данные отсутствуют

Мольный объем, см³: 20,1

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: данные отсутствуют

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

Гексагональная

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 386; MoK_α 55,9

Получен в 1945 г. Дж.Мариинским, Л.Гленденином и Ч.Кориэллом (Ок-Ридж, Теннесси, США)
[От греч. Прометей - герой, укравший огонь у богов]

Прометий (Promethium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 8000 (^{146}Pm)

Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 27

Диапазон изотопных масс: 134→155

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распред- ланность в природе, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин /	Ядерный магнитный момент μ	Приме- нение
^{145}Pm	144,912743	0	17,7 года	Э3 (0,161); γ	5/2+		
^{146}Pm	145,914708	0	5,53 года	Э3 (1,48) 63%; β^- (1,542); 37% γ	3-		
^{147}Pm	146,915135	0	2,6234 года	β^- (0,224); слабо γ	7/2+	+2,7	Метка
^{148}Pm	148,918332	0	53,1 ч	β^- (1,073); γ	7/2+	+3,3	Метка
^{151}Pm	150,921203	0	28,4 ч	β^- (1,187); γ	5/2+	+1,8	

ЯМР

^{147}Pm

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):

$3,613 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²:

$0,67 \cdot 10^{-28}$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

13,51

Основное электронное состояние: [Xe]4f⁵6s²

Терм: $^6\text{H}_{5/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж / моль: ≤50

Свойства электронной оболочки

Основные линии

в атомном спектре^a

Длина волны, нм	Форма
389,215	II
391,026	II
391,910	II
395,774	II
399,896	II
441,796	II

^aВсе одинаковой интенсивности

Энергии ионизации, кДж/моль

- $M \rightarrow M^+$ 535,9
- $M^+ \rightarrow M^{2+}$ 1052
- $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$ 2150
- $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$ 3970
- $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$

Биологическая роль

Отсутствует; в природе не встречается, но должен быть токсичен из-за радиоактивности

Содержание в человеческом организме: нулевое

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{-12}$):
данные отсутствуют

Земная кора, %: следы в урановых рудах

Морская вода, %: нулевая

Геологические сведения

Основные источники: получается в миллиграммовых количествах из продуктов распада в ядерных реакторах

Ра

Атомный номер: 91

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 231,03588

Химические свойства

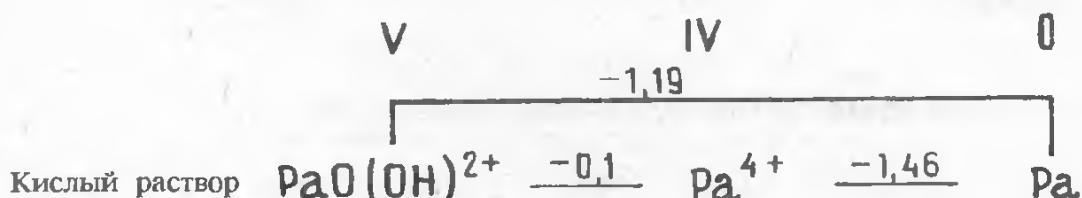
Радиоактивный, серебристый металл; встречается в природе в урановых рудах. Взаимодействует с кислородом, водяным паром и кислотами, но не щелочами. Применяется мало.

Радиус, пм: Pa^{3+} 113, Pa^{4+} 98, Pa^{5+} 89, атомный 160,6

Электроотрицательность: 1,5 (по Полингу), 1,14 (по Оллреду)

Эффективный заряд ядра: 1,80 (по Слейтеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В



Состояния окисления

Pa^{III}

(f^2)

Pa^{IV}

(f^1)

Pa^{V}

(f^0 , [Rn])

PaI_3

PaO_2

[$\text{Pa}(\text{H}_2\text{O})_x$] $^{4+}$ (aq), PaF_4 , PaCl_4 и т.д.

Pa_2O_5

PaO_2^+

(соединения). PaF_5 , PaCl_5 и т.д., $[\text{PaF}_6]^-$, $[\text{PaF}_7]^{2-}$,

$[\text{PaF}_8]^{3-}$

Физические свойства

Температура плавления, К: 2113

Температура кипения, К: ~4300

$\Delta H_{\text{пл.}}$, кДж/моль: 16,7

$\Delta H_{\text{исп.}}$, кДж/моль: 481

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр.}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр.}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	51,9	28
Газообразное	607	563	198,05	22,93

Плотность, кг/м³: 15370 (оценка)

Теплопроводность, Вт/(м·К): 47 (оценка) [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $17,7 \cdot 10^8$ [273 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: данные отсутствуют

Мольный объем, см³: 15,0

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $7,3 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

Тетрагональная ($a = 393,2$; $c = 323,8$); I4/mmm

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: данные отсутствуют

Открыт в 1917 г. Отто Ганом и Лизой Мейтнер (Берлин, Германия), К. Фаянсом (Карлсруэ, Германия) и Ф. Содди, Дж. Крэнстоном и Э. Флеком (Глазго, Шотландия)
[От греч. protos - первый]

Протактиний (Protactinium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 500 (^{232}Pa)
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 21
Диапазон изотопных масс: 216→238

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростране- нность в при- роде, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия рас- пада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{231}Pa	231,035880	Следы	$3,27 \cdot 10^4$ лет	α (5,148); γ	$3/2^-$	$\pm 2,01$	
^{232}Pa	232,038565	0	1,31 дня	β^- (1,34); γ	$3/2^-$	+3,5	Метка
^{233}Pa	233,040242	0	27,0 дня	β^- (0,572); γ	$3/2^-$	+3,5	Метка
^{234}Pa	234,043303	Следы	6,70 ч	β^- (2,199); γ	4^+		

Основное электронное состояние: $[\text{Rn}]5\text{f}^26\text{d}^17\text{s}^2$

Терм: ${}^4\text{K}_{11/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: данные отсутствуют

Свойства электронной оболочки

Основные линии в атомном спектре*

Длина волн, нм	Форма
363,652	
398,223	
694,572	
711,489	
736,825	
749,315	
760,820	

*Первые семь линий идентифицированы как принадлежащие нейтральному атому

Энергии ионизации, кДж/моль

$M \rightarrow M^+$	568
$M^+ \rightarrow M^{2+}$	
$M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	
$M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	
$M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	

Биологическая роль

Отсутствует; в природе не встречается, но должен быть токсичен из-за радиоактивности

Содержание в человеческом организме: нулевое

Распространенность

Солнце (относительно Н = $1 \cdot 10^{12}$):
данные отсутствуют

Земная кора, %: следы в урановых рудах

Морская вода, %: $2 \cdot 10^{-15}$

Геологические сведения

Основные источники: получен в количестве нескольких граммов из уранового ядерного топлива

Ra

Атомный номер: 88

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 226,0254

Химические свойства

Радиоактивный элемент; встречается в природе в урановых рудах. Серебристый, блестящий, мягкий. Производство - около 100 г в год. Ранее применялся при лечении рака и в люминесцентных красках; сейчас для этих целей используется редко. Взаимодействует с кислородом и водой.

Радиус, пм: Ra^{2+} 152, атомный 223

Электроотрицательность: 0,89 (по Полингу), 0,97 (по Оллреду)

Эффективный заряд ядра: 1,65 (по Слейтеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

II		0
Ra^{2+}	-2,916	Ra
RaO	-1,319	Ra

Состояния окисления



Физические свойства

Температура плавления, К: 973

Температура кипения, К: 1413

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: 7,15

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 136,8

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p° , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	71	27,1
Газообразное	159	130	176,47	20,79

Плотность, кг/м³: ~5000 [293 K]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 18,6 (оценка) [300 K]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $100 \cdot 10^{-8}$ [273 K]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: данные отсутствуют

Мольный объем, см³: 45,2

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $20,2 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

ОЦК ($a = 515$)

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 304; MoK_α 172

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 20 (^{226}Ra)
 Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 25
 Диапазон изотопных масс: 213→230

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{223}Ra	223,018501	Встречается	11,43 дня	α (5,979); γ	$1/2+$		
^{224}Ra	224,020186	Встречается	3,66 дня	α (5,789); γ	$0+$		
^{226}Ra	226,025402	Встречается	1600 лет	α (4,780); γ	$0+$		Метка, в медицине
^{228}Ra	228,031064	Встречается	5,75 лет	β^- (0,045); нет γ	$0+$		

Основное электронное состояние: $[\text{Rn}]7s^2$

Терм: $^1\text{S}_0$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: данные отсутствуют

**Свойства
злектронной
обкладки**

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
364,955	II
381,442	II
434,064	II
468,228	II
482,591	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	509,3	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	(7300)
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	979,0	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	(8600)
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	(3300)	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(9900)
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	(4400)	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(13500)
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	(5700)	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(15100)

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; токсичен из-за радиоактивности

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: $0,23 \cdot 10^{-13}$

Костная ткань, %: $4 \cdot 10^{-13}$

Кровь, мг/л: $6,6 \cdot 10^{-9}$

Ежедневный прием с пищей: $2 \cdot 10^{-9}$ мг

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг):

$31 \cdot 10^{-9}$ мг

Распространенность

Солнце (относительно Н = $1 \cdot 10^{12}$):
данные отсутствуют

Земная кора, %: $6 \cdot 10^{-11}$

Морская вода, %: $2 \cdot 10^{-15}$

Степень окисления: II

Геологические сведения

Основные источники: встречается в урановых рудах

Rn

Атомный номер: 86
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): (222)

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Бесцветный газ, без запаха, получается из ^{226}Ra . Мало изучен из-за вредного излучения, которое разрушает любые образующиеся соединения. По химическим свойствам должен напоминать ксенон.

Радиус, пм: данные отсутствуют

Электроотрицательность: д.о. (по Полингу), д.о. (по Оллреду), 5,1 эВ (абсолютная)]

Эффективный заряд ядра: 8,25 (по Слейтеру); 16,08 (по Клементти); 20,84 (по Фрезе-Фишеру)

Растворимость в воде при 293 К: 230 см³/дм³

Стандартный потенциал восстановления E° , В

Данные отсутствуют

Ковалент- ная связь	r , пм	E , кДж/моль
Rn-F	Данные отсутствуют	

Состояния окисления

Rn ^{II}	RnF ₂
------------------	------------------

Физические свойства

Температура плавления, К: 202

Температура кипения, К: 211,4

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: 2,7 (оценка)

$\Delta H_{\text{ исп}}$, кДж/моль: 18,1

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Газообразное	0	0	176,21	20,786

Плотность, кг/м³: д.о. [тв.]; 4400 [жидкость при т. кип.], 9,73 [газ, 273 К]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 0,00364 (оценка) [300 К] (газ)

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: данные отсутствуют

Мольный объем, см³: 50,5 [211 К]

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

ГЦК

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: данные отсутствуют

Открыт в 1900 г. Ф. Дорном (Галле, Германия)
[Назван по аналогии с радием]

Радон
(Radon)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 0,7 (^{222}Rn)
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 28
Диапазон изотопных масс: 200→226

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полураспа- да $T_{1/2}$	Тип распада, МэВ	Изнергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{219}Rn	219,009479	Следы	3,96 с	α (6,946); γ		5/2+		
^{220}Rn	220,011368	Следы	55,6 с	α (6,404); γ		0+		
^{222}Rn	222,017570	Следы	3,82 дня	α (5,590); γ		0+		Метка, в медицине

Основное электронное состояние: [Xe]4f¹⁴5d¹⁰6s²6p⁶

Терм: 1S_0

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: -41 (рассчит.)

**Свойства
электронной
оболочки**

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
434,960	
705,542	
726,811	
745,000	
780,982	
809,951	
827,096	
860,007	

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	1037
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; токсичен из-за радиоактивности; в некоторых местностях уровень содержания в воздухе превышает допустимый
Содержание в человеческом организме: нулевое

Распространенность

Солнце (относительно Н = $1 \cdot 10^{12}$):
данные отсутствуют
Земная кора, %: следы
Морская вода: $\sim 10^{-18}$
Степень окисления: 0
Атмосфера, об.%: следы

Геологические

сведения
Основные источники: получается из
 ^{226}Ra

Re

Атомный номер: 75
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 186,207

Химические свойства

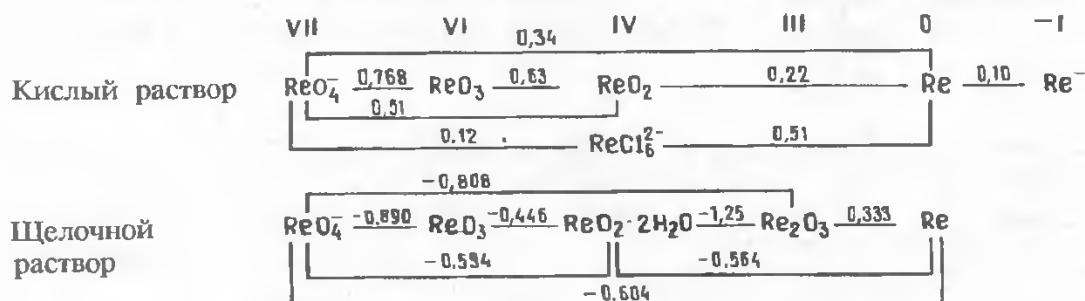
Серебристый металл, обычно получается в виде серого порошка. Устойчив к коррозии и окислению, но во влажном воздухе покрывается оксидной пленкой. Растворяется в азотной и серной кислотах. Применяется в нитях накаливания, термисторах и катализаторах.

Радиус, пм: Re^{4+} 72, Re^{6+} 61, Re^{7+} 60, атомный 137,0, ковалентный 128

Электроотрицательность: 1,9 (по Полингу), 1,46 (по Оллреду), 4,02 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 3,60 (по Слейтеру), 10,12 (по Клементи), 14,62 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В



Состояния окисления

Re^{-III}	(d ¹⁰)	$[\text{Re}(\text{CO})_4]^{3-}$	Re^{IV}	(d ³)	ReO_2 , ReF_4 , ReCl_4 и т.д., комплексы
Re^{-I}	(d ⁸)	$[\text{Re}(\text{CO})_5]^-$	Re^V	(d ²)	Re_2O_5 , ReF_5 , ReCl_5 , ReBr_5 , ReOF_3 , комплексы
Re^0	(d ⁷)	$\text{Re}_2(\text{CO})_{10}$	Re^{VI}	(d ¹)	ReO_3 , ReF_6 , ReCl_6 , ReF_8^{2-} , ReOCl_4 , комплексы
Re^I	(d ⁶)	$\text{Re}(\text{CO})\text{Cl}$, $\text{K}_5\text{Re}(\text{CN})_6$	Re^{VII}	(d ⁰ f ¹⁴)	Re_2O_7 , ReF_7 , ReO_3F , ReOF_5 , $\text{ReO}_4^-(aq)$, $[\text{ReH}_9]^{2-}$, комплексы
Re^{II}	(d ⁵)	ReF_2 , ReCl_2 и т.д.			
Re^{III}	(d ⁴)	$\text{Re}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, Re_3Cl_9 , Re_3Br_9 , Re_3I_9 , $\text{Re}_2\text{Cl}_8^{2-}$, $[\text{Re}(\text{CN})_7]^{4-}$, комплексы			

Физические свойства

Температура плавления, К: 3453

Температура кипения, К: 5900

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж / моль: 33,1

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: 707,1

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	36,86	25,48
Газообразное	769,9	724,6	188,938	20,786

Плотность, кг / м³: 21020 [293 К]; 18900 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 47,9 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $19,3 \cdot 10^{-8}$ [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: $+4,56 \cdot 10^{-9}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 8,86

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $6,63 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

Гексагональная плотноупакованная ($a = 276,09$, $c = 445,76$); P6₃/mmc

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 179; MoK_α 103

Открыт в 1925 г. В.Ноддаком, Идои Таке и О.Бергом (Берлин, Германия)
[От лат. Rhenus - Рейн]

Рений (Rhenium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 90
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 34
Диапазон изотопных масс: 162→192

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распростране- нность в при- роде, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{185}Re	184,952951	37,40	Стабилен		5/2+	+3,172	ЯМР
^{186}Re	185,954984	0	88,9 ч	β^- (1,071) 92%; 33 8%; γ	1-	+1,739	Метка
^{187}Re	186,955744	62,60	$4,5 \cdot 10^{10}$ лет	β^- (0,0025)	5/2+	+3,2197	ЯМР
^{188}Re	187,958106	0	16,98 ч	β^- (2,10); γ	1-	+1,788	Метка

ЯМР



Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$): 0,13

0,13

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$): 280

490

Гиromагнитное отношение, рад/(Тл·с): $6,0255 \cdot 10^7$

$6,0862 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²: $2,8 \cdot 10^{-28}$

$2,6 \cdot 10^{-28}$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц: 22,513

22,744

Стандарт: NaReO_4 (aq)

Основное электронное состояние: $[\text{Xe}]4f^{14}5d^56s^2$

Терм: $^6S_{5/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: 14

Свойства заслонки оболочки

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
200,353	I
204,908	I
345,188	I
346,046 (AA)	I
346,473	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	760	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	(6300)
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1260	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	(7600)
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2510	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	3640	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	(4900)	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	

в окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; малотоксичен

Содержание в человеческом организме: данные отсутствуют, но невелико

Распространенность

Солнце (относительно H ≈ $1 \cdot 10^{12}$):

<2

Земная кора, %: $4 \cdot 10^{-8}$

Морская вода, %: $4 \cdot 10^{-10}$

Степень окисления: III

Геологические сведения

Основные источники: извлекается из отходящих газов при выплавке молибдена

Мировое производство, т/год: ~1

Запасы, т: данные отсутствуют

Rh

Атомный номер: 45
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 102,90550

Химические свойства

Встречается редко; блестящий, серебристый, твердый металл семейства платиновых. Устойчив на воздухе до 875 К; инертен ко всем кислотам, но реагирует с расплавами щелочей. Применяется как катализатор.

Радиус, пм: Rh²⁺ 86, Rh³⁺ 75, Rh⁴⁺ 67, атомный 134,5, ковалентный 125
Электроотрицательность: 2,28 (по Полингу), 1,45 (по Оллреду), 4,30 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 3,90 (по Слейтеру), 7,64 (по Клементи), 10,85 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

III	0
Rh ³⁺	0,76

Состояния окисления

Rh ^{-I}	(d ¹⁰)	[Rh(CO) ₄] ⁻
Rh ⁰	(d ⁹)	[Rh ₄ (CO) ₁₂] ⁰
Rh ^I	(d ⁸)	[RhCl(PPh ₃) ₃] ⁺
Rh ^{II}	(d ⁷)	RhO
Rh ^{III}	(d ⁶)	Rh ₂ O ₃ , RhF ₃ , RhCl ₃ и т.д., [RhCl ₆] ³⁻ , [Rh(H ₂ O) _x] ³⁺ (aq)
Rh ^{IV}	(d ⁵)	RhO ₂ , RhF ₄ , [RhCl ₆] ²⁻
Rh ^V	(d ⁴)	[RhF ₅] ₄ , [RhF ₆] ⁻
Rh ^{VI}	(d ³)	RhF ₆

Физические свойства

Температура плавления, К: 2239

Температура кипения, К: 4000

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж / моль: 21,55

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: 495,4

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	31,51	24,98
Газообразное	556,9	510,8	185,808	21,012

Плотность, кг / м³: 12410 [293 К]; 10650 [жидкость при т. пл.]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 150 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $4,51 \cdot 10^{-8}$ [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: $+1,36 \cdot 10^{-9}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 8,29

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $8,40 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

ГЦК ($a = 380,36$); Fm3m

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 194; MoK_α 22,6

Открыт в 1803 г. У.Х.Волластоном (Лондон, Англия)
[От греч. *rhodon* - розовый]

Родий (Rhodium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 145
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 34
Диапазон изотопных масс: 94м→112

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распростра- ненность природе, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Приме- нение
¹⁰³ Rh	102,905500	100	Стабилен		1/2-	-0,0884	ЯМР
¹⁰⁵ Rh	104,905686	0	35,4 ч	β^- (0,57); γ	7/2+	+4,428	Метка

ЯМР

Относительная чувствительность (¹ H = 1,00):	¹⁰³ Rh $3,11 \cdot 10^{-5}$
Восприимчивость (¹³ C = 1,00):	0,177
Гиromагнитное отношение, рад/(Тл·с):	$-0,8520 \cdot 10^7$
Частота (¹ H = 100 МГц; 2,3488 Тл), МГц:	3,172
Стандарт: mer-[RhCl ₃](SM ₂) ₃]	

Основное электронное состояние: [Kr]4d⁸5s¹

Терм: ⁴F_{9/2}
Сродство к электрону (M→M⁺), кДж/моль: 109,7

Свойства затекущей области

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
343,489 (AA)	I
350,252	I
352,802	I
365,799	I
369,236	I
370,091	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. M→M ⁺	720	6. M ⁵⁺ →M ⁶⁺	(8200)
2. M ⁺ →M ²⁺	1744	7. M ⁶⁺ →M ⁷⁺	(10100)
3. M ²⁺ →M ³⁺	2977	8. M ⁷⁺ →M ⁸⁺	(12200)
4. M ³⁺ →M ⁴⁺	(4400)	9. M ⁸⁺ →M ⁹⁺	(14200)
5. M ⁴⁺ →M ⁵⁺	(6500)	10. M ⁹⁺ →M ¹⁰⁺	(22000)

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; предположительно канцероген; данные о токсичности отсутствуют
Содержание в человеческом организме: данные отсутствуют, но невелико

Распространенность

Солнце (относительно H = 1·10⁻¹²):
25,1
Земная кора, %: ~2·10⁻⁸
Морская вода, %: данные отсутствуют, но пренебрежимо мала

Геологические сведения

Основные источники: некоторые медные и никелевые руды содержат до 0,1 % Rh.
Мировое производство, т/год: 3
Запасы, т: 3000

Hg

Атомный номер: 80
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 200,59

Химические свойства

Жидкий, серебристый металл. Устойчив к действию воздуха и воды, не реагирует с кислотами (за исключением конц. HNO_3) и щелочами. Используется в производстве хлора и NaOH , в уличных фонарях, фунгицидах, электроаппаратуре и т.д.

Радиус, пм: Hg^+ 127, Hg^{2+} 112, атомный 160, ковалентный 144

Электроотрицательность: 2,00 (по Полингу), 1,44 (по Оллреду), 4,91 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 4,35 (по Слейтеру), 11.15 (по Клементи), 16.22 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	II	I	0
		0,8535	
Кислый раствор	$\text{Hg}^{2+} \xrightarrow{-0,9110}$	$\text{Hg}_2^{2+} \xrightarrow{0,0977}$	$\text{Hg} \xrightarrow{0,7960}$
Щелочной раствор	HgO		Hg

Состояния окисления

Hg^{I}	$(\text{d}^{10}\text{s}^1)$	Hg_2F_2 , Hg_2Cl_2 и т.д., соли Hg_2^{2+} (в основном нерастворимые, кроме $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Hg^{II}	(d^{10})	HgO , HgS , HgF_2 , HgCl_2 и т.д., соли Hg^{2+} , $[\text{Hg}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}(\text{aq})$, $\text{HgN}(\text{OH})$, комплексы, например $[\text{Hg}(\text{SCH}_3)_4]^{2-}$, $\text{Hg}(\text{CH}_3)_2$ и т.д.

Физические свойства

Температура плавления, К: 234,28

Температура кипения, К: 629,73

$\Delta H_{\text{пл.}}$, кДж / моль: 2,331

$\Delta H_{\text{исп.}}$, кДж / моль: 59,15

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр.}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр.}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	76,02	27,983
Газообразное	61,317	31,820	174,96	20,786

Плотность, кг / м³: 13546 [293 К]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 8,34 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $94,1 \cdot 10^{-8}$ [273 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: $-2,095 \cdot 10^{-9}$ (ж.)

Мольный объем, см³: 14,81

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $18,1 \cdot 10^{-5}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

α -Hg ромбоздрическая ($a = 299,25$; $\alpha = 70^\circ 44,6'$); R3m

β -Hg тетрагональная ($a = 399,5$; $c = 282,5$); I4 / mmm

$\alpha \rightarrow \beta$ при высоком давлении

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 216; MoK_α 117

Известна древним цивилизациям

[Названа в честь планеты Меркурий. Лат. *hydragyrum* - жидкое серебро]

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 374

Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 37

Диапазон изотопных масс: 178→206

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распространенность в природе, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин /	Ядерный магнитный момент μ	Применение
^{196}Hg	195,965807	0,15	Стабилен		0+		
^{197}Hg	196,967187	0	64,1 ч	Э3 (0,600); γ	1/2-	+0,5274	Метка, в медицине
^{198}Hg	197,966743	10,1	Стабилен		0+		
^{199}Hg	198,968254	17,0	Стабилен		1/2-	+0,5059	ЯМР
^{200}Hg	199,968300	23,1	Стабилен		0+		
^{201}Hg	200,970277	13,2	Стабилен		3/2-	-0,5602	ЯМР
^{202}Hg	201,970617	26,65	Стабилен		0+		
^{203}Hg	202,972848	0	46,6 дня	β^- (0,492); γ	5/2-	+0,8489	Метка, в медицине
^{204}Hg	203,973467	6,85	Стабилен		0+		

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):

Квадрупольный момент, м²:

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

Стандарт: $\text{Hg}(\text{CH}_3)_2$

Основное электронное состояние: [Xe]4f¹⁴5d¹⁰6s²

Терм: $^1\text{S}_0$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: -18

Основные линии

в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
253,652 (AA)	I
365,015	I
404,656	I
435,833	I
1013,975	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	1007,0	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	(7400)
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1809,7	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	(9100)
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	3300	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(11600)
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	(4400)	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(13400)
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	(5900)	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(15300)

Свойства электронной оболочки

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; тератоген; метилртуть высокотоксична

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: $(0,02\text{-}0,7) \cdot 10^{-4}$

Костная ткань, %: $0,45 \cdot 10^{-4}$

Кровь, мг/л: 0,0078

Ежедневный прием с пищей: 0,004-0,02 мг

Токсическая доза: 0,4 мг

Летальная доза: 150-300 мг

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): данные отсутствуют

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$): <125

Земная кора, %: $0,5 \cdot 10^{-5}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $4,9 \cdot 10^{-11}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: $4,9 \cdot 10^{-11}$

Тихий океан, в поверхностных слоях: $3,3 \cdot 10^{-11}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $3,3 \cdot 10^{-11}$

Время пребывания, лет: д.о.

Геохимическая классификация: выводится

Степень окисления: II

Геологические сведения

Основные руды: киноварь [HgS]

Мировое производство, т/год: 8400

Запасы, т: 590000

Rb

Атомный номер: 37

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 85,4678

Химические свойства

Очень мягкий металл, на срезе серебристо-белый, с блеском. На воздухе воспламеняется, бурно реагирует с водой. Используется мало, за исключением научных исследований.

Радиус, пм: Rb⁺ 1,49, атомный 247,5, вандерваальсов 244

Электроотрицательность: 0,82 (по Полингу), 0,89 (по Оллреду), 2,34 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 2,20 (по Слейтеру), 4,98 (по Клементи), 6,66 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

I	0
Rb ⁺	-2,924

Состояния окисления

Rb ^{-I}	(s ²)	Раствор в жидком аммиаке
Rb ^I	([Kr])	Rb ₂ O, Rb ₂ O ₂ (пероксид), RbO ₂ (пероксид), RbOH, RbH, RbF, RbCl и т.д., [Rb(H ₂ O) _x] ⁺ (aq), Rb ₂ CO ₃ , множество солей, некоторые комплексы

Физические свойства

Температура плавления, К: 312,2

Температура кипения, К: 961

$\Delta H_{\text{пп}}$, кДж / моль: 2,20

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: 69,2

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	76,78	31,062
Газообразное	80,88	53,06	170,089	20,786

Плотность, кг / м³: 1532 [293 K]; 1475 [жидкость при т.п.л.]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 58,2 [300 K]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $12,5 \cdot 10^{-8}$ [293 K]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: $+2,49 \cdot 10^{-9}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 55,79

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $90 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

ОЦК ($a = 562$); I_m3m

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 117; MoK_α 90,0

Открыт в 1861 г. Р.В.Бунзеном и Г.Кирхгофом (Гейдельберг, Германия)
[От лат. *rūbidius* - глубокого красного цвета]

Рубидий (Rubidium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 0,38
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 30
Диапазон изотопных масс: 75→98

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распространенность в природе, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип распада	Энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Применение
^{83}Rb	82,915144	0	86,2 дня	β^+ (0,86); γ	33 (0,86); γ	5/2-	+1,43	Метка
^{85}Rb	84,911794	72,17	Стабилен			5/2-	+135302	ЯМР
^{86}Rb	85,911172	0	18,63 дня	β^+ (1,774); γ	β ⁻ (1,774); γ	2-	-1,6920	Метка
^{87}Rb	86,909187	27,83	$4,9 \cdot 10^{10}$ лет	β^+ (0,273); нет γ	β^+ (0,273); нет γ	3/2-	+2,7512	ЯМР

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):	$1,05 \cdot 10^{-2}$	$[^{85}\text{Rb}]$	^{87}Rb
Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):	43	0,17	277
Гиromагнитное отношение, рад/(Тл·с):	$2,5828 \cdot 10^7$	$8,7532 \cdot 10^7$	
Квадрупольный момент, м ² :	$0,25 \cdot 10^{-28}$	$0,12 \cdot 10^{-28}$	
Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:	9,655	32,721	
Стандарт: RbCl(aq)			

Основное электронное состояние: [Kr]5s¹

Терм: $^2\text{S}_{1/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: 46,9

Свойства электронной оболочки

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
214,383	II
247,220	II
424,440	II
477,595	II
780,027 (AA)	I
794,760	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	403,0	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	8140
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	2632	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	9570
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	3900	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	13100
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	5080	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	14800
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	6850	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	26740

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует, стимулятор
Содержание в человеческом организме:
Мышечная ткань, %: $(20 - 70) \cdot 10^{-4}$
Костная ткань, %: $(0,1 - 5) \cdot 10^{-4}$
Кровь, мг/л: 2,49
Ежедневный прием с пищей: 1,5 - 6 мг
Токсическая доза: данные отсутствуют, но токсичность сравнительно мала
Летальная доза: данные отсутствуют
Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 680 мг

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):
400
Земная кора, %: $90 \cdot 10^{-4}$
Морская вода, %: $0,12 \cdot 10^{-4}$
Время пребывания, лет: 800000
Геохимическая классификация: накапливается
Степень окисления: I

Геологические

сведения
Основные источники: присутствует в таких минералах, как лепидолит, поллюцит и карналлит
Мировое производство, т/год: данные отсутствуют
Запасы, т: данные отсутствуют

Ru

Атомный номер: 44
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 101,07

Химические свойства

Блестящий, серебристый металл семейства платиновых. Не реагирует с воздухом, водой и кислотами, но растворяется в расплавах щелочей. Используется для придания твердости Pt и Pd и как катализатор.

Радиус, пм: Ru^{3+} 77, Ru^{4+} 65, Ru^{8+} 54, атомный 134, ковалентный 124

Электроотрицательность: 2,2 (по Полингу), 1,42 (по Оллреду), 4,5 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 3,75 (по Слейтеру), 7,45 (по Клементи), 10,57 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

VIII	VII	VI	IV	III	II	0
			1,04			
		1,533				
RuO_4	$0,99$	RuO_4^-	$0,593$	RuO_4^{2-}	$2,0$	
			1,40			
				RuO_2	$0,86$	Ru^{3+}
					$0,249$	Ru^{2+} д. о.
					$0,68$	Ru^{2+} д. о.
						Ru^{2+} д. о.
						Ru^{2+} д. о.

Состояния окисления

Ru^{-II}	(d ¹⁰)	$[\text{Ru}(\text{CO})_4]^{2-}$ (редко)
Ru^0	(d ⁸)	$\text{Ru}(\text{CO})_5$ (редко)
Ru^I	(d ⁷)	ряд комплексов
Ru^{II}	(d ⁶)	$[\text{Ru}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ (aq), RuCl_2 , RuBr_2 , RuI_2 , $[\text{RuCN}_6]^{2-}$. комплексы
Ru^{III}	(d ⁵)	Ru_2O_3 , $[\text{Ru}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ (aq), RuF_3 , RuCl_3 и т.д., $[\text{RuCl}_6]^{3-}$
Ru^{IV}	(d ⁴)	RuO_2 , RuF_4 , $[\text{RuCl}_6]^{2-}$
Ru^V	(d ³)	RuF_5 , RuF_6^-
Ru^{VI}	(d ²)	RuO_3 , RuO_4^{2-} (aq), RuF_6
Ru^{VII}	(d ¹)	RuO_4^- (aq)
Ru^{VIII}	(d ⁰ , [Kr])	RuO_4

Физические свойства

Температура плавления, К: 2583

Температура кипения, К: 4173

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: 23,7

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 567,8

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	28,53	24,06
Газообразное	642,7	595,8	186,507	21,522

Плотность, кг/м³: 12370 [293 К]; 10900 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 117 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $7,6 \cdot 10^{-8}$ [273 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $+5,37 \cdot 10^{-9}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 8,14

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $9,1 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

гексагональная плотноупакованная ($a = 270,58$, $c = 428,11$); $P6_3/mmc$

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 183; MoK_α 21,1

Открыт в 1808 г. Е.Снядецким (Университет Вильно, Польша); заново открыт в 1828 г. Г.В.Осанном в Тартусском университете (Тарту, Россия)

[От лат. Ruthenia - Россия]

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 2,6

Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 20

Диапазон изотопных масс: 92→110

Рутений (Ruthenium)

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распространенность в природе, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Применение
⁹⁶ Ru	95,907599	5,53	Стабилен		0+		
⁹⁷ Ru	96,907556	0	2,89 дня	3Э (1,12); γ	5/2+	0,687	Метка
⁹⁸ Ru	97,905287	1,87	Стабилен		0+		
⁹⁹ Ru	98,905939	12,7	Стабилен		5/2+	-6,413	ЯМР
¹⁰⁰ Ru	99,904219	12,6	Стабилен		0+		
¹⁰¹ Ru	100,905582	17,1	Стабилен		5/2+	-0,7188	ЯМР
¹⁰² Ru	101,904348	31,6	Стабилен		0+		
¹⁰³ Ru	102,906323	0	39,24 дня	β^- (0,767); γ	5/2+	0,67	Метка
¹⁰⁴ Ru	103,905424	18,6	Стабилен		0+		Метка, в медицине
¹⁰⁶ Ru	105,907321	0	372,6 дня	β^- (0,039); нет γ	0+		

ЯМР

Относительная чувствительность (¹H = 1,00): $1,95 \cdot 10^{-4}$

Восприимчивость (¹³C = 1,00): 0,83

Гиromагнитное отношение, рад/(Тл·с): $-1,2343 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²: $0,076 \cdot 10^{-28}$

Частота (¹H = 100 МГц; 2,3488 Тл), МГц: 3,389

Стандарт: RuO₄

⁹⁹Ru

¹⁰¹Ru

$1,41 \cdot 10^{-3}$

1,56

$-1,3834 \cdot 10^7$

$0,44 \cdot 10^{-28}$

4,941

Основное электронное состояние: [Kr]4d⁷5s¹

Терм: ⁵F₅

Сродство к электрону (M→M⁺), кДж/моль: 101

Свойства электронной оболочки

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
349,894	I
372,693	I
372,803 (AA)	I
379,890	I
379,935	I
419,990	I

Энергии ионизации,

кДж/моль

1. M→M ⁺	711	6. M ⁵⁺ →M ⁶⁺	(7800)
2. M ⁺ →M ²⁺	1617	7. M ⁶⁺ →M ⁷⁺	(9600)
3. M ²⁺ →M ³⁺	2747	8. M ⁷⁺ →M ⁸⁺	(11500)
4. M ³⁺ →M ⁴⁺	(4500)	9. M ⁸⁺ →M ⁹⁺	(18700)
5. M ⁴⁺ →M ⁵⁺	(6100)	10. M ⁹⁺ →M ¹⁰⁺	(20900)

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; RuO₄ высокотоксичен
Содержание в человеческом организме: данные отсутствуют, но невелико

Распространенность

Солнце (относительно H = 1·10¹²):

67,6

Земная кора, %: ~1·10⁻⁷

Морская вода, %: данные отсутствуют, но пренебрежимо малая величина

Геологические сведения

Основные минералы и источники: встречается в свободном состоянии, но получают рутений из отходов при очистке никеля

Мировое производство, т/год: 0,12
Запасы, т: 5000

Sm

Атомный номер: 62
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 150,36

Химические свойства

Серебристо-белый металл семейства редкоземельных элементов. Относительно устойчив в сухом воздухе, но во влажном окисляется с поверхности. Используется для получения постоянных магнитов, органических реагентов, специальных стекол, катализаторов, керамики и в электронике.

Радиус, пм: Sm²⁺ 111, Sm³⁺ 100, атомный 180,2, ковалентный 166

Электроотрицательность: 1,17 (по Полингу), 1,07 (по Оллреду), ≤ 3,1 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 2,85 (по Слейтеру), 8,01 (по Клементи), 11,06 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	III	II	0
		— 2,30	
Кислый раствор	Sm ³⁺	— 1,55	Sm ²⁺

Щелочного раствора	Sm(OH) ₃	— 2,80	Sm
--------------------	---------------------	--------	----

Состояния окисления

Sm^{II} (f⁶) SmO, SmS, SmF₂, SmCl₂ и т.д.

Sm^{III} (f⁵) Sm₂O₃, Sm(OH)₃, SmF₃, SmCl₃ и т.д., [Sm(H₂O)_x]³⁺(aq).
соли Sm³⁺, комплексы

Физические свойства

Температура плавления, К: 1350

Температура кипения, К: 2064

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж / моль: 10,9

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: 191,6

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	69,58	29,54
Газообразное	206,7	172,8	183,042	30,355

Плотность, кг / м³: 7520 [293 К]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 13,3 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: 94,0 · 10⁻⁸ [298 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: +1,52 · 10⁻⁷ (тв.)

Мольный объем, см³: 20,00

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: 10,4 · 10⁻⁶

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

α-Sm ромбоэдрическая ($a = 899,6$, $\alpha = 23^\circ 13'$); R $\bar{3}$ m

β-Sm кубическая ($a = 407$); Im3m

$T(\alpha \rightarrow \beta) = 1190$ К

Фаза высокого давления: гексагональная плотноупакованная ($a = 361,8$, $c = 1166$); P6₃/mmc

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 397; MoK_α 58,6

Открыт в 1879 г. П.-Э. Лекок де Буабодраном (Париж, Франция)
[От названия минерала самарскит]

Самарий (Samarium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 5900
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 24
Диапазон изотопных масс: 138→158

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распространенность в природе, %	Период полу-распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Применение
^{144}Sm	143,911998	3,1	Стабилен				
^{146}Sm	145,913059	0	$1,03 \cdot 10^8$ лет	α (2,50)			
^{147}Sm	146,914895	15,0	$1,08 \cdot 10^{11}$ лет	α (2,23)	7/2-	-0,813	ЯМР
^{148}Sm	147,914820	11,3	$7 \cdot 10^{15}$ лет	α (1,96)			
^{149}Sm	148,917181	13,8	10^{16} лет	α	7/2-	-0,670	ЯМР
^{150}Sm	149,917273	7,4	Стабилен				
^{152}Sm	151,919729	26,6	Стабилен				
^{153}Sm	152,922094	0	46,7 ч	β^- (0,810); γ	3/2+	-0,0217	Метка
^{154}Sm	153,922206	22,6	Стабилен				

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):

^{147}Sm

$1,48 \cdot 10^{-3}$

$7,47 \cdot 10^{-4}$

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

1,28

0,665

Гиromагнитное отношение, рад/(Тл·с):

$-1,1124 \cdot 10^7$

$-0,9175 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²:

$-0,208 \cdot 10^{-28}$

$6 \cdot 10^{-30}$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

4,128

3,289

Основное электронное состояние: $[\text{Xe}]4f^{6}6s^2$

Терм: 7F_0

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: ≤50

Свойства электронной оболочки

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
356,827	II
359,260	II
363,429	II
373,912	II
388,529	II
429,674 (AA)	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	543,3	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1068	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2260	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	3990	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$		10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; малотоксичен; стимулятор

Содержание в человеческом организме: данные отсутствуют, но не велико

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):

5,2

Земная кора, %: $7,9 \cdot 10^{-4}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $4,0 \cdot 10^{-11}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: $6,4 \cdot 10^{-11}$

Тихий океан, в поверхностных слоях: $4,0 \cdot 10^{-11}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $10 \cdot 10^{-11}$

Время пребывания, лет: 200

Геохимическая классификация:

возобновляется

Степень окисления: III

Геологические сведения

Основные минералы и источники:

моанцит $[(\text{Ce}, \text{La}, \dots) \text{PO}_4]$

Мировое производство, т/год: ~100

Запасы, т: ~ 10^6

Pb

Атомный номер: 82
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12.0000$): 207,2

Химические свойства

Мягкий, ковкий, пластичный тускло-серый металл. Во влажном воздухе покрывается оксидной пленкой, но устойчив к действию кислорода и воды, растворяется в азотной кислоте. Используется в аккумуляторах, в производстве кабелей, красок, стекла, смазок, бензина, средств защиты от радиации и т.д.

Радиус, пм: Pb^{2+} 132, Pb^{4+} 84, атомный 175,0, ковалентный 154, Pb^{4+} 215

Электроотрицательность: 2,33 (по Полингу), 1,55 (по Оллреду), 3,90 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 5,65 (по Слейтеру), 12,39 (по Клементи), 15,33 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

Кислый раствор	IV Pb^{4+}	1,69	II Pb^{2+}	-0,1251	0 Pb	-1,507	-II PbH_2
[Щелочной раствор содержит множество различных форм]							

Ковалентная связь	r , пм	E , кДж/моль
Pb-H	184	180
Pb-C	229	130
Pb-O	192	398
Pb-F	213	314
Pb-Cl	247	244
Pb-Pb	350	100

Состояния окисления

Pb^{II}	PbO, PbF_2 , PbCl_2 и т.д., $\text{PbOH}^+(\text{aq})$, соли $\text{Pb}(\text{H}_2\text{O})_n^{2+}(\text{aq})$, комплексы
Pb^{IV}	PbO ₂ , Pb_3O_4 [= 2PbO.PbO ₂], PbF_4 , PbCl_4 , PbBr_4 , PbCl_6^{2-} , $\text{Pb}(\text{OH})_6^{2-}(\text{aq})$, $[\text{Pb}^{4+}$ в воде не существует], свинецорганические соединения, комплексы

Физические свойства

Температура плавления, К: 600,65

Температура кипения, К: 2013

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: 5,121

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 179,4

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	64,81	26,44
Газообразное	195,0	161,9	175,373	20,786

Плотность, кг/м³: 11350 [293 К]; 10678 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 35,3 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $20,648 \cdot 10^{-8}$ [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $-1,397 \cdot 10^{-9}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 18,26

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $29,1 \cdot 10^{-9}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

ГЦК ($a = 495$); Fm3m

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 232; MoK_α 120

Известен еще древним цивилизациям
[Англо-сакс. lead; лат. Plumbum]

Свинец

(Lead)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 0,171
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 41
Диапазон изотопных масс: 184→214

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Приме- нение
204Pb	203,973020	1,4	Стабилен		0+		
205Pb	204,974458	0	$1,51 \cdot 10^7$ лет	Э3 (0,052); γ			
206Pb	205,974440	24,1	Стабилен		0+		
207Pb	206,975872	22,1	Стабилен		1/2-	+0,5926	ЯМР
208Pb	207,976627	52,4	Стабилен		0+		
210Pb	209,984163	Следы	22,3 года	β^- (0,063) 81%; (0,061) 19%; γ			Метка
214Pb	213,999798	Следы	26,8 ч	β^- (1,032) 48%; (0,73) 42%; γ	0+		

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):



$$9,16 \cdot 10^{-3}$$

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

$$11,8$$

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):

$$5,5797 \cdot 10^7$$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

$$20,921$$

Стандарт: $\text{Pb}(\text{CH}_3)_4$

Основное электронное состояние: $[\text{Xe}]4f^{14}5d^{10}6s^26p^2$

Терм: $^3\text{P}_0$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: 35,1

Основные линии

в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
217,000 (AA)	I
261,418	I
283,305	I
357,273	I
363,957	I
368,436	I
405,781	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	715,5	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	(8100)
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1450,4	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	(9900)
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	3081,5	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(11800)
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	4083	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(13700)
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	6640	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(16700)

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; канцероген; тератоген
Содержание в человеческом орга-
низме:

Мышечная ткань, %: $(0,23 - 3,3) \cdot 10^{-4}$

Костная ткань, %: $(3,6 - 30) \cdot 10^{-4}$

Кровь, мг/л: 0,21

Ежедневный прием с пищей:
0,06-0,5 мг

Токсическая доза: 1 мг

Летальная доза: 10 г

Содержание в организме среднего
человека (масса тела 70 кг): 120 мг
(в скелете)

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):

85,1

Земная кора, %: $14 \cdot 10^{-4}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхно-
стных слоях: $3 \cdot 10^{-9}$

Атлантический океан, в глубинных
слоях: $4,0 \cdot 10^{-10}$

Тихий океан, в поверхностных сло-
ях: $1,0 \cdot 10^{-9}$

Тихий океан, в глубинных слоях:
 $1 \cdot 10^{-10}$

Время пребывания, лет: 50

Геохимическая классификация: вы-
водится

Степень окисления: II

Геологические сведения

Основные руды: галенит [PbS], из
которого получают большую часть
свинца; англезит [PbSO₄]; церуссит
[PbCO₃]; пироморфит
[Pb₅(PO₄)₃Cl] и миметит
[Pb₅(AsO₄)₃Cl]

Мировое производство, т/год: $4,1 \cdot 10^6$

Запасы, т: $85 \cdot 10^6$

Se

Атомный номер: 34
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 78,96

Химические свойства

Получается в виде серебристой металлической аллотропной модификации или в виде красного аморфного порошка, который менее устойчив. На воздухе горит, не взаимодействует с водой, растворяется в концентрированной азотной кислоте и щелочах. Используется в фотоэлектрических ячейках, фотокопирующих устройствах, солнечных батареях и полупроводниках.

Радиус, пм: Se^{4+} 69, атомный 215,2 (серый), ковалентный 117, вандерваальсов 200, Se^{2-} 191

Электроотрицательность: 2,55 (по Полингу), 2,48 (по Оллреду), 5,89 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 6,95 (по Слейтеру), 8,29 (по Клементи), 9,96 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	VI	IV	0	-II
Кислый раствор	SeO_4^{2-} 1.1 0.03	H_2SeO_3 0.74 -0.36	Se	-0.11 -0.67
Щелочной раствор	SeO_4^{2-} SeO_4^-	SeO_3^{2-}	Se	H_2Se Se^{2-}

Ковалентная связь	r, пм	E, кДж/моль
Se-H	146	305
Se-C	198	245
Se-O	161	343
Se-F	170	285
Se-Cl	220	245
Se-Se (Se_8)	232	330

Состояния окисления

Se^{-II}	H_2Se
Se^{0-I}	Кластерные катионы, например Se_4^{2+} .
Se^{2+}	
Se_8^I	
Se^I	Se_2Cl_2 , Se_2Br_2
Se^{II}	?
Se^{IV}	SeO_2 , H_2SeO_3 , SeO_3^{2-} (aq), SeOF_2 , SeOCl_2 , SeOBr_2 , SeF_4 , SeCl_4 , SeBr_4 , SeBr_6^{2-}
Se^{VI}	SeO_3^{2-} ?, H_2SeO_4 , SeO_4^{2-} (aq), SeO_2F_2 , SeO_2Cl_2 , SeF_6

Физические свойства

Температура плавления, К: 490

Температура кипения, К: 958,1

$\Delta H_{\text{пп}}$, кДж/моль: 5,1

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 26,32

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S°, Дж/(К·моль)	C _p , Дж/(К·моль)
Твердое (α)	0	0	42,442	25,363
Газообразное	227,07	187,03	176,72	20,820

Плотность, кг/м³: 4790 (серый) [293 К]; 3987 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 2,04 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: 0,01 [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $-4,0 \cdot 10^{-9}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 16,48

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $36,9 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

Серый Se гексагональная ($a = 436,56$; $c = 495,90$); P3₁21, металлическая форма

α-Se моноклинная ($a = 906,4$, $b = 907,2$, $c = 115,6$, $\beta = 90^\circ 52'$); P2₁/a, Se_8

β-Se моноклинная ($a = 1285$, $b = 807$, $c = 931$, $\beta = 93^\circ 8'$); P2₁/a, Se_8

α'-Se кубическая ($a = 297,0$); Pm3m

β'-Se кубическая ($a = 604$); Fd3m

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 91,4; MoK_α 74,7

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 11,7
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 26
Диапазон изотопных масс: 69→89

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распространенность в природе, %	Период полу-распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Применение
^{74}Se	73,922475	0,9	Стабилен		0		
^{75}Se	74,922521	0	118,5 дня	β^- (0,864); γ	5/2+	0,67	Метка, в медицине
^{76}Se	75,919212	9,2	Стабилен		0+		
^{77}Se	76,919912	7,6	Стабилен		1/2-	+0,535506	ЯМР
^{78}Se	77,9173	23,7	Стабилен		0+		
^{80}Se	79,916520	49,8	Стабилен		0+		
^{82}Se	81,916698	8,8	Стабилен		0+		

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):



$$6,93 \cdot 10^{-3}$$

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

$$2,98$$

Гиromагнитное отношение, рад/(Тл·с):

$$5,1018 \cdot 10^7$$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

$$19,092$$

Стандарт: $\text{Se}(\text{CH}_3)_2$

Основное электронное состояние: $[\text{Ar}]3d^{10}4s^24p^4$

Терм: 3P_2

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж / моль: 195,0

Основные линии

в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
196,026 (AA)	I
241,35	I
1032,726	I
1038,636	I
2144,256	I

**Энергии ионизации,
кДж/моль**

1. $M \rightarrow M^+$	940,9	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	7883
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	2044	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	14990
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2974	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(19500)
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	4144	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(23300)
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	6590	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(27200)

В окружающей среде

Биологическая роль

Важен для некоторых форм жизни, включая человека; стимулятор; канцероген; тератоген

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: (0,42-1,9) · 10^{-4}

Костная ткань, %: (1-9) · 10^{-4}

Кровь, мг/л: 0,171

Ежедневный прием с пищей: 0,006 - 0,2 мг

Токсическая доза: 5 мг

Летальная доза: данные отсутствуют

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 14 мг

Распространенность

Солнце (относительно $H = 1 \cdot 10^{12}$):
данные отсутствуют

Земная кора, %: $0,06 \cdot 10^{-4}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $0,46 \cdot 10^{-11}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: $1,8 \cdot 10^{-11}$

Тихий океан, в поверхностных слоях: $0,16 \cdot 10^{-11}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $1,66 \cdot 10^{-11}$

Время пребывания, лет: 3000

Геохимическая классификация:
возобновляется

Степень окисления: IV и VI, главным образом VI

Геологические

сведения

Основные источники: следы в некоторых сульфидных рудах; получается как побочный продукт электролитической очистки меди

Мировое производство, т/год: 1650

Запасы, т: данные отсутствуют

S

Атомный номер: 16
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 32,066

Химические свойства

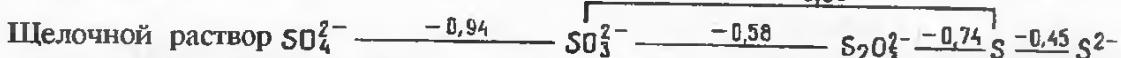
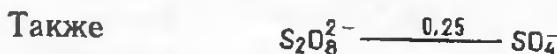
Радиус, пм: S^{4+} 37, S^{6+} 29, атомный 104 (S_8), ковалентный 104, вандерваальсов 185

Электроотрицательность: 2,58 (по Полингу), 2,44 (по Оллреду), 6,22 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 5,45 (по Слейтеру), 5,48 (по Клементи), 6,04 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	VI	V	IV	III	«II»	0	-II
		0,16		0,40			
Кислый раствор	SO_4^{2-}	$\xrightarrow{-0,07}$	$\text{S}_2\text{O}_6^{2-}$	$\xrightarrow{-0,57}$	H_2SO_3	$\xrightarrow{-0,07}$	HS_2O_4



Ковалентная связь	r, пм	E, кДж/моль
S-H	133,5	347
S-C	182	272
S=C	155	476
S-O	150	265
S=O	144	~525
S-F	156	328
S-Cl	199	255
S-S	208	226

Состояния окисления

S^{-II}	$\text{H}_2\text{S}, \text{S}^{2-}$	Полисульфиды S_n^{2-}
S^{-I}	H_2S_2 и т.д.	
S^0	S_6, S_8 и т.д.	
S^I	$\text{S}_2\text{O}, \text{S}_2\text{F}_2, \text{S}_2\text{Cl}_2$	
S^{II}	$\text{SF}_2, \text{SCl}_2$	
S^{III}	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	
S^{IV}	$\text{SO}_2, \text{SO}_3^{2-}(\text{aq}), \text{SF}_4, \text{SCl}_4, \text{SOCl}_2$	
S^V	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_6, \text{S}_2\text{F}_{10}$	
S^{VI}	$\text{SO}_3, \text{H}_2\text{SO}_4, \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ и т.д., $\text{SF}_6, \text{HSO}_3\text{F}, \text{SO}_2\text{Cl}_2$	

Физические свойства

Температура плавления, К: 386,0 (α), 392,2 (β), 380,0 (γ)

$\Delta H_{\text{пп}}$, кДж/моль: 1,23

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 9,62

Температура кипения, К: 717,824

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое (α)	0	0	31,80	22,64
Твердое (β)	0,33	д.о.	д.о.	д.о.
Газообразное	278,805	238,250	167,821	23,673

Плотность, кг/м³: 2070 (α), 1957 (β) [293 К]; 1819 [жидкость, 393 К]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 0,269 (α) [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $2 \cdot 10^{15}$ [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $-6,09 \cdot 10^{-9}$ (α); $-5,83 \cdot 10^{-9}$ (β)

Мольный объем, см³: 15,49

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $74,33 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

$\alpha\text{-S}_8$ орторомбическая ($a = 1046,46$, $b = 1286,60$, $c = 2448,60$); Fddd

$\beta\text{-S}_8$ моноклиническая ($a = 1102$, $b = 1096$, $c = 1090$, $\alpha = 96,7^\circ$); P2₁/c

$\gamma\text{-S}_8$ моноклинная ($a = 857$, $b = 1305$, $c = 823$, $\alpha = 112^\circ 54'$); P2₁/c

$\epsilon\text{-S}_6$ ромбоэдрическая ($a = 646$, $\alpha = 115^\circ 18'$); R3

Помимо перечисленных циклических форм существуют также колыца S_7 , S_{9-12} , S_{18} и S_{20} . Пластическая сера представляет собой длинные цепи S_n , для которых также известны χ , Ψ , Φ , μ и ω -формы.

$T(\alpha \rightarrow \beta) = 366,7$ К

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 89,1; MoK_α 9,55

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 0,52
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 11
Диапазон изотопных масс: 29→39

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полураспа- да $T_{1/2}$	Тип и энергия рас- пада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{32}S	31,972070	95,02	Стабилен		0+		
^{33}S	32,971456	0,75	Стабилен		3/2+	+0,64382	ЯМР
^{34}S	33,967866	4,21	Стабилен		0+		
^{35}S	34,969031	0	8,72 дня	β^- (0,1674); нет γ	3/2+	+1,00	Метка
^{36}S	35,967080	0,02	Стабилен		0+		

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):



$$2,26 \cdot 10^{-3}$$

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

$$0,0973$$

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):

$$2,0534 \cdot 10^7$$

Квадрупольный момент, м²:

$$-0,05 \cdot 10^{-28}$$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

$$7,760$$

Стандарт: CS_2

Основное электронное состояние: [Ne]3s²3p⁴

**Свойства
электронной
оболочки**

Терм: $^3\text{P}_2$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: 200,4

**Основные линии
в атомном спектре**

Длина волны, нм	Форма
545,38	II
547,36	II
550,97	II
560,61	II
565,99	II
792,40	I
964,99	I

**Энергии ионизации,
кДж/моль**

1. $M \rightarrow M^+$	999,6	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	8495
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	2251	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	27106
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	3361	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	31699
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	4564	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	36578
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	7013	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	43138

В окружающей среде

Биологическая роль

Важна для всех живых существ
Содержание в человеческом организме:
Мышечная ткань, %: 0,6 - 1,1
Костная ткань, %: 0,06 - 0,24
Кровь, мг/л: 1800
Ежедневный прием с пищей:
850 - 930 мг
Токсическая доза: нетоксичен
Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 140 г

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):
 $1,6 \cdot 10^{-1}$
Земная кора, %: $2,60 \cdot 10^{-2}$
Морская вода, %: $8,70 \cdot 10^{-2}$
Время пребывания, лет: $8 \cdot 10^6$
Геохимическая классификация: на-
капливается
Степень окисления: VI

**Геологические
сведения**

Основные источники: самородная сера, сульфидные руды металлов, например пирит [FeS_2]
Мировое производство, т/год: $54 \cdot 10^6$
Запасы, т: $2,6 \cdot 10^9$

Ag

Атомный номер: 47

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12.0000$): 107,8682

Химические свойства

Мягкий, ковкий металл с характерным серебристым блеском. Устойчив к действию воды и кислорода, но на воздухе взаимодействует с соединениями серы с образованием черного сульфидного слоя. Растворим в серной и азотной кислотах. Используется в фотографии, для изготовления серебряных монет, в ювелирном деле, электрической промышленности и для получения зеркал.

Радиус, пм: $\text{Ag}^+ 113$; $\text{Ag}^{2+} 89$; атомный 144,4; ковалентный 134

Электроотрицательность: 1,93 (по Полингу); 1,42 (по Оллреду); 4,44 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 4,20 (по Слейтеру); 8,03 (по Клементи); 11,35 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	III	II	I	0
		1,670		
Кислый раствор	$\text{Ag}_2\text{O}_3 \frac{1,360}{1,569}$	$\text{Ag}^{2+} \frac{1,980}{1,772}$	$\text{Ag}^+ \frac{0,7991}{1,398}$	$\text{Ag} \frac{1,173}{1,173}$
Щелочного раствора	$\text{Ag}_2\text{O}_3 \frac{0,793}{1,757}$	$\text{AgO} \frac{0,604}{1,711}$	$\text{Ag}_2\text{O} \frac{0,342}{\text{Ag}^+}$	Ag
		Ag_2O_2		

Состояния окисления

$\text{Ag}^0(\text{d}^{10}\text{s}^1)$	$\text{Ag}(\text{CO})_3$ редко, при 10 К
$\text{Ag}^+(\text{d}^{10})$	Ag_2O , $\text{Ag}(\text{OH})_2$ (aq), $\text{Ag}(\text{H}_2\text{O})_4^+$ (aq), AgF , AgCl и т.д., соли Ag^+ , например, AgNO_3 , Ag_2S , $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$ и др. комплексы
$\text{Ag}^{II}(\text{d}^9)$	AgF_2 , $[\text{Ag}(\text{C}_5\text{H}_5\text{N})_2]^+$, AgO - соединение не Ag^{II} , а $\text{Ag}^{I}\text{Ag}^{III}\text{O}_2$
$\text{Ag}^{III}(\text{d}^8)$	AgF_4^- (редко), AgF_6^{3-}

Температура плавления, К: 1235,08

Температура кипения, К: 2485

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж / моль: 11,3

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: 255,1

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	42,55	25,351
Газообразное	284,55	245,65	172,997	20,786

Плотность, кг / м³: 10500 [293 К]; 9345 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 429 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $1,59 \cdot 10^{-8}$ [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: $-2,27 \cdot 10^{-9}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 10,27

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $19,2 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

ГЦК ($a = 408,626$); Fm3m

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 218 MoK 25,8

Металл, известный со времен древних цивилизаций
[От англо-сакс. siolfur - серебро; лат. argentum]

Серебро
(Silver)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 63,6
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 46
Диапазон изотопных масс: 96 → 122

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распространенность в природе, %	Период полу-распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Применение
^{107}Ag	106,905092	51,84	Стабилен		1/2-	-0,1135	ЯМР
^{109}Ag	108,904757	48,16	Стабилен		1/2-	-0,1305	ЯМР
$^{110\text{M}}\text{Ag}$	109,906111	0	249,8 дня	β^- (-3) 99%, ИП 1%; γ	6+	+3,6047	Метка
^{111}Ag	110,905295	0	7,47 дня	β^- (1,037); γ	1/2+	-0,146	Метка

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):



$$1,01 \cdot 10^{-4}$$

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

$$6,62 \cdot 10^{-5}$$

$$0,195$$

$$0,276$$

Гиromагнитное отношение, рад/(Тл · с):

$$-1,0828 \cdot 10^7$$

$$-1,2448 \cdot 10^7$$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

$$4,046$$

$$4,652$$

Стандарт: $\text{Ag}^+(aq)$

Основное электронное состояние $[\text{Kr}]4\text{d}^{10}5\text{s}^1$

Терм $^2\text{S}_{1/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: 125,7

Основные линии в атомном спектре

Длина волн, нм	Форма
328,068 (AA)	I
338,289	I
520,908	I
546,550	I
827,352	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	731,0	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	(8600)
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	2073	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	(11200)
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	3361	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(13400)
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	(5000)	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(15600)
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	(6700)	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(18000)

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; предположительно канцероген; токсичен для низших организмов

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: $(0,009-0,28) \cdot 10^{-4}$

Костная ткань, %: $(0,01-0,44) \cdot 10^{-4}$

Кровь, мг/л: < 0,003

Ежедневный прием с пищей: 0,0014 · 0,08 mg

Токсическая доза: 60 mg

Летальная доза: 1,3 - 6,2 г

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): данные отсутствуют

Распространенность Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):

7,1

Земная кора, %: $0,07 \cdot 10^{-4}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: данные отсутствуют

Атлантический океан, в глубинных слоях: данные отсутствуют

Тихий океан, в поверхностных слоях: $1 \cdot 10^{-11}$

Тихий океан, в глубинных слоях:

$24 \cdot 10^{-11}$

Время пребывания, лет: 5000

Геохимическая классификация: Возобновляется

Степень окисления: I

Геологические сведения

Основные источники: аргентит (серебряный блеск) $[\text{Ag}_2\text{S}]$; также получается попутно с другими металлами, например медью

Мировое производство, т/год: 8950

Запасы, т: $\sim 10^6$

Sc

Атомный номер: 21

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 44,955910

Химические свойства

Мягкий, серебристо-белый металл. На воздухе покрывается оксидной пленкой и легко горит. Реагирует с водой с выделением газообразного водорода. С кислотами образует соли. Применяется мало.

Радиус, пм: Sc^{3+} 83, атомный 160,6, ковалентный 144

Электроотрицательность: 1,36 (по Полингу), 1,20 (по Оллреду), 3,34 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 3,00 (по Слейтеру), 4,63 (по Клементи), 6,06 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

III	0
Sc^{3+}	-2,03

Sc

Состояния окисления

Sc^{II}	(d ¹)	CsScCl_3
Sc^{III}	([Ar])	Sc_2O_3 , $\text{ScO} \cdot \text{OH}$, " Sc(OH)_3 ", Sc(OH)_6^{3-} , ScF_3 , ScCl_3 и т.д., ScF_6^{3-} , комплексы

Физические свойства

Температура плавления, К: 1814

Температура кипения, К: 3104

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: 15,9

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 304,8

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	34,64	25,52
Газообразное	377,8	336,03	174,79	22,09

Плотность, кг/м³: 2989 [273 К]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 15,8 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $61,0 \cdot 10^8$ [295 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $+8,8 \cdot 10^{-8}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 15,04

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $10,0 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

α -Sc гексагональная плотноупакованная ($a = 330,90$, $c = 527,3$);
 $P6_3/mmc$

β -Sc кубическая; $I\bar{m}3m$

$T(\alpha \rightarrow \beta) = 1223$ К

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 184; MoK_α 21,1

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 27,2
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 15
Диапазон изотопных масс: 40→51

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{44}Sc	43,959404	0	3,93 ч	β^- (3,655); γ	0+	+2,56	Метка
^{45}Sc	44,955910	100	Стабилен		7/2-	+4,756	ЯМР
^{46}Sc	45,955170	0	83,8 дня	β^- (2,367); γ	4+	+3,03	Метка
^{47}Sc	46,952408	0	3,42 дня	β^- (0,601); γ	7/2-	+5,34	Метка

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):

^{45}Sc

0,30

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

1710

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):

$6,4982 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²:

$-0,22 \cdot 10^{-28}$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

24,290

Стандарт: $\text{Sc}(\text{ClO}_4)_3$ (aq)

Основное электронное состояние: [Ar]3d¹4s²

Терм: $^2\text{D}_{3/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: 18,1

**Основные линии
в атомном спектре**

Длина волны, нм	Форма
361,384	I
363,075	II
390,749	I
391,181 (AA)	I
402,040	I
402,369	I

**Энергии ионизации,
кДж/моль**

1. $M \rightarrow M^+$	631	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	10720
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1235	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	13320
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2389	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	15310
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	7089	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	17369
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	8844	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	21740

**Свойства
электронной
оболочки**

В окружющей среде

Биологическая роль	Распространенность	Геологические сведения
Отсутствует; предположительно канцероген	Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$): 1100	Основной минерал: тортвейтит $[(\text{Sc}, \text{Y})_2\text{Si}_2\text{O}_7]$ (редок)
Содержание в человеческом организме:	Земная кора, %: $16 \cdot 10^{-4}$	Мировое производство, т/год: 0,06
Мышечная ткань, %: данные отсутствуют	Морская вода, %: $7,9 \cdot 10^{-11}$	Запасы, т: данные отсутствуют
Костная ткань, %: $\sim 1 \cdot 10^{-7}$	Атлантический океан, в поверхностных слоях: $6,1 \cdot 10^{-11}$	
Кровь, мг/л: ~0,008	Атлантический океан, в глубинных слоях: $8,8 \cdot 10^{-11}$	
Ежедневный прием с пищей: ~0,00006 мг	Тихий океан, в поверхностных слоях: $3,5 \cdot 10^{-11}$	
Токсическая доза: малотоксичен	Тихий океан, в глубинных слоях: $7,9 \cdot 10^{-11}$	
Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): данные отсутствуют	Время пребывания, лет: 5000	
	Геохимическая классификация: возобновляется	
	Степень окисления: III	

Sr

Атомный номер: 38
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 87,62

Химические свойства

Серебристо-белый, мягкий металл, получаемый высокотемпературным восстановлением SrO алюминием. В компактном состоянии защищен оксидной пленкой, но горит на воздухе и реагирует с водой. Применяется в специальных стеклах для телевизионной и видеоаппаратуры, в зарядах фейерверков и осветительных ракет для получения красного окрашивания.

Радиус, пм: Sr^{2+} 127, атомный 215,1 (α-форма), ковалентный 192

Электроотрицательность: 0,95 (по Полингу), 0,99 (по Оллреду), 2,0 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 2,85 (по Слейтеру), 6,07 (по Клементи), 8,09 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	II	0	-II
		-1,083	
Sr^{2+}	-2,89	Sr	0,718
$\text{SrO}(\text{hyd})$	-2,047		-0,665
SrO_2^{*}	2,333	Sr^{2+}	
SrO_2	1,492	$\text{SrO}(\text{hyd})$	

Состояния окисления

Sr^{II}	[Kr]	SrO , SrO_2 (пероксид), $\text{Sr}(\text{OH})_2$, $[\text{Sr}(\text{H}_2\text{O})_x]^{2+}(\text{aq})$, соли Sr^{2+} , SrF_2 , SrCl_2 и т.д., SrCO_3 , некоторые комплексы $\text{SrH}_2 = \text{Sr}^{2+}2\text{H}^-$
-------------------------	------	--

Физические свойства

Температура плавления, К: 1042

Температура кипения, К: 1657

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж / моль: 9,16

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: 138,91

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	52,3	26,4
Газообразное	164,4	130,9	164,62	20,786

Плотность, кг / м³: 2540 [293 К]; 2375 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 35,3 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $23,0 \cdot 10^{-8}$ [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: $+1,32 \cdot 10^{-8}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 34,50

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $23 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

α -Sr ГЦК ($a = 608,49$); Fm3m

β -Sr гексагональная плотноупакованная ($a = 432$, $c = 706$); P6₃/mmc

γ -Sr ОЦК ($a = 485$); Im3m

$T(\alpha \rightarrow \beta) = 506$ К; $T(\beta \rightarrow \gamma) = 813$ К

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 125; MoK_α 95,0

Идентифицирован как индивидуальный элемент в 1790 г. А. Крофордом (Эдинбург, Шотландия). Выделен в 1808 г. сэром Гемфри Дэви (Лондон, Англия) [Назван в честь *Strontian* - Шотландии]

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 1,2

Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 23

Диапазон изотопных масс: 79→98

Стронций (Strontium)

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Применение
^{82}Sr	81,918414	0	25,6 дня	Э3 (0,21)	0+		Метка
^{84}Sr	83,913430	0,56	Стабилен				
^{85}Sr	84,912937	0	64,8 дня	Э3 (1,08); γ	9/2+		Метка, в ме- дицине
^{86}Sr	85,909267	9,86	Стабилен		0+		
^{87}Sr	86,908884	7,00	Стабилен		9/2+	-1,093	ЯМР
^{88}Sr	87,905619	82,58	Стабилен		0+		
^{89}Sr	88,907450	0	50,52 дня	β^- (1,492); γ	5/2+		
^{90}Sr	89,907738	0	29 лет	β^- (0,546); нет γ	0+		Метка, в ме- дицине

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):



$$2,69 \cdot 10^{-3}$$

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

$$1,07$$

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):

$$-1,1593 \cdot 10^7$$

Квадрупольный момент, м²:

$$0,36 \cdot 10^{-28}$$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

$$4,333$$

Стандарт: $\text{Sr}^{2+}(\text{aq})$

Основное электронное состояние $[\text{Kr}]5s^2$

Терм 1S_0

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: -146

Основные линии

в атомном спектре

Длина волн, нм	Форма
407,771	II
421,552	II
460,733 (АА)	I
496,226	I
548,084	I
640,847	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	549,5	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	8760
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1064,2	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	10200
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	4210	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	11800
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	5500	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	15600
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	6910	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	17100

Свойства затратной оболочки

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; может замещать кальций

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: $(0,12-0,35) \cdot 10^{-4}$

Костная ткань, %: $(0,36-1,4) \cdot 10^{-2}$

Кровь, мг/л: 0,031

Ежедневный прием с пищей: 0,8 - 5 мг

Токсическая доза: нетоксичен

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 320 мг

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$): 790

Земная кора, %: $3,70 \cdot 10^{-2}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $7,6 \cdot 10^{-4}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: $7,7 \cdot 10^{-4}$

Тихий океан, в поверхностных слоях: $7,6 \cdot 10^{-4}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $7,7 \cdot 10^{-4}$

Время пребывания, лет: $4 \cdot 10^6$

Геохимическая
возобновляется

Степень окисления: II

Геологические сведения

Основные источники: целестин $[\text{SrSO}_4]$; стронцианит $[\text{SrCO}_3]$

Мировое производство, т/год: 137000

Запасы, т: данные отсутствуют

Sb

Атомный номер: 51

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 121,75

Химические свойства

Неметалл, существующий в различных аллотропных модификациях; металлическая форма блестящая, серебристая, твердая и хрупкая. Устойчив в сухом воздухе и не взаимодействует с разбавленными кислотами и щелочами. Используется для придачи прочности другим металлам, в аккумуляторных батареях, подшипниках и т.д.

Радиус, пм: Sb^{5+} 62, Sb^{3+} 89, ковалентный 141, атомный 182, вандерваальсов 220; Sb^{2-} 245

Электроотрицательность: 2,05 (по Полингу), 1,82 (по Оллреду), 4,85 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 6,30 (по Слейтеру), 9,99 (по Клементи), 12,37 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	V	IV	III	II	I	- III
Кислый раствор	Sb_2O_5	—	0,605	SbO^\cdot	0,204	Sb
Нейтральный раствор	Sb_2O_5	1,055	Sb_2O_4	0,342	Sb_4O_6	0,150
			0,699			-0,510
Щелочной раствор	Sb(OH)_6^-	—	-0,465	Sb(OH)_4^-	-0,639	Sb
					-1,338	SbH_3

Ковалентная связь	r , пм	E , кДж/моль
Sb-H	170,7	257
Sb-C	220	215
Sb-O	200	314
Sb-F	203	389
Sb-Cl	233	313
Sb-Sb	290	299

Состояния окисления

Sb^{III}	SbH_3
Sb^{III}	Sb_4O_6 , SbO_3^{3-} (aq), SbF_3 , SbCl_3 и т. д., $[\text{SbF}_5]^{2-}$, Sb_2S_3
Sb^{V}	$\text{Sb}_4\text{O}_{10}^{2-}$, $[\text{Sb}(\text{OH})_6]^{(aq)}$, SbF_5 , SbCl_5 , $[\text{SbCl}_6]$, $[\text{SbBr}_6]$

Физические свойства

Температура плавления, К: 903,89

Температура кипения, К: 1908

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: 20,9

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 67,91

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	45,69	25,23
Газообразное	262,3	222,1	180,27	20,79

Плотность, кг/м³: 6691 [293 К], 6483 (жидкость в т. пл.)

Теплопроводность, Вт/(м·К): 24,3 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $39,0 \cdot 10^{-8}$ [273 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $-1,0 \cdot 10^{-8}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 18,20

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $8,5 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

Серая ромбодиэдральная ($a = 430,84$; $c = 1124,7$), R³m

(Серая) кубическая ($a = 298,6$), Pm3m

Металлическая гексагональная плотноупакованная ($a = 336,9$; $c = 533$); P6₃/mmc

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 270; MoK_α 33,1

Известна, вероятно, уже в древности и хорошо знакома алхимикам

[От греч. anti + monos - не единственный; лат. stibium]

Сурьма
(Antimony)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 5,4

Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 40

Диапазон изотопных масс: 109→134

Ядерные
свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распрост- раненность в природе, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и энергия рас- пада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{121}Sb	120,903821	57,3	Стабилен		5/2+	+3,3592	ЯМР
^{122}Sb	121,905179	0	2,71 дня	β^- (1,982); β^+ ; γ	2-	-1,90	Метка
^{123}Sb	122,904216	42,7	Стабилен		7/2+	+2,5466	ЯМР
^{124}Sb	123,905038	0	60,4 дня	β^- (2,905); γ	3	$\pm 1,3$	Метка
^{125}Sb	124,905252	0	2,76 года	β^- (0,767); γ	1/2+	$\pm 2,61$	Метка

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$): ^{121}Sb [^{123}Sb]

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$): 0,16 $4,57 \cdot 10^{-2}$

Гиromагнитное отношение, рад/(Тл·с): 520 111

Квадрупольный момент, м²: $6,4016 \cdot 10^7$ $3,4668 \cdot 10^7$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц: -0,53 · 10⁻²⁸ $-0,68 \cdot 10^{-28}$

Стандарт: $\text{Et}_4\text{N}^+\text{SbCl}_6^-$ 23,930 12,959

Основное электронное состояние: [Kr]4d¹⁰5s²5p³

Терм: $^4\text{S}_{3/2}$

Средство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: 101

Свойства
зелектронной
обвадички

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
206,833	I
217,581	I
231,147	I
252,852	I
259,805	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	833,7	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	10400
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1794	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	(12700)
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2443	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(15200)
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	4260	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(17800)
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	5400	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(20400)

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; токсична; стимулятор

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: (0,42 - 19,1) · 10⁻⁶

Костная ткань, %: (0,01 - 0,6) · 10⁻⁴

Кровь, мг/л: 0,0033

Ежедневный прием с пищей:

0,002 - 1,3 мг

Токсическая доза: 100 мг

Летальная доза: данные отсутствуют

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): данные отсутствуют, но невелико

Распространенность

Солнце (относительно $H = 1 \cdot 10^{12}$):

10

Земная кора, %: $0,2 \cdot 10^{-4}$

Морская вода, %: $\sim 0,3 \cdot 10^{-7}$

Время пребывания, г: $\sim 3,5 \cdot 10^5$

Геохимическая классификация: на-
капливается

Степень окисления: III

Геологические

сведения

Основные руды и источники: стиб-
нит [Sb_2S_3], ульманит [NiSbS]

Мировое производство, т/год:
53000

Запасы, т: $2,5 \cdot 10^6$

Tl**Атомный номер: 81****Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 204,3833****Химические свойства**

Мягкий, серебристо-серый металл. Во влажном воздухе быстро покрывается оксидной пленкой, с водяным паром образует TlOH . Реагирует с кислотами, с HNO_3 мгновенно. Применяется мало из-за токсичности, но тем не менее используется в специальных стеклах.

Радиус, пм: Tl^+ 149, Tl^{3+} 105, атомный 170,4 (α-форма), ковалентный 155

Электроотрицательность: 1,62 (Tl^I) 2,04 (Tl^{III}) (по Полингу), 1,44 (по Оллреду), 3,2 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 5,00 (по Слейтеру), 12,25 (по Клементи), 13,50 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	III	I	0
Кислый раствор	Tl^{3+} — 1,25 0,72	Tl^+ — 0,3363	Tl

Ковалентная связь	r , пм	E , кДж/моль
$\text{Tl}^I\text{-H}$	187,0	185
$\text{Tl}^{III}\text{-C}$	230	125
$\text{Tl}^{III}\text{-O}$	226	375
$\text{Tl}^{III}\text{-F}$	195	460
$\text{Tl}^{III}\text{-Cl}$	248	368
Tl-Tl	340,8	~63

Состояния окисления

Tl^I	(s ²)	Tl_2O , TlOH , Tl_2CO_3 , $[\text{Tl}(\text{H}_2\text{O})_6]^{+}(\text{aq})$, соли Tl^+ , TlF , TlCl и т.д.
Tl^{III}	(d ¹⁰)	Tl_2O_3 , $[\text{Tl}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}(\text{aq})$, TlF_3 , TlCl_3 , TlBr_3 , $(\text{CH}_3)_2\text{Tl}^+(\text{aq})$, TlCl_6^{3-}

Физические свойства

Температура плавления, К: 576,7

Температура кипения, К: 1730

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: 4,31

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 162,1

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p° , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	64,18	26,32
Газообразное	182,21	147,41	180,963	20,786

Плотность, кг/м³: 11850 [293 К]; 11290 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 46,1 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $18,0 \cdot 10^{-8}$ [273 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $-3,13 \cdot 10^{-9}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 17,24

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $28 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

α -Tl гексагональная ($a = 345,6$, $c = 552,5$); $P6_3/mmc$

β -Tl кубическая ($a = 388,2$); $Im3m$

γ -Tl ГЦК ($a = 485,1$); $Fm3m$

T ($\alpha \rightarrow \beta$) = 503 К

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 224; MoK_α 119

Открыт в 1861 г. У. Круксом (Лондон, Англия); выделен в 1862 г. К.-А. Лэми (Париж, Франция)
[От греч. *thallos* - зеленый]

Таллий (Thallium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 3,4
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 41
Диапазон изотопных масс: 184→210

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полу- ненности в распаде $T_{1/2}$	Тип и энергия рас- пада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{203}Tl	202,972 320	29,52	Стабилен		$1/2^+$	+1,6222	ЯМР
^{204}Tl	203,972 320	0	3,78 года	β^- (0,763) 97%; ЭЗ (0,345) 3%; γ	2-	-0,06	Метка
^{207}Tl	204,974,401	70,48	Стабилен		$1/2^+$	+1,6382	ЯМР
^{208}Tl	207,981988	Следы	3,052 мин	β^- (4,994); γ	5+		

ЯМР

[^{203}Tl]

^{205}Tl

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$): 0,18

0,19

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$): 289

769

Гиromагнитное отношение, рад/(Тл·с): $15,3078 \cdot 10^7$

$15,4584 \cdot 10^7$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц: 57,149

57,708

Стандарт: TlNO_3 (aq)

Основное электронное состояние: $[\text{Xe}]4\text{f}^{14}5\text{d}^{10}6\text{s}^26\text{p}^1$

Терм: $^2\text{P}_{1/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж / моль: ~20

Свойства электронной оболочки

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
276,787 (AA)	
291,832	
351,924	
352,943	
377,572	
535,046	

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	589,3	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	(8300)
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1971,0	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	(9500)
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2878	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(11300)
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	(4900)	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(14000)
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	(6100)	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(16000)

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; тератоген
Содержание в человеческом организме:
Мышечная ткань, %: $7 \cdot 10^{-6}$
Костная ткань, %: $2 \cdot 10^{-7}$
Кровь, мг/л: 0,00048
Ежедневный прием с пищей: 0,0015
мг
Токсическая доза: данные отсутствуют
Летальная доза: 600 мг
Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): данные отсутствуют

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):
8,0
Земная кора, %: $0,6 \cdot 10^{-4}$
Морская вода, %: $1,4 \cdot 10^{-9}$
Время пребывания, лет: 10 000
Геохимическая классификация: на-
капливается
Степень окисления: I

Геологические сведения

Основные источники: встречается редко; в виде включений в поташе, полевом шпатае, полулуните; побочный продукт плавки цинка и свинца
Мировое производство, т/год: 30
Запасы, т: данные отсутствуют

Ta

Атомный номер: 73
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 180,9479

Химические свойства

Блестящий, серебристый металл; в чистом виде мягкий. В высокой степени устойчив к коррозии благодаря оксидной пленке; взаимодействует с HF и расплавами щелочей. Используется в электронике, производстве режущего и хирургического инструмента, оборудования для химической промышленности.

Радиус, пм: Ta³⁺ 72, Ta⁴⁺ 68, Ta⁵⁺ 64, атомный 143, ковалентный 134

Электроотрицательность: 1,5 (по Полингу), 1,33 (по Оллреду), 4,11 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 3,30 (по Слейтеру), 9,53 (по Клементи), 13,78 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

V	-0,81	0
Ta ₂ O ₅		Ta

Состояния окисления

Ta ^{III}	(d ⁸)	[Ta(CO) ₅] ³⁻
Ta ^I	(d ⁶)	[Ta(CO) ₆] ⁺
Ta ^I	(d ⁴)	[C ₆ H ₅]Ta(CO) ₄]
Ta ^{II}	(d ³)	TaO ?
Ta ^{III}	(d ²)	TaF ₃ , TaCl ₃ , TaBr ₃
Ta ^{IV}	(d ¹)	TaO ₂ , TaCl ₄ , TaBr ₄ , TaI ₄
Ta ^V	(d ¹⁰ , f ¹⁴)	Ta ₂ O ₅ , [Ta ₆ O ₁₉] ⁸⁻ (aq), TaF ₅ , TaCl ₅ , TaF ₆ ⁻ , TaF ₇ ²⁻ , TaOF ₃ , TaO ₂ F

Физические свойства

Температура плавления, К: 3269

Температура кипения, К: 5698±100

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: 31,4

$\Delta H_{\text{ исп}}$, кДж/моль: 753,1

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p° , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	41,51	25,36
Газообразное	782,0	739,3	185,214	20,857

Плотность, кг/м³: 16654 [293 К]; 15000 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 57,5 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $12,45 \cdot 10^{-8}$ [298 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $+1,07 \cdot 10^{-8}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 10,87

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $6,6 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

ОЦК ($a = 330,29$); Im3m

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 166; MoK_α 95,4

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 20,5
 Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 28
 Диапазон изотопных масс: 159→186

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростра- ненность природе, %	Период полу- в распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{180}Ta	179,947462	0,012			9-		
^{181}Ta	180,947992	99,988	Стабилен		7/2+	+2,370	ЯМР
^{182}Ta	181,950149	0	114,5 дня	β^- (1,811); γ	3-	2,6	Метка

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$): $3,60 \cdot 10^{-2}$
 Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$): 204
 Гиromагнитное отношение, рад/(Тл·с): $3,2073 \cdot 10^7$
 Квадрупольный момент, м²: $3 \cdot 10^{-28}$
 Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц: 11,970
 Стандарт: TaF_6^- (aq)

Основное электронное состояние: $[\text{Xe}]4f^{14}5d^36s^2$

Терм: $^4\text{F}_{3/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж / моль: 14

**Свойства
зелекронной
оболочки**

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
240,063	II
264,747	I
265,327	I
271,467 (AA)	I
285,098	I
301,254	II

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	761	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	(1500)	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	(2100)	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	(3200)	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	(4300)	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует
 Содержание в человеческом организме:
 Мышечная ткань, %: данные отсутствуют, но невелико
 Костная ткань, %: ~ $0,03 \cdot 10^{-4}$
 Кровь, мг/л: данные отсутствуют, но невелико
 Ежедневный прием с пищей: 0,001 мг
 Токсическая доза: данные отсутствуют
 Летальная доза: 300 мг (для крысы)
 Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): данные отсутствуют, но невелико

Распространенность

Солнце (относительно Н = $1 \cdot 10^{12}$):
 данные отсутствуют
 Земная кора, %: $2 \cdot 10^{-4}$
 Морская вода, %: $2 \cdot 10^{-10}$
 Время пребывания, лет: данные отсутствуют
 Степень окисления: V

Геологические сведения

Основные минералы и источники: танталит $[(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Ta}_2\text{O}_6]$; получают главным образом как побочный продукт при извлечении олова
 Мировое производство, т/год: 840
 Запасы, т: данные отсутствуют

Te

Атомный номер: 52
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 127,60

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Неметалл, в слитке серебристо-белый, похожий на металл, но обычно получается в виде темно-серого порошка. На воздухе или в кислороде горит. Не взаимодействует с водой и HCl , но растворяется в HNO_3 . Используется в сплавах для улучшения механических свойств, для получения химических реагентов, катализаторов, в электронике.

Радиус, пм: Te^{4+} 97, Te^{6+} 56, атомный 143,2, ковалентный 137, вандерваальсов 220, Te^{2-} 211

Электроотрицательность: 2,1 (по Полингу), 2,01 (по Оллреду), 5,49 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 6,95 (по Слейтеру), 10,81 (по Клементи), 13,51 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	VI	IV	0	-I	-II
Кислый раствор	H_2TeO_4 0,93 1,00	Te^{4+} 0,57 TeO_2 0,53	Te -0,74	Te_2^{2-} -0,64	H_2Te
Щелочной раствор	TeO_4^{2-} 0,07	TeO_3^{2-} -0,42	Te	-1,14	Te^{2-}

Ковалентная связь	r , пм	E , кДж/моль
Te-H	~170	~240
Te-C	205	
Te-O	200	268
Te-F	185	335
Te-Cl	231	251
Te-Te	286	235

Состояния окисления

Te^{II}	H_2Te , Te^{2-}
Te^{I}	Te^{2-}
$\text{Te}^{0\text{-I}}$	Te_4^{2+} , Te_6^{4+}
Te^{II}	TeO , TeCl_2 , TeBr_2
Te^{IV}	TeO_2 , H_2TeO_3 , TeO_3^{2-} (aq), TeF_4 , TeCl_4 , TeF_5
Te^{V}	Te_2F_{10}
Te^{VI}	TeO_3 , H_2TeO_4 , TeO_4^{2-} (aq), H_6TeO_6 , TeF_6 , TeF_8^{2-}

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Температура плавления, К: 722,7

Температура кипения, К: 1263,0

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: 13,5

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 50,63

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	49,71	25,73
Газообразное	196,73	157,08	182,74	20,786

Плотность, кг/м³: 6240 [293 К]; 5797 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 2,35 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $4,36 \cdot 10^{-3}$ [298 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $-3,9 \cdot 10^{-9}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 20,45

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $16,75 \cdot 10^{-5}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

Гексагональная ($a = 445,65$; $c = 592,68$); $\text{P}3_1\bar{2}1$ или $\text{P}3_2\bar{2}1$

Фазы высокого давления: ($a = 420,8$, $c = 1203,6$); $\text{R}\bar{3}\text{m}$

($a = 460,3$, $c = 382,2$); $\text{R}\bar{3}\text{m}$

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 282; MoK_α 35,0

Открыт в 1783 г. бароном Ференцем Иожефом Мюллером фон Рейхенштейном (Сибири, Румыния)
[От лат. *tellus* - земля]

Теллур (Tellurium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 5,4
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 39
Диапазон изотопных масс: 108→137
Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распространенность в природе, %	Период полу-распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Применение
^{120}Te	119,904048	0,009	Стабилен		0+		
^{122}Te	121,903054	2,57	Стабилен		0+		
^{123}Te	122,904271	0,89	$1,3 \cdot 10^{13}$ лет	Э3 (0,052); нет γ	$1/2+$	-0,7359	ЯМР
^{124}Te	123,902823	4,76	Стабилен		0+		
^{125m}Te	124,904433	0	58 дней	ИП (0,145); γ	$11/2-$	+0,7	Метка
^{125}Te	124,904433	7,10	Стабилен		$1/2+$	-0,8871	ЯМР
^{126}Te	125,903314	18,89	Стабилен		0+		
^{127}Te	126,905227	0	9,5 ч	β^- (0,697); γ	$3/2+$		Метка
^{128}Te	127,904463	31,73	Стабилен		0+		
^{130}Te	129,906229	33,97	$2,4 \cdot 10^{21}$ лет		0		

ЯМР

[^{123}Te]

^{125}Te

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):

$3,15 \cdot 10^{-2}$

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

12,5

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):

$-8,4398 \cdot 10^7$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

26,207

31,596

Стандарт: $\text{Te}(\text{CH}_3)_2$

Основное электронное состояние: [Kr]4d¹⁰5s²5p⁴

Терм: $^3\text{P}_2$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж / моль: 190,2

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
200,202	I
214,281 (AA)	I
972,274	I
1005,141	I
1108,956	I
1148,723	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	869,2	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	6822
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1795	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	13200
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2698	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(15800)
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	3610	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(18500)
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	5668	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(21200)

Биологическая роль

Отсутствует; тератоген

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: $1,7 \cdot 10^{-6}$?

Костная ткань, %: данные отсутствуют

Кровь, мг/л: 0,0055 ?

Ежедневный прием с пищей: 0,6 мг ?

Токсическая доза: 0,25 мг

Летальная доза: 2 г

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): данные отсутствуют

Распространенность

Солнце (относительно $H = 1 \cdot 10^{12}$):

данные отсутствуют

Земная кора, %: $\sim 0,5 \cdot 10^{-6}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $1,6 \cdot 10^{-11}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: $0,7 \cdot 10^{-11}$

Тихий океан, в поверхностных слоях: $1,9 \cdot 10^{-11}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $1,7 \cdot 10^{-11}$

Время пребывания, лет: данные отсутствуют

Геохимическая классификация: выделяется

Степень окисления: IV и VI, главным образом VI

Геологические сведения

Основные источники: ряд редко встречающихся минералов, например теллурит [TeO_2]; получается из анодного шлама при очистке меди

Мировое производство, т/год: 216

Запасы, т: данные отсутствуют

Свойства электронной оболочки

Электронная оболочка

Электронная оболочка

Tb

Атомный номер: 65
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 158,92534

Химические свойства

Серебристо-белый металл семейства редкоземельных, один из редких среди этих элементов. Медленно окисляется на воздухе, реагирует с холодной водой. Применяется в твердотельных устройствах и лазерах.

Радиус, пм: Tb³⁺ 93, Tb⁴⁺ 81, атомный 178,2, ковалентный 159

Электроотрицательность: д.о. (по Полингу), 1,10 (по Оллреду), ≤ 3,2 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 2,85 (по Слейтеру), 8,30 (по Клементи), 11,39 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	IV		III		0
Кислый раствор	Tb ⁴⁺	3,1	Tb ³⁺	-2,31	Tb
Щелочного раствора	TbO ₂	0,9	Tb(OH) ₃	-2,82	Tb

Состояния окисления

Tb ^{III}	(f ⁸)	Tb ₂ O ₃ , Tb(OH) ₃ , [Tb(H ₂ O) _x] ³⁺ (aq), TbF ₃ , TbCl ₃ и т.д., Tb ³⁺ соли, комплексы
Tb ^{IV}	(f ⁷)	TbO ₂ , TbF ₄

Физические свойства

Температура плавления, К: 1629

Температура кипения, К: 3396

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж / моль: 16,3

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: 391

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p° , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	73,22	28,91
Газообразное	388,7	349,7	203,58	24,56

Плотность, кг / м³: 8229 [293 К]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 11,1 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $114 \cdot 10^{-8}$ [298 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: $+1,15 \cdot 10^{-5}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 19,31

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $7,0 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

Tb ромбическая ($a = 359,0$, $b = 626,0$, $c = 571,5$); Стм

α -Tb гексагональная плотноупакованная ($a = 360,10$, $c = 569,36$); Р6₃/mmc

β -Tb ОЦК ($a = 402$); Im3m

T ($\alpha \rightarrow$ ромбическая) = 220 К; T ($\alpha \rightarrow \beta$) = 1590 К

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 273; MoK_α 67,5

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 23
 Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 31
 Диапазон изотопных масс: 145→165

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распространенность в природе, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип распада	Энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Применение
^{159}Tb	158,925342	100	Стабилен			3/2+	+1,95	ЯМР
^{160}Tb	159,927163	0	72,4 дня	β^- (1,834); γ		3-		Метка

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):	^{159}Tb	$5,83 \cdot 10^{-2}$
Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):		$3,94 \cdot 10^2$
Гиromагнитное отношение, рад/(Тл·с):		$6,4306 \cdot 10^7$
Квадрупольный момент, м ² :		$1,3 \cdot 10^{-28}$
Частота ($^1\text{H} = 1,00$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:		22,678

Основное электронное состояние: $[\text{Xe}]4f^96s^2$

Терм: $^6\text{H}_{15/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: ≤ 50

**Свойства
электронной
оболочки**

Основные линии

в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
332,440	II
350,917	II
356,852	II
367,635	II
370,286	II
384,873	II
387,417	II
432,643 (AA)	I

**Энергии ионизации,
кДж/моль**

1. $M \rightarrow M^+$	564,6	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1112	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2114	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	3839	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$		10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; малотоксичен
 Содержание в человеческом организме: д.о., но невелико

Распространенность

Солнце (относительно $H = 1 \cdot 10^{12}$):
 данные отсутствуют

Земная кора, %: $1,1 \cdot 10^{-4}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $1 \cdot 10^{-11}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: $1,5 \cdot 10^{-11}$

Тихий океан, в поверхностных слоях: $0,8 \cdot 10^{-11}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $2,5 \cdot 10^{-11}$

Время пребывания, лет: данные отсутствуют

Геохимическая классификация:
 возобновляется

Степень окисления: III

Геологические сведения

Основные минералы и источники:
 монацит $[(\text{Ce}, \text{La}, \dots) \text{PO}_4]$
 Мировое производство, т/год: ~100
 Запасы, т: $\sim 10^8$

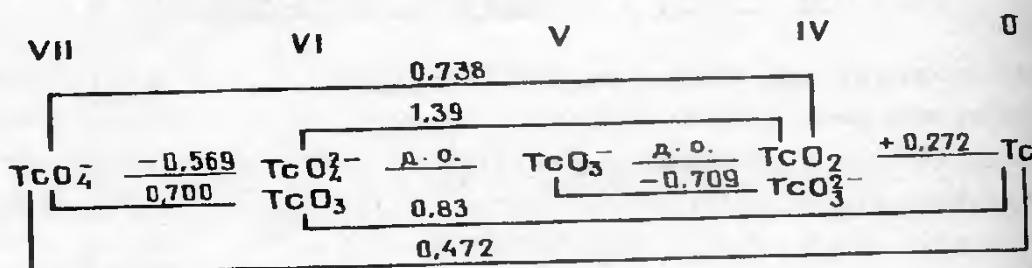
Tc**Атомный номер: 43****Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 98,9062****Химические
свойства**

Радиоактивный металл, не встречающийся в природе. В слитке имеет серебристый цвет, но обычно получается в виде серого порошка. Устойчив к окислению, во влажном воздухе медленно покрывается оксидной пленкой, в кислороде горит, растворяется в азотной и серной кислотах.

Радиус, пм: Tc^{2+} 95, Tc^{4+} 72, Tc^{7+} 56, атомный 135,8

Электроотрицательность: 1,9 (по Полингу), 1,36 (по Оллреду), 3,91 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 3,60 (по Слейтеру), 7,23 (по Клементи), 10,28 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В**Состояния окисления**

Tc^{-1}	(d ⁸)	$[\text{Tc}(\text{CO})_5]$
Tc^0	(d ⁷)	$\text{Tc}_2(\text{CO})_{10}$
Tc^{IV}	(d ³)	TcO_2 , TcO_3^{2-} (aq), TcCl_4 , комплексы
Tc^V	(d ²)	TcO_3^- (aq), TcCl_5 , комплексы
Tc^{VI}	(s ¹)	TcO_3 ? ?, TcF_6 , TcOCl_4 , комплексы
Tc^{VII}	(d ⁰ , [Kr])	Tc_2O_7 , TcO_4 (aq), TcO_3Cl , комплексы

**Физические
свойства**

Температура плавления, К: 2445

Температура кипения, К: 5150

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж / моль: 23,81

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: 585,22

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	д.о.	25
Газообразное	678	д.о.	181,07	20,79

Плотность, кг / м³: 11500 (оценка) [293 К]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 50,6 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $22,6 \cdot 10^{-8}$ [393 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: $+3,1 \cdot 10^{-8}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 8,6 (оценка)

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $8,06 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

Гексагональная плотноупакованная ($a = 274,3$, $c = 440,0$); $P6_3/mmc$

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 172; MoK_α 19,7

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 22 (^{99}Tc)
 Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 25
 Диапазон изотопных масс: 90→108

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{97}Tc	96,906364	0	$2,6 \cdot 10^6$ лет	Э3 (0,32)	$9/2^+$		
^{98}Tc	97,907215	0	$4,2 \cdot 10^6$ лет	β^- (1,79); γ	6^+		
^{99}Tc	98,906254	0	$2,13 \cdot 10^5$ лет	β^- (0,293); нет γ	$9/2^+$	+5,6847	ЯМР
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	98,906254	0	6,01 ч	ИП (0,142); γ	$1/2^-$		Метка, в медицине

ЯМР

^{99}Tc

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

Гиromагнитное отношение, рад/(Тл·с):

$6,0503 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²:

$-0,13 \cdot 10^{-28}$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

22,508

Стандарт: TcO_4 (aq)

Основное электронное состояние: $[\text{Kr}]4d^55s^2$

Терм: $^6S_{5/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: 96

**Свойства
заселенной
оболочки**

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
403,163	I
409,567	I
426,227	I
429,706	I
485,359	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	702	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	(7300)
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1472	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	(9100)
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2850	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(15600)
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	(4100)	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(17800)
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	(5700)	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(19900)

Биологическая роль

Отсутствует; обычно в природе не встречается, но должен быть токсичен из-за радиоактивности
 Содержание в человеческом организме: нулевое

Распространенность

Солнце (относительно $H = 1 \cdot 10^{12}$):
 данные отсутствуют
 Земная кора, %: нет
 Морская вода, %: нет

Геологические сведения

Основные источники: получается в
 количестве нескольких тонн при
 распаде ядерного топлива

Ti

Атомный номер: 22
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 47,88

Химические свойства

Твердый, блестящий, серебристый металл. Устойчив к коррозии благодаря оксидной пленке, но при измельчении в порошок горит на воздухе. Не взаимодействует почти со всеми кислотами (за исключением HF , H_3PO_4 и концентрированной H_2SO_4) и щелочами. Белый диоксид TiO_2 используется в красках. Металл применяется в оборудовании для химической промышленности, легких сплавах, остеопротезах и т.д.

Радиус, пм: Ti^{2+} 80, Ti^{3+} 69, атомный 144,8, ковалентный 132

Электроотрицательность: 1,54 (по Полингу), 1,32 (по Оллреду), 3,45 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 3,15 (по Слейтеру), 4,82 (по Клементи), 6,37 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	IV	III	II	I
		-0,86		
			-1,21	
Кислый раствор	TiO^{2+} 0,1	Ti^{3+} -0,37	Ti^{2+} -1,63	Ti
	TiO_2 -0,56	Ti_2O_3 -1,23	TiO -1,31	
Шелочный раствор	TiO_2 -1,38	Ti_2O_3 -1,95	TiO -2,13	Ti

Состояния окисления

Ti^{-1}	(d ⁵)	$[\text{Ti}(\text{дипиридинил})_3]^-$ (редко)
Ti^0	(d ⁴)	$[\text{Ti}(\text{дипиридинил})_3]$ (редко)
Ti^{II}	(d ²)	TiO , TiCl_2 , TiBr_2 , Til_2 , в растворе не существует (восстанавливает H_2O); комплексы
Ti^{III}	(d ¹)	Ti_2O_3 , $[\text{Ti}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ (aq), TiF_3 , TiCl_3 и т.д., комплексы
Ti^{IV}	([Ar])	TiO_2 , TiO^{2+} (aq), $[\text{Ti}(\text{OH})_3]^{2+}$ (aq), TiF_4 , TiCl_4 и т.д., титанаты (TiO_4^{4-} , TiO_3^{2-}), комплексы

Температура плавления, К: 1933

Температура кипения, К: 3560

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: 20,9

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 428,9

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p° , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	30,63	25,02
Газообразное	469,9	425,1	180,298	24,430

Плотность, кг/м³: 4540 [293 К]; 4110 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 21,9 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $42,0 \cdot 10^{-8}$ [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $+4,01 \cdot 10^{-8}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 10,55

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $8,35 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

α -Ti гексагональная плотноупакованная ($a = 295,11$, $c = 468,43$); $\text{P}6_3/\text{mmc}$

β -Ti ОЦК ($a = 330,65$); $\text{Im}3\text{m}$

T ($\alpha \rightarrow \beta$) = 1155 К

Фаза высокого давления: ($a = 462,5$, $c = 281,3$); $\text{P}3\text{m}1$

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 208; MoK_α 24,2

Открыт в 1791 г. У. Грегором (Крид, Корнуолл, Англия) и независимо в 1795 г. М.Ф. Клапротом (Берлин, Германия)
[Назван в честь титанов, сыновей богини Геи]

Титан
(Titanium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 6,1
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 13
Диапазон изотопных масс: 41→53

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{44}Ti	43,959689	0	47 лет	Э3 (0,265); γ	0+		Метка
^{46}Ti	45,952629	8,0	Стабилен		0+		
^{47}Ti	46,951764	7,43	Стабилен		5/2-	-0,7885	ЯМР
^{48}Ti	47,947947	73,8	Стабилен		0+		
^{49}Ti	48,947871	5,5	Стабилен		7/2-	-1,0417	ЯМР
^{50}Ti	49,944792	5,4	Стабилен		0+		

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):	$2,09 \cdot 10^{-3}$	^{47}Ti	^{49}Ti
Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):	0,864		1,18
Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):	$1,5084 \cdot 10^7$		$1,5080 \cdot 10^7$
Квадрупольный момент, м ² :	$+0,29 \cdot 10^{-28}$		$+0,24 \cdot 10^{-28}$
Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:	5,637		5,638
Стандарт: TiF_6^{2-} (конц. HF)			

Основное электронное состояние: [Ar]3d²4s²

Терм: $^3\text{F}_2$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: 7,6

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
323,452	II
334,941	II
336,121	II
364,268	I
365,350 (AA)	I
399,864	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	658	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	11516
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1310	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	13590
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2652	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	16260
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	4175	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	18640
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	9573	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	20830

**Свойства
электронной
области**

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; стимулятор; предположительно канцероген

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: $(0,9\text{-}2,2) \cdot 10^{-4}$

Костная ткань, %: данные отсутствуют

Кровь, мг/л: 0,054

Ежедневный прием с пищей: 0,8 мг

Токсическая доза: малотоксичен

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): данные отсутствуют

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$): $1,12 \cdot 10^6$

Земная кора, %: 0,56

Морская вода, %: $4,8 \cdot 10^{-8}$

Время пребывания, лет: данные отсутствуют

Степень окисления: IV

Геологические сведения

Основные руды: ильменит [FeTiO_3],

рутит [TiO_2], титанит [CaTiSiO_5]

Мировое производство TiO_2 , т/год: 3·10⁶

Мировое производство металлич.

Ti , т/год: 99000

Запасы, т: $440 \cdot 10^6$

Th

Атомный номер: 90
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 232,0381

Химические свойства

Радиоактивный, серебристый металл. Защищен оксидной пленкой. Взаимодействует с водяным паром и медленно с кислотами. Чистый металл мягок и пластичен, но сплавы могут быть очень твердыми. Используется в преломляющих материалах, ядерных топливных элементах, непроницаемых для газов оболочках.

Радиус, пм: Th^{3+} 101, Th^{4+} 99, атомный 179,8

Электроотрицательность: 1,3 (по Полингу), 1,11 (по Оллреду)

Эффективный заряд ядра: 1,95 (по Слейтеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	IV	0
Кислый раствор	Th^{4+} -1,83	Th
Щелочной раствор	ThO_2 -2,56	Th

Состояния окисления

Th^{II}	(d ²)	ThO, ThH_2
Th^{III}	(d ¹)	ThI_3
Th^{IV}	([Rn])	ThO_2 , $[\text{Th}(\text{H}_2\text{O})_x]^{4+}(\text{aq})$, ThF_4 , ThCl_4 и т.д., ThF_7^{3-} , соли Th^{4+} , комплексы

Физические свойства

Температура плавления, К: 2023

Температура кипения, К: ~5060

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж / моль: < 19,2

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: 543,9

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	53,39	27,32
Газообразное	598,3	557,53	190,15	20,79

Плотность, кг / м³: 11720 [293 К]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 54,0 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $13,0 \cdot 10^{-8}$ [273 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: $+7,2 \cdot 10^{-9}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 19,80

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $12,5 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

α -Th ГЦК ($a = 508,42$); Fm3m

β -Th ОЦК ($a = 411$); Im3m

$T(\alpha \rightarrow \beta) = 1673$ К

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 327; MoK_α 143

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 7,4
 Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 25
 Диапазон изотопных масс: 212→236

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{228}Th	228,028715	Следы	1,913 года	α (5,520); γ	0+		
^{229}Th	229,031755	0	7300 лет	α (5,168); γ	5/2+	+0.46	ЯМР
^{230}Th	230,033127	Следы	75400 лет	α (4,771); γ	0+		
^{231}Th	231,036298	Следы	25,5 ч	β^- (0,389); γ	5/2+		
^{232}Th	232,038054	100	$1,4 \cdot 10^{10}$ лет	α (4,081); γ	0+		Метка
^{234}Th	234,036593	Следы	24,1 дня	β^- (0,270); γ	0+		

ЯМР

^{229}Th

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):

$0,40 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²:

$4,4 \cdot 10^{-28}$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

1,5

Основное электронное состояние: [Rn]6d²7s²

Терм: $^3\text{F}_2$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: данные отсутствуют

**Основные линии
в атомном спектре**

Длина волны, нм	Форма
339,204	II
346,992	II
374,118	II
401,914	II
438,186	II

**Энергии ионизации,
кДж/моль**

1. $M \rightarrow M^+$	587	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1110	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	1978	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	2780	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$		10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$

**Свойства
захватывающей
облачки**

В захватывающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; представляет некоторую опасность из-за радиоактивности

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: данные отсутствуют

Костная ткань, %: $(0,2\text{--}1,2) \cdot 10^{-6}$

Кровь, мг/л: 0,00016

Ежедневный прием с пищей: 0,00005 - 0,003 мг

Токсическая доза: малотоксичен

Летальная доза: данные отсутствуют

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): данные отсутствуют

**Распространенность
Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):**

~2

Земная кора, %: $12 \cdot 10^{-4}$

Морская вода, %: $9,2 \cdot 10^{-10}$

Время пребывания, лет: 50

Геохимическая классификация: выводится

Степень окисления: IV

**Геологические
сведения**

Основные минералы и источники: монацитовый песок $\{(Ce, La, Nd, Th)PO_4\}$; включения в пегматитах, цирконе и сфене
 Мировое производство ториевого концентрата, т/год: 31 000
 Запасы, т: $3,3 \cdot 10^6$

Tm

Атомный номер: 69
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12.0000$): 169,93421

Химические свойства

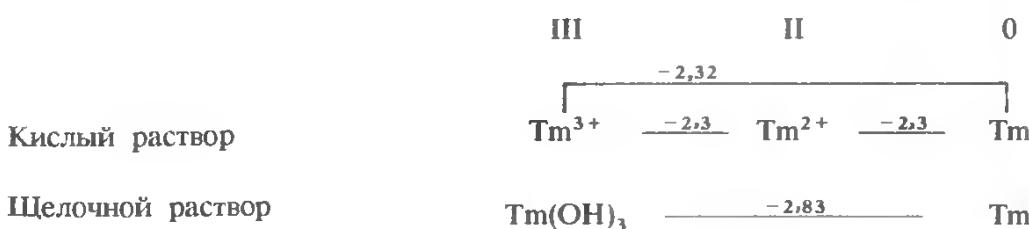
Серебристый металл, наиболее редкий из семейства редкоземельных. Медленно окисляется на воздухе, реагирует с водой. Применяется мало, в основном как источник радиации в портативном рентгеновском оборудовании.

Радиус, пм: Tm³⁺ 87, Tm⁴⁺ 94, атомный 174,6, ковалентный 156

Электроотрицательность: 1,25 (по Полингу), 1,11 (по Оллреду), ≤3,4 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 2,85 (по Слейтеру), 8,58 (по Клементи), 11,80 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В



Состояния окисления

Tm^{II} Tm^{III}	(f^{13}) (f^{12})	TmCl_2 , TmBr_2 , TmI_2 Tm_2O_3 , $\text{Tm}(\text{OH})_3$, $[\text{Tm}(\text{H}_2\text{O})_x]^{3+}(\text{aq})$, соли Tm^{3+} , TmF_3 , TmCl_3 и т.д., комплексы
---	--------------------------	--

Физические свойства

Температура плавления, К: 1818

Температура кипения, К: 2220

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж / моль: 18,4

$\Delta H_{\text{ исп}}$, кДж / моль: 247

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	74,01	27,03
Газообразное	232,2	197,5	190,113	20,786

Плотность, кг / м³: 9321 [293 К]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 16,8 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $79,0 \cdot 10^{-8}$ [298 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: $+1,90 \cdot 10^{-6}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 18,12

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $13,3 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

гексагональная плотноупакованная ($a = 353,75$, $c = 555,46$); P6₃/mmc

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 140; MoK_α 80,8

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 105
 Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 28
 Диапазон изотопных масс: 152→176

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростра- ненность природе, %	Период полураспа- да, $T_{1/2}$	Тип и энергия распа- да, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{169}Tm	168,934212	100	Стабилен		$1/2^+$	-0,2316	ЯМР
^{170}Tm	169,935198	0	128,6 дня	β^- (0,968) 99,8%; ЭЗ (0,314) 0,2%; γ	1^-	0,2476	Метка

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):	^{169}Tm
Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):	$5,66 \cdot 10^{-4}$
Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):	3,21
Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:	$-2,21 \cdot 10^7$
	8,271

Основное электронное состояние: $[\text{Xe}]4f^{13}6s^2$

Терм: $^2\text{F}_{7/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж / моль: ≤50

**Свойства
заслонки
оболочки**

**Основные линии
в атомном спектре**

**Энергии ионизации,
кДж/моль**

Длина волны, нм	Форма
346,220	II
371,791 (AA)	I
384,802	II
409,419	I
410,584	I
418,762	I

1. $M \rightarrow M^+$	596,7	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1163	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2285	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	4119	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$		10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$

В окружающей среде

Биологическая роль
 Отсутствует; малотоксичен; стимулятор
 Содержание в человеческом организме: д.о., но невелико

Распространенность
 Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):
 1,8
 Земная кора, %: $0,48 \cdot 10^{-4}$
 Морская вода, %:
 Атлантический океан, в поверхностных слоях: $1,3 \cdot 10^{-11}$
 Атлантический океан, в глубинных слоях: $1,6 \cdot 10^{-11}$
 Тихий океан, в поверхностных слоях: $0,7 \cdot 10^{-11}$
 Тихий океан, в глубинных слоях: $3,3 \cdot 10^{-11}$
 Время пребывания, лет: данные отсутствуют
 Геохимическая классификация: возобновляется
 Степень окисления: III

Геологические сведения

Основные минералы и источники:
 монацит $[(\text{Ce}, \text{La}, \dots)\text{PO}_4]$; бастнезит $[(\text{Ce}, \text{La}, \dots)(\text{CO}_3)_2\text{F}]$
 Мировое производство, т/год: ~100
 Запасы, т: ~ 10^6

C**Химические
свойства****Атомный номер: 6****Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 12,011**

Используется в виде кокса (при выплавке стали), сажи (в полиграфии), активированного угля (при очистке сахара и т.п.).

Радиус, пм: ковалентный 77, при двойной связи 67, при тройной связи 60, C^4 260, вандерваальсов 185

Электроотрицательность: 2,55 (по Полингу), 2,50 (по Оллреду), 6,27 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 3,25 (по Слейтеру), 3,14 (по Клементи), 2,87 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

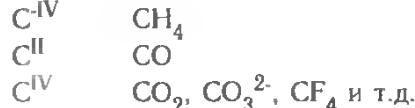
	IV	II	0	-II	-IV
Кислый раствор	CO_2 -0.106	CO 0.517	C 0.132	CH_4 0.232	CH_4 0.59
	CO_2 -0.20	HCO_2H 0.034	HCHO -1.07		
Щелочной раствор	CO_2 -1.01	HCO_2^- -1.07	HCHO 0.59	CH_3OH -0.2	CH_4 0.59
					CH_4 -0.2

Ковалентная связь	r , пм	E , кДж/моль
$\text{C}-\text{H}$	109,3	411
$\text{C}-\text{C}$	154	348
$\text{C}=\text{C}$	134	614
$\text{C}\equiv\text{C}$	120	839
$\text{C}-\text{N}$	147	305
$\text{C}=\text{N}$	130	615
$\text{C}\equiv\text{N}$	116	891
$\text{C}-\text{O}$	143	358
$\text{C}=\text{O}$	123	745
$\text{C}\equiv\text{O}$	112,8	1074

* См. также другие элементы (связь с углеродом)

Состояния окисления

При обсуждении углерода и его соединений эта концепция используется редко, поскольку образование связей углерода имеет свои особенности. Однако для простых соединений, содержащих один атом C, ее можно использовать:

**Физические
свойства**

Температура плавления, К: ~3820 (алмаз)

Температура кипения, К: 5100 (субл.)

$\Delta H_{\text{пп}}, \text{ кДж/моль}$: 105,0

$\Delta H_{\text{исп}}, \text{ кДж/моль}$: 710,9

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое (графит)	0	0	5,740	8,527
Твердое (алмаз)	1,895	2,900	2,377	6,113
Газообразное	716,682	671,257	158,096	20,838

Плотность, кг/м³: 3513 (алмаз), 2260 (графит) [293 К]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 990-2320 (алмаз); 5,7 \perp , 1960 \parallel (графит) [298 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: 1011 (алмаз), $1,375 \cdot 10^{-5}$ (графит) [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $-6,3 \cdot 10^{-9}$ (графит); $-6,2 \cdot 10^{-9}$ (алмаз)

Мольный объем, см³: 3,42 (алмаз)

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $1,19 \cdot 10^{-6}$ (алмаз)

Тип кристаллической решетки (параметры ячейки, пм); пространственная группа

Алмаз, кубическая ($a = 356,703$); Fd3m

Графит, гексагональная ($a = 246,12$; $c = 670,78$); P6₃m₂

Графит, ромбоздрическая ($a = 364,2$; $\alpha = 39^\circ 30'$); R3m

Алмаз, гексагональная ($a = 252$; $c = 412$); P6₃/mmc

Гексагональная ($a = 894,8$; $c = 1408$)

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 4,60; MoK_α 0,625

**Встречается в природе в виде графита (и алмаза); был известен еще доисторическим людям
[От лат. carbo - уголь]**

Углерод (Carbon)

**Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 0,0035
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 8
Диапазон изотопных масс: 9→16**

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распространенность в природе, %	Период полу-распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Применение
^{11}C	11,011430	0	20,3 мес	β^- (1,982); γ	$3/2^-$	-0,964	Метка
^{12}C	12,000000*	98,90	Стабилен		0^+		
^{13}C	13,003355	1,10	Стабилен		$1/2^-$	+0,70241	ЯМР
^{14}C	14,003241	Следы	5730 лет	β^- (0,15648); нет γ	0^+		Метка

* По определению.

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):



$$1,59 \cdot 10^{-2}$$

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):

$$1,00 \text{ (по определению)}$$

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):

$$6,7263 \cdot 10^7$$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:

$$25,144$$

Стандарт: $\text{Si}(\text{CH}_3)_4$

Основное электронное состояние: $[\text{He}]2s^22p^2$

Терм: 3P_0

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: 121,9

Свойства электронной оболочки

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
247,856	I
283,671	II
426,726	II
723,642	II

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	1086,2
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	2352
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	4620
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	6222
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	37827
6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	47270

В окружающей среде

Биологическая роль

Входит в состав ДНК

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: 67

Костная ткань, %: 36

Ежедневный прием с пищей: 300 г

Токсическая доза: обычно нетоксичен, но может быть токсичен в форме CO или цианидов (CN^-)

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 16 кг

Распространенность

Солнце (относительно $H = 1 \cdot 10^{-12}$): $4,17 \cdot 10^{-8}$

Земная кора, %: $4,80 \cdot 10^{-2}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $23 \cdot 10^{-4}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: $26 \cdot 10^{-4}$

Тихий океан, в поверхностных слоях: $23 \cdot 10^{-4}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $28 \cdot 10^{-4}$

Время пребывания, лет: 800000

Геохимическая классификация: возобновляется

Степень окисления: IV

Атмосфера, об. %: $\text{CO}_2 3,35 \cdot 10^{-2}$, $\text{CO} 0,02 \cdot 10^{-4}$, $\text{CH}_4 1,7 \cdot 10^{-4}$

Геологические сведения

Основные минералы и источники: известняк [CaCO_3] и др., уголь, нефть, природный газ, некоторые природные формы элемента такие как графит и алмаз *

Мировое производство, т/год: $8 \cdot 10^9$ (1990)

Запасы (1990 г.): природный газ $110 \cdot 10^{12} \text{ м}^3$ ($= 3 \cdot 10^6$ т), уголь $1,1 \cdot 10^{12}$ т, нефть $1,1 \cdot 10^{11}$ т

* Газ и уголь указаны в эквивалентных количествах нефти.

U

Атомный номер: 92
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12.0000$): 238.0289

Химические свойства

Радиоактивный, серебристый металл. Ковкий, пластичный, на воздухе покрывается оксидной пленкой. Реагирует с водяным паром и кислотами, но не щелочами. Используется как ядерное топливо в ядерных реакторах.

Радиус, пм: U^{3+} 103, U^{4+} 97, U^{5+} 89, U^{6+} 80, атомный 138,5

Электроотрицательность: 1,38 (по Полингу), 1,22 (по Оллреду)

Эффективный заряд ядра: 1,80 (по Слейтеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	VI	V	IV	III	II
		-0,027		-1,38	
Кислый раствор	UO_2^{2+}	UO_2^+	U^{4+}	U^{3+}	U
Щелочной раствор	$\text{UO}_2(\text{OH})_2$	-0,3	UO_2	$\text{U}(\text{OH})_3$	-2,10

Состояния окисления

U^{II}	(f ³ d ¹)	$\text{UO}_?$
U^{III}	(f ³)	$[\text{U}(\text{H}_2\text{O})_x]^{3+}$ (aq) (неустойчив), UF_3 , UCl_3 и т.д., $[\text{U}(\text{C}_5\text{H}_5)_3]$
U^{IV}	(f ²)	UO_2 , $[\text{U}(\text{H}_2\text{O})_x]^{4+}$ (aq), соли, UF_4 , UCl_4 и т.д., $[\text{UCl}_6]^{2-}$
U^{V}	(f ¹)	U_2O_5 , UO_2^+ (aq) (неустойчив), UF_5 , UCl_5 , UBr_5 , UF_6^- , UF_7^{2-} , UF_8^{3-}
U^{VI}	(f ⁰ , [Rn])	UO_3 (U_3O_8), UO_2^{2+} (aq), соли, UF_6 , UCl_6 , комплексы

Физические свойства

Температура плавления, К: 1405,5

Температура кипения, К: 4018

$\Delta H_{\text{пп}}$, кДж / моль: 15,5

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: 422,6

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	50,21	27,665
Газообразное	535,6	491,2	199,77	23,694

Плотность, кг / м³: 18950 [293 К]; 17907 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 27,6 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $30,8 \cdot 10^8$ [273 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: $+2,16 \cdot 10^{-8}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 12,56

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $12,6 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

α -U орторомбическая ($a = 284,785$, $b = 585,801$, $c = 494,553$); Стм

β -U тетрагональная ($a = 1076,0$, $c = 565,2$); Р4₂/mnm или Р4₂/nm

γ -U ОЦК ($a = 352,4$); Im3m

$T(\alpha \rightarrow \beta) = 941$ К; $T(\beta \rightarrow \gamma) = 1047$ К

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 352; MoK_α 153

Открыт в 1789 г. М.Ф. Клапротом (Берлин, Германия); выделен в 1841 г. Э.-М. Пелиго (Париж, Франция)
[Назван в честь планеты Уран]

Уран (Uranium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 7,57
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 17
Диапазон изотопных масс: 226→242

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распростране- нность в при- роде, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Приме- нение
^{234}U	234,040946	0,005	$2,45 \cdot 10^5$ лет	α (4,856); γ	0+		
^{235}U	235,043924	0,720	$7,04 \cdot 10^8$ лет	α (4,6793); γ	$7/2^-$	-0,35	ЯМР
^{236}U	236,045562	0	$2,34 \cdot 10^7$ лет	α (4,569); γ	0+		
^{238}U	238,050784	99,275	$4,46 \cdot 10^9$ лет	α (4,039); γ	0+		

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):	^{235}U
Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):	$1,21 \cdot 10^{-4}$
Гиromагнитное отношение, рад/(Тл·с):	$5,4 \cdot 10^{-3}$
Квадрупольный момент, м ² :	$-0,4926 \cdot 10^7$
Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:	$4,55 \cdot 10^{-28}$
Стандарт: UF_6	1,790

Основное электронное состояние: [Rn]5f³6d¹7s²

Терм: $^5\text{L}_6$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: данные отсутствуют

Свойства заслужившие бюджетки

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
356,659 (AA)	I
358,488	I
367,007	II
385,958	II
389,036	II
409,013	II

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	584	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1420	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$		8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$		9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$		10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; опасен из-за радиоактивности

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: $9 \cdot 10^{-8}$

Костная ткань, %: $(0,016\text{-}70) \cdot 10^{-7}$

Кровь, мг/л: $5 \cdot 10^{-4}$

Ежедневный прием с пищей:

0,001 - 0,002 мг

Токсическая доза: данные отсутствуют

Летальная доза: 36 мг (для крысы)

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 0,09 мг

Распространенность

Солнце (относительно $H = 1 \cdot 10^{12}$): ≤ 4

Земная кора, %: $2,4 \cdot 10^{-4}$

Морская вода, %: $3,13 \cdot 10^{-7}$

Время пребывания, лет: 300 000

Геохимическая классификация: накапливается

Степень окисления: VI

Геологические сведения

Основные руды: уранинит $[\text{U}_3\text{O}_8]$, карнотит $[\text{K}_2(\text{UO}_2)_2(\text{VO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$

Мировое производство, т/год: 35 000

Запасы, т: $3,5 \cdot 10^6$ плюс $6,3 \cdot 10^6$ в фосфатных рудах

Fm

Атомный номер: 100
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): (257)

Химические свойства

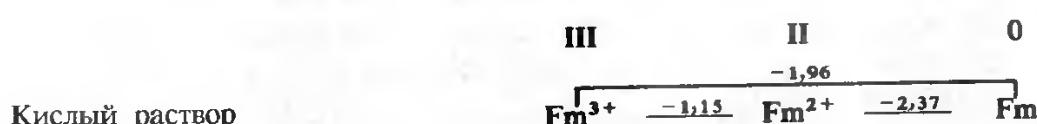
Радиоактивный металл; в природе не встречается. Представляет лишь чисто научный интерес.

Радиус, пм: Fm²⁺ 115, Fm³⁺ 97, Fm⁴⁺ 84

Электроотрицательность: 1,3 (по Полингу), д.о. (по Оллреду)

Эффективный заряд ядра: 1,65 (по Слейтеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В



Состояния окисления

Fm ^{II}	(f ¹²)	?
Fm ^{III}	(f ¹¹)	[Fm(H ₂ O) _x] ³⁺ (aq)

Физические свойства

Температура плавления, К: данные отсутствуют

Температура кипения, К: данные отсутствуют

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: данные отсутствуют

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: данные отсутствуют

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p° , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	д.о.	д.о.
Газообразное	д.о.	д.о.	д.о.	д.о.

Плотность, кг/м³: данные отсутствуют

Теплопроводность, Вт/(м·К): 10 (расчет) [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: данные отсутствуют

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: данные отсутствуют

Мольный объем, см³: данные отсутствуют

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: данные отсутствуют

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

Данные отсутствуют

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: данные отсутствуют

Обнаружен среди осколков деления при термоядерном взрыве в 1954 г. в Тихом океане Дж.Р. Чоппином, С.Дж. Томпсоном, А. Гиорсо и В.Дж. Харвеем
[Назван в честь Энрико Ферми]

Фермий
(Fermium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 5800 (^{257}Fm)

Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 18

Диапазон изотопных масс: 243→258

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полураспа- да $T_{1/2}$	Тип и энергия распада,	Ядерный спин I МэВ	Ядерный магнитный момент μ	Приме- нение
^{253}Fm	253,085173	0	3 дня	Э3 (0,334) 88%; α (7,200) 12%; γ	1/2+		
^{254}Fm	254,086846	0	3,24 ч	α (7,303)	0+		
^{255}Fm	255,089948	0	20,1 ч	α (7,240)	7/2+		
^{257}Fm	257,075099	0	100,5 дня	α (6,871); γ	9/2+		

Основное электронное состояние: [Rn]5f¹²7s²

Терм: $^3\text{H}_6$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: данные отсутствуют

**Свойства
электронной
оболочки**

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм Форма
Данные отсутствуют

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$ 627
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; в природе не встречается, но должен быть токсичен из-за радиоактивности

Содержание в человеческом организме: нулевое

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):
данные отсутствуют

Земная кора, %: нулевая

Морская вода, %: нулевая

Геологические сведения

Основные источники: получается в микрограммовых количествах в виде ^{253}Fm при нейтронной бомбардировке ^{238}Pu

P

**Атомный номер: 15
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 30,973762**

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Радиус, пм: P^{3+} 44, атомный 93 (белый P) и 115 (красный P), ковалентный 110, вандерваальсов 190, P^{3-} 212

Электроотрицательность: 2,19 (по Полингу), 2,06 (по Оллреду), 5,62 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 4,80 (по Слейтеру), 4,89 (по Клементи), 5,28 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

V	<IV>	III	<II>	0	-II	-III
	-0,276		-0,502		-0,063	
Кислый раствор	H_3PO_4 -0,933	$\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_6$ 0,380	H_3PO_3 -0,499	H_3PO_2 -0,365	P -0,100	P_2H_4 -0,006
						PH_3
				-1,73		
Щелочной раствор	PO_4^{3-} -1,12	HPO_3^{2-} -1,57	$\text{H}_2\text{PO}_2^{-}$ -2,05	P	-0,89	PH_3
					-1,18	

Ковалентная связь	r, пм	E, кДж/моль
P-H	144	328
P-C	185	264
P-O	164	407
P=O	145	560
P-F	157	490
P-Cl	204	319
P-P	222	209

Состояния окисления

P ^{III}	PH_3 , Ca_3P_2	P ^{II}	P_2I_4
P ^{II}	P_2H_4	P ^{III}	P_4O_6 , H_3PO_3 (aq), PF_3
P ⁰	P_4	P ^V	PCl_3 и т.д.
			P_4O_{10} , H_3PO_4 (aq),
			H_2PO_4 (aq) и т.д., PF_5 , PCl_5 , POCl_3 , фосфаты
P ^I	H_3PO_2 (aq), H_2PO_2 (aq)		

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Температура плавления, К: 317,3 (P_4); 683 (красный P) под давлением

Температура кипения, К: 553 (P_4)

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: 2,51 (P_4)

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 51,9 (P_4)

Термодинамические свойства (298, 15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое (P_4)	0	0	41,09	23,840
Твердое (красный P)	-17,6	-12,1	22,80	21,21
Газообразное	314,64	278,25	163,193	20,786

Плотность, кг/м³: 1820 (P_4), 2200 (красный P), 2690 (черный P) [293 К]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 0,235 (P_4), 12,1 (черный P) [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $1 \cdot 10^9$ (P_4) [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $-1,1 \cdot 10^{-8}$ (P_4); $-8,4 \cdot 10^{-9}$ (красный P)

Мольный объем, см³: 17,02 (P_4)

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $124,5 \cdot 10^{-6}$ (P_4)

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

$\alpha\text{-P}_4$, белый кубическая ($a = 1851$), I43m

$\beta\text{-P}_4$, белый ромбодиэдрическая ($a = 337,7$; $c = 880,6$), R3m

$\gamma\text{-P}_4$, белый кубическая ($a = 237,7$); Pm3m (фаза высокого давления)

Красный P, кубическая ($a = 1131$); Pm3m или P43

Фосфор Гитторфа (красный) моноклинная ($a = 921$, $b = 915$, $c = 2260$, $\beta = 106,1^\circ$); P2/c

Черный орторомбическая ($a = 331,36$, $b = 1047,8$, $c = 437,63$); Cmc21

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 74,1; MoK_α 7,89

Открыт в 1669 г. Х. Брандом (Гамбург, Германия)
[От греч. phosphorus - несущий свет]

Фосфор

(Phosphorus)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 0,180
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 10
Диапазон изотопных масс: 26→36

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростране- нность в приро- де, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{31}P	30,973762	100	Стабилен		$1/2+$	+1,13160	ЯМР
^{32}P	31,973907	0	14,23 дня	β^- (1,710); нет γ	$1+$	-0,2524	Метка, в медицине
^{33}P	32,971725	0	25,3 дня	β^- (0,249); нет γ	$1/2+$		

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):	$6,63 \cdot 10^{-2}$
Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):	377
Гиromагнитное отношение, рад/(Тл·с):	$10,8289 \cdot 10^7$
Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:	40,481
Стандарт: 85%-ная H_3PO_4	

Основное электронное состояние: $[\text{Ne}]3s^23p^3$

Терм: $^4\text{S}_{3/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж / моль: 72,0

Свойства затрагивающие биология

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
213,618 (АА)	
952,573	
956,344	
979,685	
1648,292	

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	1011,7	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	21268
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1903,2	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	25397
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2912	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	29854
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	4956	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	35867
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	6273	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	40958

Исторический след

Биологическая роль
 Входит в состав ДНК; фосфатный цикл в природе; P_4 и многие соединения фосфора высокотоксичны
Содержание в человеческом организме:
 Мышечная ткань, %: 0,30 - 0,85
 Костная ткань, %: 6,7 - 7,1
 Кровь, мг/л: 345
 Ежедневный прием с пищей: 900 - 1900 мг
 Токсическая доза: фосфаты нетоксичны
 Летальная доза: 60 мг P_4
Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 780 г

Распространенность
 Солнце (относительно $H = 1 \cdot 10^{12}$): $3,16 \cdot 10^6$
 Земная кора, %: 0,1
 Морская вода, %:
 Атлантический океан, в поверхностных слоях: $0,15 \cdot 10^{-6}$
 Атлантический океан, в глубинных слоях: $4,2 \cdot 10^{-6}$
 Тихий океан, в поверхностных слоях: $0,15 \cdot 10^{-6}$
 Тихий океан, в глубинных слоях: $8,4 \cdot 10^{-6}$
 Время пребывания, лет: 100000
 Геохимическая классификация: возобновляется
 Степень окисления: V

Геологические сведения

Основные минералы: фторапатит $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}]$ (богатые залежи)
 Мировое производство фосфатов, т/год: $153 \cdot 10^6$
 Мировое производство P_4 , т/год: $1,2 \cdot 10^6$
 Запасы, т: $5,7 \cdot 10^9$

Fr

Атомный номер: 87
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12.0000$): (223)

**ХИМИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА**

Сильно радиоактивный металл, с коротким периодом полураспада.

Радиус, пм: Fr^+ 180, атомный ~270

Электроотрицательность: 0,7 (по Полингу), 0,86 (по Оллреду)

Эффективный заряд ядра: 2,20 (по Слейтеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

1	0
Fr^+	-2,9

Состояния окисления

Fr^{I} ([Rn]) Мало изучен; $\text{Fr}^+(\text{aq})$, FrClO_4 (нерасторовим)

**Физические
свойства**

Температура плавления, К: 300

Температура кипения, К: 950

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж / моль: данные отсутствуют

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: данные отсутствуют

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	95,4	д.о.
Газообразное	д.о.	д.о.	д.о.	д.о.

Плотность, кг / м³: данные отсутствуют

Теплопроводность, Вт / (м · К): 15 (расчет) [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: данные отсутствуют

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: данные отсутствуют

Мольный объем, см³: данные отсутствуют

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: данные отсутствуют

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

Данные отсутствуют

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: данные отсутствуют

Открыт в 1939 г. Маргаритой Перей (Париж, Франция)
[Назван в честь Франции]

Франций
(Francium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: данные отсутствуют
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 30
Диапазон изотопных масс: 201→229

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распростра- ненность природе, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, спин I МэВ	Ядерный спектр	Ядерный магнитный момент μ	Приме- нение
^{212}Fr	211,996130	0	20,0 мин	Э3 (5,070), 57%; α (6,529), 43%; γ	5+		
^{223}Fr	223,019733	Встречается	21,8 мин*	β^+ (1,147); γ	3/2+		

*Наиболее долгоживущий изотоп

Основное электронное состояние: $[\text{Rn}]7s^1$

Терм: $^2\text{S}_{1/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж/моль: 44 (расчет)

**Свойства
электронной
оболочки**

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
717,7	I

Энергии ионизации, кДж/моль

$1.M \rightarrow M^+$	400
$2.M^+ \rightarrow M^{2+}$	(2100)
$3.M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	(3100)
$4.M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	(4100)
$5.M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	(5700)
$6.M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	(6900)
$7.M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	(8100)
$8.M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(12300)
$9.M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(12800)
$10.M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(29300)

В окружающей среде

Биологическая роль
Отсутствует; в природе не встречается, но должен быть токсичен из-за радиоактивности
Содержание в человеческом организме: нулевое

Распространенность
Солнце (относительно Н = $1 \cdot 10^{12}$):
данные отсутствуют
Земная кора, %: нулевая
Морская вода, %: нулевая

**Геологические
сведения**

Основные источники: ничтожные количества в урановых рудах. Получается в следовых количествах из актиния при нейтронной бомбардировке радия

F

Атомный номер: 9
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 18,9984032

Химические свойства

Бледно-желтый газ, F_2 ; наиболее реакционноспособный из всех элементов и самый сильный из промышленно получаемых окислителей. Используется для получения UF_6 , SF_6 и фторирующих агентов, например ClF_3 . Находят применение органические соединения фтора, полимеры и все соли, особенно CaF_2 (как флюс в металлургии) и AlF_3 (в производстве алюминия).

Радиус, пм: F 133, ковалентный 58, вандерваальсов 135

Электроотрицательность: 3,98 (по Полингу), 4,10 (по Оллреду), 10,41 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 5,20 (по Слейтеру), 5,10 (по Клементи), 4,61 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

0	2,866	-I
F_2	2,979	F^- (aq)
F_2	3,053	HF_2^-
F_2		HF (aq)

Ковалентная связь	r , пм	E , кДж/моль
F-F	141,7	159
F-O	147	190
F-N	137	272

Данные о других связях см. другие элементы

Состояния окисления

F^- ([Ne])	F^- (aq), HF , KHF_2 , CaF_2 , множество солей и соединений с другими элементами
---------------------	---

Физические свойства

Температура плавления, К: 53,53

Температура кипения, К: 85,01

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: 5,10

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 6,548

Критическая температура, К: 144,3

Критическое давление, кПа: 5220

Критический объем, см³/моль: 66,2

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Газообразное (F_2)	0	0	202,78	31,30
Газообразное (атом.)	78,99	61,91	158,754	22,744

Плотность, кг/м³: д.о. [тв.], 1516 [жидкость, 85 К]; 1,696 [газ, 273 К]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 0,0279 [300 К]; 0,0248 [273 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: данные отсутствуют

Мольный объем, см³: 18,05 [85 К]

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

α - F_2 ромбическая (д.о.); $\text{C}2/\text{m}$

β - F_2 кубическая ($a = 667$); $\text{Pm}3\text{n}$

$T(\alpha \rightarrow \beta) = 45,6$ К

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 16,4; MoK_α 1,80

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 0,0096
 Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 7
 Диапазон изотопных масс: 17→23

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распределе- ние в природе, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и энергия рас- пада, МэВ	Ядер- ный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{18}F	18,000937	0	109,8 мин	β^+ (1,665); ЭЭ (3%); нет γ			Метка, в меди- цине
^{19}F	18,998403	100	Стабилен		$1/2^+$	+2,6887	ЯМР

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):	^{19}F
Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):	0,83
Гиromагнитное отношение, рад/(Тл·с):	4730
Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:	$25,1665 \cdot 10^7$
Стандарт: CFCl_3	94,077

Основное электронное состояние $[\text{He}]2s^22p^5$

Терм $^2\text{P}_{3/2}$
 Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж / моль: 328

**Свойства
электронной
оболочки**

**Основные линии
в атомном спектре**

Длина волны, нм	Форма
685,603	I
690,248	I
703,747	I
712,787	I
775,470	I

**Энергии ионизации,
кДж/моль**

$1.M \rightarrow M^+$	1681	$6.M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	15614
$2.M^+ \rightarrow M^{2+}$	3374	$7.M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	17867
$3.M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	6050	$8.M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	92036
$4.M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	8408	$9.M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	106432
$5.M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	11023		

В окружающей среде

Биологическая роль

Существенно важен для млекопитающих, включая человека; некоторые соединения, например HF и газообразный F_2 , очень токсичны
 Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: $0,05 \cdot 10^{-4}$

Костная ткань, %: 0,2 - 1,2

Кровь, мг/л: 0,5

Ежедневный прием с пищей: 0,3 - 0,6 мг

Токсическая доза: 20 мг (F^-)

Летальная доза: 2 г (F^-)

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 2,6 г

Распространенность

Солнце (относительно $\text{H} = 1 \cdot 10^{12}$):
 $3,63 \cdot 10^{-4}$
 Земная кора, %: $9,5 \cdot 10^{-2}$
 Морская вода, %: $1,3 \cdot 10^{-4}$
 Время пребывания, лет: 400000
 Геохимическая классификация: на-
 капливается
 Степень окисления: I

**Геологические
сведения**

Основные минералы и источники:
 флюорит $[\text{CaF}_2]$, фторапатит
 $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}]$, криолит $[\text{Na}_3\text{AlF}_6]$
 Мировое производство флюорита,
 т/год: $4,7 \cdot 10^6$
 Запасы флюорита, т: $123 \cdot 10^6$
 Мировое производство газообразно-
 го F_2 , т/год: 2400

Cl

Атомный номер: 17
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 35,4537

Химические свойства

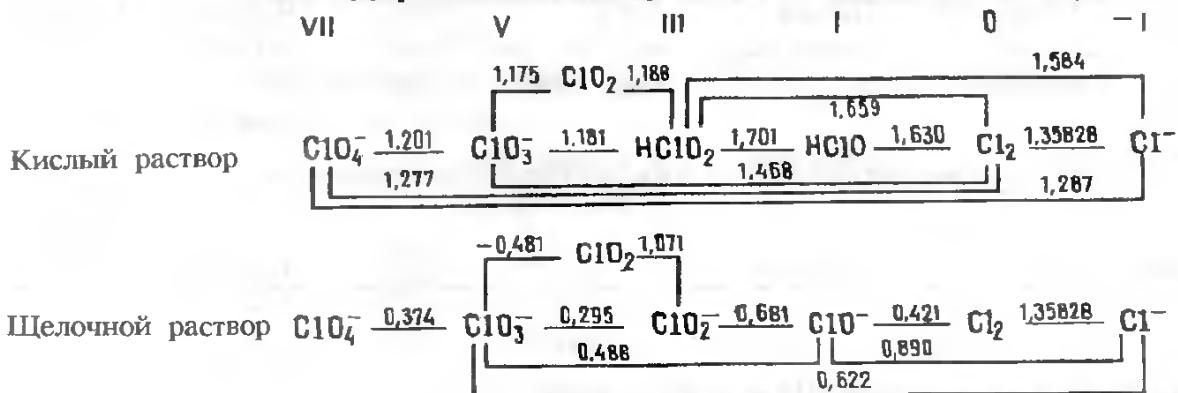
Желто-зеленый, тяжелый газ, с резким запахом, Cl_2 ; получается в больших масштабах при электролизе хлорида натрия. Используется как отбеливающий агент и в производстве хлорсодержащих органических растворителей и полимеров.

Радиус, пм: Cl^- 181, ковалентный 99, вандерваальсов 181

Электроотрицательность: 3,16 (по Полингу), 2,83 (по Оллреду), 8,30 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 6,10 (по Слейтеру), 6,12 (по Клементи), 6,79 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В



Ковалентная связь	r , пм	E , кДж/моль
Cl-O	170	206
Cl-Cl	198,8	242
Cl-F	163	257
Данные о других связях см. другие элементы		

Состояния окисления

Cl^{I}	$\text{Cl}^-(\text{aq}), \text{HCl}, \text{NaCl}$ и т.д.
Cl^{I}	$\text{Cl}_2\text{O}, \text{HOCl}$, соли, $\text{ClO}^-(\text{aq}), \text{ClF}$
Cl^{III}	$\text{NaClO}_2, \text{ClF}_3$
Cl^{IV}	ClO_2
Cl^{V}	HClO_3 , соли, $\text{ClO}_3^-(\text{aq}), \text{ClF}_5, \text{F}_3\text{ClO}$
Cl^{VI}	Cl_2O_6
Cl^{VII}	$\text{Cl}_2\text{O}_7, \text{HClO}_4$, соли, $\text{ClO}_4^-(\text{aq}), \text{FCIO}_3$

Физические свойства

Температура плавления, К: 172,17

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: 6,41

Температура кипения, К: 239,18

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 20,4033

Тройная точка, К: 172,17

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Газообразное (Cl_2)	0	0	223,066	33,907
Газообразное (атом.)	121,679	105,680	165,198	21,840

Плотность, кг/м³: 2030 [113 К]; 1507 [239 К]; 3,214 [273 К]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 0,0089 [300 К] (газ)

Критическая температура, К: 417

Критическое давление, кПа: 7700

Критический объем, см³/моль: 124

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $-7,2 \cdot 10^{-9}$ (газ)

Мольный объем, см³: 17,46 [113 К]

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

Тетрагональная ($a = 856$; $c = 612$); Р4/ncm

Орторомбическая ($a = 624$; $b = 448$; $c = 826$); Стма

T (тетрагональная→орторомбическая) = 100 К

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 106; MoK_α 11,4

Открыт в 1774 г. К. Шееле (Упсала, Швеция)
[От греч. *chloros* - зеленоватый]

Хлор (Chlorine)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 35,5
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 13
Диапазон изотопных масс: 31→41

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростране- нность в при- роде, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Приме- нение
^{35}Cl	34,968852	75,77	Стабилен		3/2+	+0,82187	ЯМР
^{36}Cl	35,968306	0	$3,1 \cdot 10^5$ лет	β^- (0,709); β^+ , ЭЗ; 2+ (2%); нет γ	2+	+1,28547	Метка
^{37}Cl	36,965903	24,23	Стабилен		3/2+	+0,68412	ЯМР

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):	^{35}Cl	^{37}Cl
Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):	$4,70 \cdot 10^{-3}$	$2,71 \cdot 10^{-3}$
Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):	20,2	3,8
Квадрупольный момент, м ² :	$2,6210 \cdot 10^7$	$2,1718 \cdot 10^7$
Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:	-8,0 · 10 ⁻³⁰	-6,32 · 10 ⁻³⁰
Стандарт: NaCl(aq)	9,798	8,156

Основное электронное состояние: [Ne]3s²3p⁵

Терм: $^2\text{P}_{3/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж / моль: 349,0

Свойства электронной оболочки

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
479,455	II
489,677	II
542,323	II
837,574	I
858,597	I

Энергии ионизации, кДж/моль

$1.M \rightarrow M^+$	1251,1	$6.M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	9362
$2.M^+ \rightarrow M^{2+}$	2297	$7.M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	11020
$3.M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	3826	$8.M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	33610
$4.M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	5158	$9.M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	38600
$5.M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	6540	$10.M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	43960

В окружении сведе-

Биологическая роль

Существенно важен для многих форм жизни, включая человека; газообразный Cl_2 очень токсичен

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: 0,20 - 0,52

Костная ткань, %: 0,09

Кровь, мг/л: 2890

Ежедневный прием с пищей: 3,00 - 6,60 г

Токсическая доза: нетоксичен

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 85 г

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):
 $3,2 \cdot 10^6$

Земная кора, %: 0,013

Морская вода, %: 1,8

Время пребывания, лет: $4 \cdot 10^8$

Геохимическая классификация: накапливается

Степень окисления: -I

Атмосфера: следы хлорсодержащих органических соединений

Геологические

сведения

Основные минералы и источники:
каменная соль [NaCl]

Мировое производство NaCl, т/год:
 $168 \cdot 10^6$

Запасы, т: $> 10^{13}$

Cr

Атомный номер: 24

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12.0000$): 51,9961

Химические свойства

Твердый, голубовато-белый металл. Растворим в HCl и H_2SO_4 , но не растворяется в HNO_3 , H_3PO_4 или HClO_4 благодаря образованию защитной пленки. Устойчив к окислению воздухом. Используется главным образом в виде сплавов, для хромирования и получения металлокерамики.

Радиус, пм: Cr^{2+} 84, Cr^{3+} 64, Cr^{4+} 56, атомный 124,9

Электроотрицательность: 1,66 (по Полингу), 1,56 (по Оллреду), 3,72 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 3,45 (по Слейтеру), 5,13 (по Клементи), 6,92 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	VI	V	IV	III	II	0
Кислый раствор		0,95 Cr ₂ O ₇ ²⁻ — 0,53 1,38	CrO ₄ ²⁻ — 1,34 1,72	Cr(IV) — 2,10	Cr ³⁺ — 0,74 — 0,424	Cr ²⁺ — 0,90
Щелочн. раствор	CrO ₄ ²⁻ — 0,11 — 0,72		Cr(OH) ₃ — 1,33 Cr(OH) ₄ ⁻ — 1,33		Cr	

Состояния окисления

Cr^{II}	(d ⁸)	$\text{Na}_2[\text{Cr}(\text{CO})_5]$
$\text{Cr}^{\text{-I}}$	(d ⁷)	$\text{Na}_2[\text{Cr}_2(\text{CO})_{10}]$
Cr^{0}	(d ⁶)	$\text{Cr}(\text{CO})_6$
Cr^{I}	(d ⁵)	$[\text{Cr}(\text{дипиридил})_3]$
Cr^{II}	(d ⁴)	$\text{CrO}, \text{CrF}_2, \text{CrCl}_2$ и т.д., CrS
Cr^{III}	(d ³)	$\text{Cr}_2\text{O}_3, \text{CrF}_3, \text{CrCl}_3$ и т.д., $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}(\text{aq}), \text{Cr}(\text{OH})_3$, соли, комплексы
Cr^{IV}	(d ²)	$\text{CrO}_2, \text{CrF}_4$
Cr^{V}	(d ¹)	CrF_5
Cr^{VI}	(d ⁰)	$\text{CrO}_3, \text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7, \text{CrO}_4^{2-}, \text{CrOF}_4$

Температура плавления, К: 2130 ±20

Температура кипения, К: 2945

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: 15,3

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 348,78

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	23,47	23,35
Газообразное	396,6	351,8	174,50	20,79

Плотность, кг/м³: 7190 [293 К]; 6460 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 93,7 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $12,7 \cdot 10^{-8}$ [273 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $+4,45 \cdot 10^{-8}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 7,23

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $6,2 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

ОЦК ($a = 288,46$); Im3m

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 260; MoK_α 31,1

Открыт и выделен в 1780 г. Н.-Л. Вокленом (Париж, Франция)
[От греч. *chroma* - цвет]

Хром

(Chromium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 3,1
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 13
Диапазон изотопных масс: 45→57

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и энергия рас- пада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
^{50}Cr	49,946046	4,35	Стабилен		0+		
^{51}Cr	50,944768	0	27,70 дня	Э3 (0,751); γ	7/2-	$\pm 0,934$	Метка, в медицине
^{52}Cr	51,940509	83,79	Стабилен		0+		
^{53}Cr	52,940651	9,50	Стабилен		3/2+	-0,47454	ЯМР
^{54}Cr	53,938882	2,36	Стабилен		0+		

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):	^{53}Cr
Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):	$9,03 \cdot 10^{-4}$
Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с):	0,49
Квадрупольный момент, м ² :	$-1,5120 \cdot 10^7$
Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:	$\pm 0,3 \cdot 10^{-28}$
Стандарт: $\text{CrO}_4^{2-}(\text{aq})$	5,652

Основное электронное состояние $[\text{Ar}]3d^54s^1$

Терм 7S_3

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: 64,3

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
357,869 (AA)	
359,349	
360,533	
425,435	
427,480	
428,972	
520,844	

Свойства электронной полярности

Энергии ионизации, кДж/моль

$1.M \rightarrow M^+$	652,7	$6.M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	8738
$2.M^+ \rightarrow M^{2+}$	1592	$7.M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	15550
$3.M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2987	$8.M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	17830
$4.M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	4740	$9.M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	20220
$5.M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	6690	$10.M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	23580

В окружающей среде

Биологическая роль

Важен для некоторых форм жизни, включая человека; стимулятор, канцероген

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: (2,4 - 8,4) · 10⁻²

Костная ткань, %: (0,1 - 33) · 10⁻⁴

Кровь, мг/л: 0,006 - 0,11

Ежедневный прием с пищей: 0,01 - 1,2 мг

Токсическая доза: 200 мг

Летальная доза: > 3,0 г

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): данные отсутствуют

Распространенность Солнце (относительно $H = 1 \cdot 10^{12}$):

$5,13 \cdot 10^{-5}$

Земная кора, %: ~0,01

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $1,8 \cdot 10^{-8}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: $2,3 \cdot 10^{-8}$

Тихий океан, в поверхностных слоях: $1,5 \cdot 10^{-8}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $2,5 \cdot 10^{-8}$

Время пребывания, лет: 10000

Геохимическая классификация: возобновляется

Степень окисления: VI

Геологические сведения

Основные руды: хромит $[\text{FeCr}_2\text{O}_4]$

Мировое производство металлич.

Сг, т/год: 20000

Мировое производство хромита $9,6 \cdot 10^6$

Запасы, т: $1 \cdot 10^9$

Cs**Атомный номер: 55****Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 132,9054****ХИМИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА**

Блестящий, золотистого цвета, мягкий металл; бурно взаимодействует с кислородом и со взрывом с водой. Используется как промотор в каталитических процессах, в производстве специальных стекол и приборов для радиационного контроля.

Радиус, пм: Cs⁺ 165, атомный 265,4, ковалентный 235, вандерваальсов 262

Электроотрицательность: 0,79 (по Полингу), 0,86 (по Оллреду), 2,18 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 2,20 (по Слейтеру), 6,36 (по Клементи), 8,56 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

I	0
Cs ⁺	-2,923

Состояния окисления

Cs ⁻¹	(s ²)	Металлический Cs в жидком аммиаке
Cs ¹	([Xe]I)	Cs ₂ O, Cs ₂ O ₂ , CsO ₂ , CsOH, CsH, CsF, CsCl и т.д., [Cs(H ₂ O) _x] ⁺ (aq), Cs ₂ CO ₃ , множество солей и гидратированных солей, комплексы с краун-эфирами и т.д.

**ФИЗИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА**

Температура плавления, К: 301,55

Температура кипения, К: 951,6

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж / моль: 2,09

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: 65,90

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p° , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	85,23	32,17
Газообразное	76,065	49,121	175,595	20,786

Плотность, кг / м³: 1873 [293 К]; 1843 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 35,9 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $20,0 \cdot 10^{-8}$ [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: $+2,8 \cdot 10^{-9}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 70,96

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $97 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

ОЦК (78 К) ($a = 614$); Im3m

Фазы высокого давления: ($a = 598,4$); Fm3m

($a = 580,0$); Fm3m

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 318; MoK_α 41,3

Открыт Р. Бунзеном и Г. Р. Кирхгофом в 1860 г. (Гейдельберг, Германия)
[От лат. caesius - небесно-голубой]

Цезий
(Caesium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 29
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 40
Диапазон изотопных масс: 114→145

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распространенность в природе, %	Период полу-распада $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Применение
^{133}Cs	132,905429	100	Стабилен		$7/2^+$	+2,579	ЯМР
^{134}Cs	133,906696	0	2,065 лет	β^- (2,06); γ	4	+2,990	Метка
^{135}Cs	134,905885	0	$3 \cdot 10^6$ лет	β^- (0,205); нет β^-	$7/2^+$	+2,729	
^{137}Cs	136,907073	0	30,17 лет	β^- (1,17); γ	$7/2^+$	+2,838	Метка, в медицине

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):	^{133}Cs
Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):	$4,74 \cdot 10^{-2}$
Гиromагнитное отношение, рад/(Тл·с):	269
Квадрупольный момент, м ² :	$3,5087 \cdot 10^7$
Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:	$-3 \cdot 10^{-31}$
Стандарт: 0,5 M CsBr(aq)	13,117

Основное электронное состояние: [Xe]6s¹

Терм: $^2\text{S}_{1/2}$
Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж / моль: 45,5

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
455,528	I
460,376	II
522,704	II
592,563	II
852,113 (AA)	I
895,347	I

Энергии ионизации, кДж/моль

$1. M \rightarrow M^+$	375,7	$6. M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	(7100)
$2. M^+ \rightarrow M^{2+}$	2420	$7. M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	(8300)
$3. M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	(3400)	$8. M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(11300)
$4. M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	(4400)	$9. M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(12700)
$5. M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	(6000)	$10. M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(23700)

**Свойства
электронной
оболочки**

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует
Содержание в человеческом организме:
Мышечная ткань, %: $(0,07 - 1,6) \cdot 10^{-4}$
Костная ткань, %: $(0,013 - 0,052) \cdot 10^{-4}$
Кровь, мг/л: 0,0038
Ежедневный прием с пищей: 0,004 - 0,03 мг
Токсическая доза: нетоксичен
Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): данные отсутствуют

Распространенность Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):

< 80
Земная кора, %: $3 \cdot 10^{-4}$
Морская вода, %: $3,0 \cdot 10^{-8}$
Время пребывания, лет: 600000
Геохимическая классификация: на-
капливается
Степень окисления: I

Геологические сведения

Основные минералы и источники:
полуцвит $[(\text{Cs}, \text{Na})_4 \text{Al}_4 \text{Si}_9 \text{O}_{26} \cdot \text{H}_2\text{O}]$
Мировое производство соединений, т/год: ~20
Запасы, т: данные отсутствуют

Ce

Атомный номер 58

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 140,155

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Серый металл, с высокой реакционной способностью; наиболее распространенный из редкоземельных элементов. На воздухе покрывается оксидной пленкой, при нагревании горит, бурно реагирует с водой, растворяется в кислотах. Применяется для получения стекол, в том числе кварцевых, керамики и сплавов.

Радиус, пм: Ce³⁺ 107, Ce⁴⁺ 94, атомный 182,5, ковалентный 165

Электроотрицательность: 1,12 (по Полингу), 1,06 (по Оллреду), $\leq 3,0$ эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 2,85 (по Слейтеру), 10,80 (по Клементи), 10,57 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	IV	III	0
Кислый раствор	Ce ⁴⁺ CeO ₂	1,72 -0,7	-2,34 -2,78
Щелочной раствор			Ce Ce

Состояния окисления

Ce ^{III} (4f ¹)	Ce ₂ O ₃ , Ce(OH) ₃ , CeF ₃ , CeCl ₃ и т.д., соли Ce ³⁺ , [Ce(H ₂ O) ₆] ³⁺ (aq), комплексы
Ce ^{IV} ([Xe])	CeO ₂ , CeF ₄ , CeCl ₆ ²⁻ , [Ce(NO ₃) ₆] ²⁻ (aq)

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Температура плавления, К: 1072

Температура кипения, К: 3699

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: 8,87

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 313,8

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	72,0	26,94
Газообразное	423	385	191,776	23,075

Плотность, кг/м³: 8240 (α), 6749 (β), 6773 (γ), 6700 (δ) [298 К]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 11,4 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $7,3 \cdot 10^8$ [273 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $+2,17 \cdot 10^{-7}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 17,00

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $8,5 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

α -Ce ГЦК ($a = 485$); Fm3m

β -Ce гексагональная ($a = 367,3$; $c = 1180,2$); P6₃/mmc

γ -Ce ГЦК ($a = 516,01$); Fm3m

δ -Ce ГЦК ($a = 412$); Im3m

$T(\beta \rightarrow \gamma) = 441$ К

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK_α 352; MoK_α 48,2

Открыт в 1803 г. Й. Берцелиусом и В. Гизингером (Вестманнланд, Швеция). Впервые выделен В. Хиллебрандом и Т. Нортоном в 1875 г. (Вашингтон, США)

[Назван в честь малой планеты Цецера, открытой в 1801 г.]

Церий
(Cerium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 0,6
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 28
Диапазон изотопных масс: 129→151

**Ядерные
свойства**

Основные изотопы

Нуклид	Атомная мас-	Распростра-	Период полу-	Тип и	Ядерный	Ядерный	Приме-
	са	ненность	в распада $T_{1/2}$	энергия распа-	спин I	магнитный	нение
		природе, %		да, МэВ		момент μ	
^{136}Ce	135,907140	0,19	Стабилен		0+		
^{138}Ce	137,905985	0,25	Стабилен		0+		
^{139}Ce	138,906631	0	140 дней	$\beta^-(0,27); \gamma$	$3/2^+$	$\pm 0,9$	Метка
^{140}Ce	139,905433	88,48	Стабилен		0+		
^{141}Ce	140,908271	0	32,5 дня	$\beta^-(0,581); \gamma$	$7/2^-$	$\pm 0,97$	Метка
^{142}Ce	141,909241	11,08	Стабилен		0+		
^{143}Ce	142,912383	0	33,0 ч	$\beta^-(1,462); \gamma$	$3/2^+$	$\sim +1$	Метка
^{144}Ce	143,913643	0	284,4 ч	$\beta^-(0,318); \gamma$	0+		

Основное электронное состояние $[\text{Xe}]4f^26s^2$

Терм $^3\text{H}_4$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж / моль: ≤ 50

**Свойства
электронной
оболочки**

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
349,275	
395,254	
399,924	
401,239	
413,380	
418,660	

Энергии ионизации, кДж/моль

$1.M \rightarrow M^+$	527,4	$6.M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	(8200)
$2.M^+ \rightarrow M^{2+}$	1047	$7.M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	(9700)
$3.M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	1949	$8.M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	(11800)
$4.M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	3547	$9.M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	(13200)
$5.M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	(6800)	$10.M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	(14700)

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; стимулятор
Содержание в человеческом организме:
Мышечная ткань, %: данные отсутствуют
Костная ткань, %: $2,7 \cdot 10^{-4}$
Кровь, мг/л: < 0,002
Ежедневный прием с пищей: данные отсутствуют, но очень мал
Токсическая доза: нетоксичен?
Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): данные отсутствуют

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):
35,6
Земная кора, %: $68 \cdot 10^{-4}$
Морская вода, %:
Атлантический океан, в поверхностных слоях: $9,0 \cdot 10^{-10}$
Атлантический океан, в глубинных слоях: $2,6 \cdot 10^{-10}$
Тихий океан, в поверхностных слоях: $1,5 \cdot 10^{-10}$
Тихий океан, в глубинных слоях: $0,6 \cdot 10^{-10}$
Время пребывания, лет: 100
Геохимическая классификация: выводится
Степень окисления: III

Геологические сведения

Основные минералы и источники: монацит $[(\text{Ce}, \text{La}, \dots) \text{PO}_4]$; бастнезит $[(\text{Ce}, \text{La}, \dots)(\text{CO}_3)_2\text{F}]$
Мировое производство, т/год: 9400
Запасы, т: $40 \cdot 10^6$

Zn

Атомный номер: 30

Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 65,39

Химические свойства

Голубовато-белый металл, хрупкий при литье. На воздухе покрывается оксидной пленкой, реагирует с кислотами и щелочами. Используется для гальванизации железа, в сплавах, например латунь, аккумуляторных батареях (сухих элементов), в виде ZnO (добавки к резине) и как стабилизатор полимеров.

Радиус, пм: Zn^{2+} 83, атомный 133,2, ковалентный 125

Электроотрицательность: 1,65 (по Полингу), 1,66 (по Оллреду), 4,45 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 4,35 (по Слейтеру), 5,97 (по Клементи), 8,28 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	II		0
Кислый раствор	Zn^{2+}	-0,7626	Zn
Щелочной раствор	Zn(OH)_4^{2-}	-1,285	Zn
	Zn(OH)_2	-1,246	Zn

Состояния окисления

Zn^{I}	$(\text{d}^{10}\text{s}^1)$	Zn_2^{2+} в стекле Zn/ZnCl_2 (редко)
Zn^{II}	(d^{10})	ZnO , ZnS , Zn(OH)_2 , $[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ (aq), $\text{Zn}[(\text{OH})_4]^{2-}$ (aq, щелочь), соли Zn^{2+} , ZnF_2 , ZnCl_2 и т.д., множество комплексов

Физические свойства

Температура плавления, К: 692,73

Температура кипения, К: 1180

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж/моль: 6,67

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль: 115,3

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/(К·моль)	C_p , Дж/(К·моль)
Твердое	0	0	41,63	25,40
Газообразное	130,729	95,145	160,984	20,786

Плотность, кг/м³: 7133 [293 К]; 6577 [жидкость при т.пл.]

Теплопроводность, Вт/(м·К): 116 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом·м: $5,916 \cdot 10^{-8}$ [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³/кг: $-2,20 \cdot 10^{-9}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 9,17

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $25,0 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

Гексагональная плотноупакованная ($a = 266,47$, $c = 494,69$); $P6_3/mmc$

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ/ρ), см²/г: CuK α 60,3; MoK α 55,4

Известен в Индии и Китае до 1500 г.
[От нем. zink]

ЦИНК (Zinc)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 1,1
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 23
Диапазон изотопных масс: 57→78

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и распада, МэВ	Энергия распада, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Приме- нение
^{64}Zn	63,929145	48,6				0+		
^{65}Zn	64,929243	0	243.8 дня	β^+ (1,352)	98%; 93 1,5%; γ	5/2-	+0,7690	Метка
^{66}Zn	65,926034	27,9	Стабилен			0+		
^{67}Zn	66,927129	4,1	Стабилен			5/2-	+0,87515	ЯМР
^{68}Zn	67,924846	18,8	Стабилен			0+		
^{69m}Zn	68,926552	0	13,8 ч	ИП (0,439); γ		9/2+		Метка
^{70}Zn	69,925325	0,6	Стабилен			0+		

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$):	$2,85 \cdot 10^{-3}$
Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$):	0,665
Гиromагнитное отношение, рад/(Тл·с):	$1,6737 \cdot 10^7$
Квадрупольный момент, м ² :	$0,15 \cdot 10^{-28}$
Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц:	6,254

Стандарт: $\text{Zn}(\text{ClO}_4)_2$ (aq)

Основное электронное состояние $[\text{Ar}]3\text{d}^{10}4\text{s}^2$

Терм $^1\text{S}_0$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^-$), кДж / моль: 9

Основные линии

в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
213,856 (AA)	I
250,199	II
255,795	II
330,259	I
334,502	I
491,162	II
636,234	I

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	906,4	6. $M^{5+} \rightarrow M^{6+}$	10400
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1733,3	7. $M^{6+} \rightarrow M^{7+}$	12900
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	3832,6	8. $M^{7+} \rightarrow M^{8+}$	16800
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	5730	9. $M^{8+} \rightarrow M^{9+}$	19600
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	7970	10. $M^{9+} \rightarrow M^{10+}$	23000

в окружающей среде

Биологическая роль

Важен для всех форм жизни; может быть канцерогенен

Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: $2,4 \cdot 10^{-2}$

Костная ткань, %: $(0,75-1,7) \cdot 10^{-2}$

Кровь, мг/л: 7,0

Ежедневный прием с пищей: 5 - 40 мг

Токсическая доза: 150 - 600 мг

Летальная доза: 6 г

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 2,3 г

Распространенность

Солнце (относительно $H = 1 \cdot 10^{12}$):
 $2,82 \cdot 10^{-4}$

Земная кора, %: $75 \cdot 10^{-4}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $0,5 \cdot 10^{-8}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: $1,0 \cdot 10^{-8}$

Тихий океан, в поверхностных слоях: $0,5 \cdot 10^{-8}$

Тихий океан, в глубинных слоях: $5,2 \cdot 10^{-8}$

Время пребывания, лет: 5000

Геохимическая классификация:

возобновляется

Степень окисления: II

Геологические сведения

Основные руды: цинковая обманка [ZnS], смитсонит [ZnCO_3], сфалерит [$(\text{Zn}, \text{Fe})\text{S}$]

Мировое производство, т/год: $4,9 \cdot 10^6$

Запасы, т: $120 \cdot 10^6$

Zr

Атомный номер: 40
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 91,224

Химические свойства

Твердый, блестящий, серебристый металл. В очень высокой степени устойчив к коррозии благодаря оксидной пленке, но горит на воздухе. Не реагирует с кислотами (за исключением HF) и щелочами. Металл используется в сплавах, в цветной глазури и в ядерных реакторах. Оксиды применяются для изготовления тугоплавких тиглей, кирпича, керамики и абразивов.

Радиус, пм: Zr^{2+} 109, Zr^{4+} 87, атомный 160, ковалентный 145

Электроотрицательность: 1,33 (по Полингу), 1,22 (по Оллреду), 3,64 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 3,15 (по Слейтеру), 6,45 (по Клементи), 9,20 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

IV	0
Zr^{4+}	-1,55

Состояния окисления

Zr^{II}	(d ⁶)	$[\text{Zr}(\text{CO})_6]^{2-}$
Zr^0	(d ⁴)	$[\text{Zr}(\text{дипиридил})_3]$, $[\text{Zr}(\text{CO})_5(\text{Me}_2\text{PCH}_2\text{CH}_2\text{PMe}_2)]$
Zr^{I}	(d ³)	ZrCl ?
Zr^{II}	(d ²)	ZrO ?, ZrCl_2
Zr^{III}	(d ¹)	ZrCl_3 , ZrBr_3 , ZrI_3 , Zr^{3+} восстанавливает H_2O
Zr^{IV}	([Kr])	ZrO_2 , $\text{Zr(OH)}^{3+}(\text{aq})$, ZrF_4 , ZrCl_4 и т.д., ZrF_6^{2-} , ZrF_7^{3-} , ZrF_8^{4-} , цирконаты, комплексы

Физические свойства

Температура плавления, К: 2125

Температура кипения, К: 4650

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж / моль: 23,0

$\Delta H_{\text{ исп}}$, кДж / моль: 581,6

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p° , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	38,99	25,36
Газообразное	608,8	566,5	181,36	26,65

Плотность, кг / м³: 6506 [293 К]; 5800 [жидкость при т. пл.]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 22,7 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $42,1 \cdot 10^{-8}$ [293 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: $+1,68 \cdot 10^{-8}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 14,02

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $5,78 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

α -Zr гексагональная плотноупакованная ($a = 323,21$, $c = 514,77$); $P6_3/mmc$

β -Zr ОЦК ($a = 361,6$); $I\bar{m}3m$

$T(\alpha \rightarrow \beta) = 1135$ К

Фаза высокого давления: ($a = 503,6$, $c = 310,9$); $P\bar{3}m1$

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_{α} 143; MoK_{α} 15,9

Открыт в 1789 г. М.Ф. Клапротом (Берлинский университет, Германия); выделен в 1824 г. Й. Берцелиусом (Стокгольм, Швеция)
[От арабск. *zargun* - цвета золота]

Цирконий

(Zirconium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 0,184
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 25
Диапазон изотопных масс: 82→101

Ядерные
свойства

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная масса	Распростра- ненность природе, %	Период полу- распада $T_{1/2}$	Тип и энер- гия распада, спин / МэВ	Ядерный магнит- ный мо- мент μ	Приме- нение
⁹⁰ Zr	89,904703	51,45	Стабилен			
⁹¹ Zr	90,905644	11,22	Стабилен		5/2+	-1,303 ЯМР
⁹² Zr	91,905039	17,15	Стабилен			
⁹⁴ Zr	93,906314	17,38	Стабилен			
⁹⁵ Zr	94,908042	0	64,03 дня	β^- (1,121); γ	5/2+	Метка
⁹⁶ Zr	95,908275	2,80	$> 3,6 \cdot 10^{17}$ лет			
⁹⁷ Zr	96,910950	0	16,8 ч	β^- (2,658); γ	1/2-	Метка

ЯМР

Относительная чувствительность (¹ H = 1,00):	⁹¹ Zr	$9,48 \cdot 10^{-3}$
Восприимчивость (¹³ C = 1,00):		6,04
Гиromагнитное отношение, рад/(Тл·с):		$-2,4868 \cdot 10^7$
Квадрупольный момент, м ² :		$-0,21 \cdot 10^{-28}$
Частота (¹ H = 100 МГц; 2,3488 Тл), МГц:		9,330
Стандарт: общепринятый		отсутствует

Основное электронное состояние: [Kr]4d²5s²

Терм: ³F₂

Сродство к электрону (M→M⁺), кДж/моль: 41,1

Стабильные
электронные
оболочки

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
339,198	
343,823	
349,621	
360,119 (AA)	
389,032	

Энергии ионизации, кДж/моль

1. M→M ⁺	660	6. M ⁵⁺ →M ⁶⁺	(9500)
2. M ⁺ →M ²⁺	1267	7. M ⁶⁺ →M ⁷⁺	(11200)
3. M ²⁺ →M ³⁺	2218	8. M ⁷⁺ →M ⁸⁺	(13800)
4. M ³⁺ →M ⁴⁺	3313	9. M ⁸⁺ →M ⁹⁺	(15700)
5. M ⁴⁺ →M ⁵⁺	7860	10. M ⁹⁺ →M ¹⁰⁺	(17500)

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует
Содержание в человеческом организме:

Мышечная ткань, %: $0,08 \cdot 10^{-4}$

Костная ткань, %: $< 0,1 \cdot 10^{-4}$

Кровь, мг/л: 0,011

Ежедневный прием с пищей: ~0,05 мг

Токсическая доза: нетоксичен

Содержание в организме среднего человека (масса тела 70 кг): 1 мг

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):

560

Земная кора, %: $1,9 \cdot 10^{-2}$

Морская вода, %: $9 \cdot 10^{-10}$

Время пребывания, лет: данные отсутствуют

Степень окисления: IV

Геологические сведения

Основные руды: циркон [ZrSiO₄], бадделент [ZrO₂]

Мировое производство циркона, т/год: $7 \cdot 10^6$

Мировое производство металлич. циркония, т/год: 7000

Запасы, т: > 10⁹

Es

Атомный номер: 99
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): (254)

**ХИМИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА**

Радиоактивный, серебристый металл; в природе не встречается. Взаимодействует с кислородом, водяным паром и кислотами, но не щелочами.

Радиус, пм: Es^{2+} 116, Es^{3+} 98, Es^{4+} 85

Электроотрицательность: 1,3 (по Полингу), д.о. (по Оллреду), $\leq 3,5$ эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 1,65 (по Слейтеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	III	II	0
Кислый раствор	$\text{Es}^{3+} \quad -1,5$	$\text{Es}^{2+} \quad -2,2$	$\text{Es} \quad -2,0$

Состояния окисления

Es^{II} (f^{11})	Переходное состояние
Es^{III} (f^{10})	Es_2O_3 , EsCl_3 , EsBr_3 , $\text{Es}^{3+}(\text{aq})$, EsOCl

**Физические
свойства**

Температура плавления, К: данные отсутствуют

Температура кипения, К: данные отсутствуют

$\Delta H_{\text{пл}}$, кДж / моль: данные отсутствуют

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: данные отсутствуют

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	д.о.	д.о.
Газообразное	д.о.	д.о.	д.о.	д.о.

Плотность, кг / м³: данные отсутствуют

Теплопроводность, Вт / (м · К): 10 (расчет) [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: данные отсутствуют

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: данные отсутствуют

Мольный объем, см³: данные отсутствуют

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: данные отсутствуют

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

Данные отсутствуют

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: данные отсутствуют

Обнаружен среди осколков деления при термоядерном взрыве в 1952 г. в Тихом океане Дж.Р. Чоппином, С.Дж. Томпсоном, А. Гиорсо и В.Дж. Харвеем [Назван в честь Альберта Эйнштейна]

Эйнштейний (Einsteinium)

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 160 (^{253}Es)
Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 17
Диапазон изотопных масс: 243→256

Ядерные свойства

Основные изотопы

Нук- лид	Атомная мас- са	Распростра- ненность в природе, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и энергия распа- да, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Приме- жение
^{252}Es	252,082944	0	1,29 года	α (6,739); β ; γ	5-		
^{253}Es	253,084818	0	20,47 дня	α (6,739); γ	$7/2+$	4,10	Возможно
^{254}Es	254,088019	0	275 дней	α (6,617); γ	7+		
^{255}Es	255,090270	0	39,8 дня	β^- (0,300)	$7/2+$		

Основное электронное состояние: $[\text{Rn}]5f^{11}7s^2$

Терм: $5I_{15/2}$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: ≤50

Свойства электронной оболочки

Основные линии в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
270,866	II
342,848	I
349,811	I
351,433	I
352,138	I
352,349	I
354,775	II

Энергии ионизации, кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	619
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	

Биологическая роль

Отсутствует; в природе не встречается, но должен быть токсичен из-за радиоактивности
Содержание в человеческом организме: нулевое

Распространенность
Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$):
данные отсутствуют
Земная кора, %: нулевая
Морская вода, %: нулевая

Геологические сведения

Основные источники: отсутствуют.
Получается в миллиграммовых количествах в виде ^{253}Es при нейтронной бомбардировке ^{239}Pu

Ер

Атомный номер: 68
Относительная атомная масса ($^{12}\text{C} = 12,0000$): 167,26

Химические свойства

Серебристо-серый металл семейства редкоземельных элементов. На воздухе медленно покрывается оксидной пленкой, медленно реагирует с водой, растворяется в кислотах. Применяется для изготовления стекол, поглощающих в ИК-области спектра, и в сплавах с титаном.

Радиус, пм: Er³⁺ 89, атомный 175,7, ковалентный 157

Электроотрицательность: 1,24 (по Полингу), 1,11 (по Оллреду), ≤3,3 эВ (абсолютная)

Эффективный заряд ядра: 2,85 (по Слейтеру), 8,48 (по Клементи), 11,70 (по Фрезе-Фишеру)

Стандартный потенциал восстановления E° , В

	III	0
Кислый раствор	Er ³⁺	-2,32
Щелочного раствора	Er(OH) ₃	-2,84

Состояния окисления

Er ^{III}	(f ¹¹)	Er ₂ O ₃ , Er(OH) ₃ , ErF ₃ , ErCl ₃ и т.д., Er(H ₂ O) _x ³⁺ (aq), соли Er ³⁺ , ErCl ₆ ³⁻ , комплексы и т.д.
-------------------	--------------------	---

Физические свойства

Температура плавления, К: 1802

Температура кипения, К: 3136

$\Delta H_{\text{пп}}$, кДж / моль: 17,2

$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж / моль: 292,9

Термодинамические свойства (298,15 К, 0,1 МПа)

Состояние	$\Delta H_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	$\Delta G_{\text{обр}}^\circ$, кДж / моль	S° , Дж / (К · моль)	C_p , Дж / (К · моль)
Твердое	0	0	73,18	28,12
Газообразное	317,1	280,7	195,59	20,79

Плотность, кг / м³: 9066 [298 К]

Теплопроводность, Вт / (м · К): 14,3 [300 К]

Электрическое сопротивление, Ом · м: $87 \cdot 10^{-8}$ [298 К]

Удельная магнитная восприимчивость, м³ / кг: $+3,33 \cdot 10^{-6}$ (тв.)

Мольный объем, см³: 18,44

Температурный коэффициент линейного расширения, К⁻¹: $9,2 \cdot 10^{-6}$

Тип кристаллической решетки (параметры элементарной ячейки, пм); пространственная группа

α-Er гексагональная плотноупакованная ($a = 355,88$; $c = 558,74$);

P6₃/mmc

β-Er ОЦК ($a = 394$); Im3m

$T(\alpha \rightarrow \beta) = 1640$ К

Рентгенография: массовые коэффициенты поглощения (μ / ρ), см² / г: CuK_α 134; MoK_α 77,3

Сечение захвата тепловых нейтронов, барн: 160
 Число изотопов (с учетом ядерных изомеров): 25
 Диапазон изотопных масс: 150→173

Ядерные
 свойства

Основные изотопы

Нуклид	Атомная масса	Распростра- ненность в природе, %	Период полураспада $T_{1/2}$	Тип и энергия распа- да, МэВ	Ядерный спин I	Ядерный магнитный момент μ	Приме- нение
^{162}Er	161,928775	0,14	Стабилен		0+		
^{164}Er	163,929198	1,61	Стабилен		0+		
^{166}Er	165,930290	33,6	Стабилен		0+		
^{167}Er	166,932046	22,95	Стабилен		7/2+	-0,5665	ЯМР
^{168}Er	167,932368	26,8	Стабилен		0+		
^{169}Er	168,934588	0	9,4 дня	β^- (0,351); γ	1/2-	+0,515	Метка
^{170}Er	169,935461	14,9	Стабилен		0+		
^{171}Er	170,938027	0	7,52 ч	β^- (1,490); γ	5/2-	0,70	Метка

ЯМР

Относительная чувствительность ($^1\text{H} = 1,00$): ^{167}Er $5,07 \cdot 10^{-4}$

Восприимчивость ($^{13}\text{C} = 1,00$): $0,665$

Гиромагнитное отношение, рад/(Тл·с): $-0,7752 \cdot 10^7$

Квадрупольный момент, м²: $2,83 \cdot 10^{-28}$

Частота ($^1\text{H} = 100$ МГц; 2,3488 Тл), МГц: 2,890

Основное электронное состояние: $[\text{Xe}]4f^{12}6s^2$

Терм: $^3\text{H}_6$

Сродство к электрону ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль: ≤ 50

Свойства
 электронной
 оболочки

Основные линии
 в атомном спектре

Длина волны, нм	Форма
369,265	II
386,285	I
389,268	I
390,631	II
400,796 (AA)	I
415,111	I

Энергии ионизации,
 кДж/моль

1. $M \rightarrow M^+$	588,7
2. $M^+ \rightarrow M^{2+}$	1151
3. $M^{2+} \rightarrow M^{3+}$	2194
4. $M^{3+} \rightarrow M^{4+}$	4115
5. $M^{4+} \rightarrow M^{5+}$	

В окружающей среде

Биологическая роль

Отсутствует; малотоксичен; стимулятор

Содержание в человеческом организме: д.о., но невелико

Распространенность

Солнце (относительно H = $1 \cdot 10^{12}$): 5,8

Земная кора, %: $3,8 \cdot 10^{-4}$

Морская вода, %:

Атлантический океан, в поверхностных слоях: $5,9 \cdot 10^{-11}$

Атлантический океан, в глубинных слоях: $8,6 \cdot 10^{-11}$

Время пребывания, лет: 400

Геохимическая классификация:

возобновляется

Степень окисления: III

Геологические сведения

Основные минералы и источники:
 монацит $[(\text{Ce}, \text{La}, \dots) \text{PO}_4]$; бастнезит $[(\text{Ce}, \text{La}, \dots) (\text{CO}_3)_2 \text{F}]$

Мировое производство, т/год: ~100

Запасы, т: $\sim 10^8$

Сводные таблицы

Таблица 1. Открытие элементов

Элемент	Год	Первооткрыватель	Место
1 Водород	1766	Кавендиш	Лондон
2 Гелий	1895	Рамзай	Лондон
3 Литий	1817	Арфведсон	Стокгольм
4 Бериллий	1797	Боклен	Париж
5 Бор	1808	Гей-Люссак и Тенар Дэви	Париж Лондон
6 Углерод	Известен с до- исторических вре- мен		
7 Азот	1772	Резерфорд	Эдинбург
8 Кислород	1774	Пристли Шееле	Лидс Упсала
9 Фтор	1886	Муассан	Париж
10 Неон	1898	Рамзай и Траверс	Лондон
11 Натрий	1807	Дэви	Лондон
12 Магний	1755	Блэк	Эдинбург
13 Алюминий	1825	Эрстед	Копенгаген
14 Кремний	1824	Берцелиус	Стокгольм
15 Фосфор	1669	Бранд Х.	Гамбург
16 Сера	Известна с до- исторических вре- мен		
17 Хлор	1774	Шееле	Упсала
18 Аргон	1894	Рэлей и Рамзай	Лондон Бристоль
19 Калий	1807	Дэви	Лондон
20 Кальций	1808	Дэви	Лондон
21 Скандий	1879	Нильсон	Упсала
22 Титан	1791	Грегор Клапрот	Крид (Корнуолл) Берлин
23 Ванадий	1801	дель Рио	Берлин
24 Хром	1780	Боклен	Париж
25 Марганец	1774	Ган	Стокгольм
26 Железо	~2500 до н.э.		
27 Кобальт	1735	Бранд Г.	Стокгольм
28 Никель	1751	Кронштедт	Стокгольм
29 Медь	~5000 до н.э.		
30 Цинк	До 1500*		
31 Галлий	1875	Лекок де Буабодран	Париж
32 Германий	1886	Винклер	Фрайберг
33 Мышьяк	~ 1250	Альберт Великий	Германия
34 Селен	1817	Берцелиус	Стокгольм

* Цинк был известен в виде сплава с медью - бронзы - еще приблизительно в 20 в до н.э.

Таблица 1. Продолжение

	Элемент	Год	Первооткрыватель	Место
35	Бром	1826	Балар Левиг	Монпелье Гейдельберг
36	Криpton	1898	Рамзай и Траверс	Лондон
37	Рубидий	1861	Бунзен и Кирхгоф	Гейдельберг
38	Стронций	1808	Крофорд	Эдинбург
39	Иттрий	1794	Гадолин	Або (Финляндия)
40	Цирконий	1789	Клапрот	Берлин
41	Ниобий	1801	Хатчett	Лондон
42	Молибден	1781	Гъельм	Упсала
43	Технеций	1937	Перье и Сегре	Палермо
44	Рутений	1808	Снядецкий	Вильно (Польша)
45	Родий	1803	Волластон	Лондон
46	Палладий	1803	Волластон	Лондон
47	Серебро	~3000 до н.э.		
48	Кадмий	1817	Дэви	Лондон
49	Индий	1863	Райх и Рихтер	Фрайберг
50	Олово	~2100 до н.э.		
51	Сурьма	~1600 до н.э.		
52	Теллур	1783	фон Рейхенштейн	Сибиу (Румыния)
53	Иод	1811	Куртуа	Париж
54	Ксенон	1898	Рамзай и Траверс	Лондон
55	Цезий	1860	Бунзен и Кирхгоф	Гейдельберг
56	Барий	1808	Дэви	Лондон
57	Лантан	1839	Мосандер	Стокгольм
58	Церий	1803	Берцелиус и Гизингер	Вестманланд (Швеция)
59	Празеодим	1885	Ауэр фон Вельсбах	Вена
60	Неодим	1885	Ауэр фон Вельсбах	Вена
61	Прометий	1945	Мариинский, Гленденин и Кориэлл	Ок-Ридж, США
62	Самарий	1879	Лекок де Буабодран	Париж
63	Европий	1901	Демарсе	Париж
64	Гадолиний	1880	де Мариньяк	Женева
65	Тербий	1843	Мосандер	Стокгольм
66	Диспрозий	1886	Лекок де Буабодран	Париж
67	Гольмий	1878	Клеве Делафонтен и Соре	Упсала Женева
68	Эрбий	1842	Мосандер	Стокгольм
69	Тулий	1879	Клеве	Упсала
70	Иттербий	1878	де Мариньяк	Женева
71	Лютесций	1907	Урбэн Джеймс	Париж Нью-Гэмпшир (США)
72	Гафний	1923	Костер и Хевеши	Копенгаген
73	Тантал	1802	Экеберг	Упсала
74	Вольфрам	1783	д'Элуяр Ф. и д'Элуяр Х.Х.	Вергара (Испания)

Таблица 1. Продолжение

	Элемент	Год	Первооткрыватель	Место
75	Рений	1925	Ноддак, Таке и Берг	Берлин
76	Осмий	1803	Теннант	Лондон
77	Иридиум	1803	Теннант	Лондон
78	Платина	До 1700		
79	Золото	~3000 до н.э.		
80	Ртуть	~1500 до н.э.		
81	Таллий	1861	Крукс	Лондон
82	Свинец	~1000 до н.э.		
83	Висмут	~1500		
84	Полоний	1898	Кюри М.	Париж
85	Астат	1940	Корсон, Мак-кензи Сегре	и Беркли, Калифорния
86	Радон	1900	Дорн	Галле
87	Франций	1939	Перей	Париж
88	Радий	1898	Кюри М. и П.	Париж
89	Актиний	1899	Дебьерн	Париж
90	Торий	1815	Берцелиус	Стокгольм
91	Протактиний	1917	Ган и Мейтнер Фаянс	Берлин Карлсруэ
92	Уран	1789	Содди, Крэнстон и Флек Клапрот	Глазго Берлин
93	Нептуний	1940	Макмиллан и Абельсон	Беркли, Калифорния
94	Плутоний	1940	Сиборг, Валь и Кеннеди	Беркли, Калифорния
95	Америций	1944	Сиборг, Джеймс, Морган и Гиорсо	Чикаго, Иллинойс
96	Кюрий	1944	Сиборг, Джеймс и Гиорсо	Беркли, Калифорния
97	Берклий	1949	Томпсон, Гиорсо и Сиборг	Беркли, Калифорния
98	Калифорний	1950	Томпсон, Страт, Гиорсо и Сиборг	Беркли, Калифорния
99	Эйнштейний	1952	Чоппин, Томпсон, Гиорсо и Харвей	Беркли, Калифорния
100	Фермий	1952	Чоппин, Томпсон, Гиорсо и Харвей	Беркли, Калифорния
101	Менделевий	1955	Гиорсо, Харвей, Чоппин, Беркли, Калифорния Томпсон и Сиборг	
102	Нобелий	1958	Гиорсо, Сиккелэнд, Беркли, Калифорния Уолтон и Сиборг	
103	Лоуренсий	1961	Гиорсо, Сиккелэнд и Беркли, Калифорния Ларш	
104	Курчатовий	1964?	Приоритет оспаривается*	
105	Нильсборий	1967?	Приоритет оспаривается	

* Вопрос о том, кому принадлежит приоритет в открытии 101 - 108 элементов, рассматривался совместной комиссией ИЮПАП и ИЮПАК под председательством Д. Вилкинсона (Англия). Комиссия пришла к заключению, что часть открытия 104 и 105 элементов должна быть поделена между группами исследователей из Дубны (СССР) и Беркли (США). Заинтересованному читателю можно обратиться к статье В. Станко "Скобки в таблице Менделеева. Эпилог" (Химия и жизнь, 1992, №4, С. 21).

Таблица 2. Открытие элементов (в хронологическом порядке)

Год	Элемент	Первооткрыватель	Место
Известен с доисторических времен	Углерод		
Известна с доисторических времен	Сера		
~5000 до н.э.	Медь		
~3000 до н.э.	Серебро		
~3000 до н.э.	Золото		
~2500 до н.э.	Железо		
~2100 до н.э.	Олово		
~1600 до н.э.	Сурьма		
~1500 до н.э.	Ртуть		
~1000 до н.э.	Свинец		
~1250	Мышьяк	Альберт Великий	Германия
До 1500*	Цинк		
~1500	Висмут		
1669	Фосфор	Бранд Х.	Гамбург
До 1700	Платина		
1735	Кобальт	Брандт Г.	Стокгольм
1751	Никель	Кросштедт	Стокгольм
1755	Магний	Блэк	Эдинбург
1766	Водород	Кавендиш	Лондон
1772	Азот	Резерфорд	Эдинбург
1774	Кислород	Пристили	Лидс
		Шееле	Упсала
1774	Хлор	Шееле	Упсала
1774	Марганец	Ган	Стокгольм
1780	Хром	Воклен	Париж
1781	Молибден	Гъельм	Упсала
1783	Теллур	фон Рейхенштейн	Сибиу, Румыния
1783	Вольфрам	д'Элуяр Ф. и д'Элуяр Х.Х.	Вергара, Испания
1789	Цирконий	Клапрот	Берлин
1789	Уран	Клапрот	Берлин
1791	Титан	Грегор	Крид, Корнуолл
		Клапрот	Берлин
1794	Иттрий	Гадолин	Або, Финляндия
1797	Бериллий	Воклен	Париж
1801	Ванадий	дель Рио	Берлин
1801	Ниобий	Хатчett	Лондон
1802	Тантал	Экеберг	Упсала
1803	Родий	Волластон	Лондон
1803	Палладий	Волластон	Лондон
1803	Церий	Берцелиус и Гизингер	Вестманланд, Швеция
1803	Оsmий	Теннант	Лондон
1803	Иridий	Теннант	Лондон
1807	Натрий	Дэви	Лондон
1807	Калий	Дэви	Лондон
1808	Бор	Гей-Люссак и Тенар	Париж
		Дэви	Лондон
1808	Кальций	Дэви	Лондон
1808	Стронций	Крофорд	Эдинбург
1808	Рутений	Снядецкий	Вильно, Польша

* Цинк был известен в виде сплава с медью - бронзы - еще приблизительно в 20 в до н.э.

Таблица 2. Продолжение

Год	Элемент	Первооткрыватель	Место
1944	Америций	Сиборг, Джеймс, Морган и Гиорсо	Чикаго, Иллинойс
1944	Кюрий	Сиборг, Джеймс и Гиорсо	Беркли, Калифорния
1808	Барий	Дэви	Лондон
1815	Торий	Берцелиус	Стокгольм
1817	Литий	Арфведсон	Стокгольм
1817	Селен	Берцелиус	Стокгольм
1817	Кадмий	Дэви	Лондон
1824	Кремний	Берцелиус	Стокгольм
1825	Алюминий	Эрстед	Копенгаген
1826	Бром	Балар Левиг	Монпелье Гейдельберг
1839	Лантан	Мосандер	Стокгольм
1842	Эrbий	Мосандер	Стокгольм
1843	Тербий	Мосандер	Стокгольм
1860	Цезий	Бунзен и Кирхгоф	Гейдельберг
1861	Рубидий	Бунзен и Кирхгоф	Гейдельберг
1861	Таллий	Крукс	Лондон
1863	Индий	Райх и Рихтер	Фрайберг
1875	Галлий	Лекок де Буабодран	Париж
1878	Гольмий	Клеве Делафонтен и Соре	Упсала Женева
1878	Иттербий	де Мариньяк	Женева
1879	Скандий	Нильсон	Упсала
1879	Самарий	Лекок де Буабодран	Париж
1879	Тулий	Клеве	Упсала
1880	Гадолиний	де Мариньяк	Женева
1881	Иод	Куртуа	Париж
1885	Празеодим	Ауэр фон Вельсбах	Вена
1885	Неодим	Ауэр фон Вельсбах	Вена
1886	Фтор	Муассан	Париж
1886	Германий	Винклер	Фрайберг
1886	Лиспрозий	Лекок де Буабодран	Париж
1894	Аргон	Рэлей и Рамзай	Лондон и Бристоль
1895	Гелий	Рамзай	Лондон
1898	Неон	Рамзай и Траверс	Лондон
1898	Криpton	Рамзай и Траверс	Лондон
1898	Ксенон	Рамзай и Траверс	Лондон
1898	Полоний	Кюри М.	Париж
1898	Радий	Кюри М. и П.	Париж
1899	Актиний	Дебьерн	Париж
1900	Радон	Дорн	Галле
1901	Европий	Демарсе	Париж
1907	Лютеций	Урбэн Джеймс Ган и Мейтнер	Париж Нью-Гэмпшир, США Берлин
1917	Протактиний	Фаянс Содди, Крэнтон и Флек	Карлсруэ Глазго
1923	Гафний	Костер и Хевеши	Копенгаген
1925	Рений	Ноддак, Таке и Берг	Берлин
1937	Технеций	Перье и Серре.	Палермо
1939	Франций	Перей	Париж
1940	Нептуний	Макмиллан и Абельсон	Беркли, Калифорния
1940	Астат	Корсон, Мак-кензи и Серре	Беркли, Калифорния

Таблица 2. Продолжение

Год	Элемент	Первооткрыватель	Место
1940	Плутоний	Сиборг, Валь и Кеннеди	Беркли, Калифорния
1945	Прометий	Марининский, Глендененини Кориэлл	Ок-Ридж, США
1949	Берклий	Томпсон, Гиорсо и Сиборг	Беркли, Калифорния
1950	Калифорний	Томпсон, Страт, Гиорсо и Сиборг	Беркли, Калифорния
1952	Эйнштейний	Чоппин, Томпсон, Гиорсо и Харвей	Беркли, Калифорния
1952	Фермий	Чоппин, Томпсон, Гиорсо и Харвей	Беркли, Калифорния
1955	Менделевий	Гиорсо, Харвей, Чоппин, Томпсон и Сиборг	Беркли, Калифорния
1958	Нобелий	Гиорсо, Сиккелэнд, Уолтон и Сиборг	Беркли, Калифорния
1961	Лоуренсий	Гиорсо, Сиккелэнд и Ларш	Беркли, Калифорния
1964*	Курчатовий	Приоритет оспаривается*	
1967*	Нильсборий	Приоритет оспаривается*	

* Вопрос о том, кому принадлежит приоритет в открытии 101 - 108 элементов, рассматривался совместной комиссией ИЮПАП и ИЮПАК под председательством Д. Вилкинсона (Англия). Комиссия пришла к заключению, что честь открытия 104 и 105 элементов должна быть поделена между группами исследователей из Дубны (СССР) и Беркли (США). Заинтересованному читателю можно обратиться к статье В. Станко "Скобки в таблице Менделеева. Эпилог" (Химия и жизнь. 1992. №4. С. 21).

Таблица 3. Температуры плавления, К

1	Водород	14,01	53	Иод	386,7
2	Гелий	0,95	54	Ксеноны	161,3
3	Литий	453,69	55	Цезий	302,6
4	Бериллий	1551	56	Барий	1002
5	Бор	2573	57	Лантан	1194
6	Углерод (ал- маз)	3820	58	Церий	1072
7	Азот	63,29	59	Празеодим	1204
8	Кислород	54,8	60	Неодим	1294
9	Фтор	53,53	61	Прометий	1441
10	Неон	24,48	62	Самарий	1350
11	Натрий	370,96	63	Европий	1095
12	Магний	922,0	64	Гадолиний	1586
13	Алюминий	933,5	65	Тербий	1629
14	Кремний	1683	66	Диспрозий	1685
15	Фосфор (P_4)	317,3	67	Гольмий	1747
16	Сера (α)	386,0	68	Эрбий	1802
17	Хлор	172,2	69	Тулий	1818
18	Аргон	83,8	70	Иттербий	1097
19	Калий	336,8	71	Лютесций	1936
20	Кальций	1112	72	Гафний	2503
21	Скандий	1814	73	Тантал	3269
22	Титан	1933	74	Вольфрам	3680
23	Ванадий	2160	75	Рений	3453
24	Хром	2130	76	Осмий	3327
25	Марганец	1517	77	Иридий	2683
26	Железо	1808	78	Платина	2045
27	Кобальт	1768	79	Золото	1337,58
28	Никель	1726	80	Ртуть	234,28
29	Медь	1356,6	81	Таллий	576,6
30	Цинк	692,73	82	Свинец	600,65
31	Галлий	302,93	83	Висмут	544,5
32	Германий	1210,6	84	Полоний	527
33	Мышьяк	1090	85	Астат	575 (расчет)
34	Селен	490	86	Радон	202
35	Бром	265,9	87	Франций	300
36	Криптон	116,6	88	Радий	973
37	Рубидий	312,2	89	Актиний	1320
38	Стронций	1042	90	Торий	2023
39	Иттрий	1795	91	Протактиний	2113
40	Цирконий	2125	92	Уран	1405,5
41	Ниобий	2741	93	Нептуний	913
42	Молибден	2890	94	Плутоний	914
43	Технеций	2445	95	Америций	1267
44	Рутений	2583	96	Кюрий	д.о.
45	Родий	2239	97	Берклий	д.о.
46	Палладий	1825	98	Калифорний	д.о.
47	Серебро	1235,1	99	Эйнштейний	д.о.
48	Кадмий	594,1	100	Фермий	д.о.
49	Индий	429,32	101	Менделевий	д.о.
50	Олово (β)	505,118	102	Нобелий	д.о.
51	Сурьма	903,9	103	Лоуренсий	д.о.
52	Теллур	722,7	104	Курчатовий	д.о.
			105	Нильсборий	д.о.

Таблица 4. Температуры плавления, К (в порядке убывания свойства)

6	Углерод (алмаз)	3820	38	Стронций	1042
74	Вольфрам	3680	56	Барий	1002
75	Рений	3453	88	Радий	973
76	Осмий	3327	13	Алюминий	933,5
73	Тантал	3269	12	Магний	922,0
42	Молибден	2890	94	Плутоний	914
41	Ниобий	2741	93	Нептуний	913
77	Иридий	2683	51	Сурьма	903,9
44	Рутений	2583	52	Теллур	722,7
5	Бор	2573	30	Цинк	692,73
72	Гафний	2503	82	Свинец	600,65
43	Технеций	2445	48	Кадмий	594,1
45	Родий	2239	81	Таллий	576,6
23	Ванадий	2160	85	Астат	575 (расчет)
24	Хром	2130	83	Висмут	544,5
40	Цирконий	2125	84	Полоний	527
91	Протактиний	2113	50	Олово (β)	505,118
78	Платина	2045	34	Селен	490
90	Торий	2023	3	Литий	453,69
71	Лютеший	1936	49	Индий	429,32
22	Титан	1933	53	Иод	386,7
46	Палладий	1825	16	Сера (α)	386,0
69	Тулий	1818	11	Натрий	370,96
21	Скандий	1814	19	Калий	336,8
26	Железо	1808	15	Фосфор (P_4)	317,3
68	Эрбий	1802	37	Рубидий	312,2
39	Иттрий	1795	31	Галлий	302,93
27	Кобальт	1768	55	Цезий	302,6
67	Гольмий	1747	87	Франций	300
28	Никель	1726	35	Бром	265,69
66	Диспрозий	1685	80	Ртуть	234,28
14	Кремний	1683	86	Радон	202
65	Тербий	1629	17	Хлор	172,2
64	Гадолиний	1586	54	Ксенон	161,3
4	Берилий	1551	36	Криpton	116,6
25	Марганец	1517	18	Аргон	83,8
61	Прометий	1441	7	Азот	63,29
92	Уран	1405,5	8	Кислород	54,8
29	Медь	1356,6	9	Фтор	53,53
62	Самарий	1350	10	Неон	24,48
79	Золото	1337,58	1	Водород	14,01
89	Актиний	1320	2	Гелий	0,95
60	Неодим	1294	96	Кюрий	д.о.
95	Америций	1267	97	Берклий	д.о.
47	Серебро	1235,1	98	Калифорний	д.о.
32	Германий	1210,6	99	Эйнштейний	д.о.
59	Празеодим	1204	100	Фермий	д.о.
57	Лантан	1194	101	Менделевий	д.о.
20	Кальций	1112	102	Нобелий	д.о.
70	Иттербий	1097	103	Лоуренсий	д.о.
63	Европий	1095	104	Курчатовий	д.о.
33	Мышьяк	1090	105	Нильсборий	д.о.
58	Церий	1072			

Таблица 5. Температуры кипения, К

1	Водород	20,28	54	Ксенон	166,1
2	Гелий	4,216	55	Цезий	951,6
3	Литий	1620	56	Барий	1910
4	Бериллий	3243	57	Лантан	3730
5	Бор	3931	58	Церий	3699
6	Углерод	5100 (возг.)	59	Празеодим	3785
7	Азот	77,4	60	Неодим	3341
8	Кислород	90,19	61	Прометий	~3000
9	Фтор	85,01	62	Самарий	2064
10	Неон	97,10	63	Европий	1870
11	Натрий	1156,1	64	Гадолиний	3539
12	Магний	1363	65	Тербий	3396
13	Алюминий	2740	66	Диспрозий	2835
14	Кремний	2628	67	Гольмий	2968
15	Фосфор (P_4)	553	68	Эрбий	3136
16	Сера	717,824	69	Тулий	2220
17	Хлор	238,6	70	Иттербий	1466
18	Аргон	87,3	71	Лютесций	3668
19	Калий	1047	72	Гафний	5470
20	Кальций	1757	73	Тантал	5698
21	Скандий	3104	74	Вольфрам	5930
22	Титан	3560	75	Рений	5900
23	Ванадий	3650	76	Осмий	5300
24	Хром	2945	77	Иридий	4403
25	Марганец	2235	78	Платина	4100
26	Железо	3023	79	Золото	3080
27	Кобальт	3143	80	Ртуть	629,73
28	Никель	3005	81	Таллий	1730
29	Медь	2840	82	Свинец	2013
30	Цинк	1180	83	Висмут	1833
31	Галлий	2676	84	Полоний	1235
32	Германий	3103	85	Астат	610 (оценка)
33	Мышьяк	889 (возг.)	86	Радон	211,4
34	Селен	958,1	87	Франций	950
35	Бром	331,9	88	Радий	1413
36	Криптон	120,85	89	Актиний	3470
37	Рубидий	961	90	Торий	5060
38	Стронций	1657	91	Протактиний	~4300
39	Иттрий	3611	92	Уран	4018
40	Цирконий	4650	93	Нептуний	4175
41	Ниобий	5015	94	Плутоний	3505
42	Молибден	4885	95	Америций	2880
43	Технеций	5150	96	Кюрий	д.о.
44	Рутений	4173	97	Берклий	д.о.
45	Родий	4000	98	Калифорний	д.о.
46	Палладий	3413	99	Эйнштейний	д.о.
47	Серебро	2485	100	Фермий	д.о.
48	Кадмий	1038	101	Менделевий	д.о.
49	Индий	2353	102	Нобелий	д.о.
50	Олово	2543	103	Лоуренсий	д.о.
51	Сурьма	1908	104	Курчатовий	д.о.
52	Теллур	1263	105	Нильсборий	д.о.
53	Иод	457,50			

Таблица 6. Температуры кипения, К (в порядке убывания свойства)

74	Вольфрам	5930	69	Тулий	2220
75	Рений	5900	62	Самарий	2064
73	Тантал	5698	82	Свинец	2013
72	Гафний	5470	56	Барий	1910
76	Осмий	5300	51	Сурьма	1908
43	Технеций	5150	83	Висмут	1833
6	Углерод	5100 (возг.)	63	Европий	1870
90	Торий	5060	20	Кальций	1757
41	Ниобий	5015	81	Таллий	1730
42	Молибден	4885	38	Стронций	1657
40	Цирконий	4650	3	Литий	1620
77	Иридий	4403	70	Иттербий	1466
91	Протактиний	~4300	88	Радий	1413
93	Нептуний	4175	12	Магний	1363
44	Рутений	4173	52	Теллур	1263
78	Платина	4100	84	Полоний	1235
92	Уран	4018	30	Цинк	1180
45	Родий	4000	11	Натрий	1156,1
5	Бор	3931	19	Калий	1047
59	Празеодим	3785	48	Кадмий	1038
57	Лантан	3730	37	Рубидий	961
58	Церий	3699	34	Селен	958,1
71	Лютесций	3668	55	Цезий	951,6
23	Ванадий	3650	87	Франций	950
39	Иттрий	3611	33	Мышьяк	889 (возг.)
22	Титан	3560	16	Сера	717,824
64	Гадолиний	3539	80	Ртуть	629,73
94	Плутоний	3505	85	Астат	610 (оценка)
89	Актиний	3470	15	Фосфор (P_4)	553
46	Палладий	3413	53	Иод	457,50
65	Тербий	3396	35	Бром	331,9
60	Неодим	3341	17	Хлор	238,6
4	Бериллий	3243	86	Радон	211,4
27	Кобальт	3143	54	Ксенон	166,1
68	Эрбий	3136	36	Криптон	120,85
21	Скандиний	3104	10	Неон	97,10
32	Германий	3103	8	Кислород	90,19
79	Золото	3080	18	Аргон	87,3
26	Железо	3023	9	Фтор	85,01
28	Никель	3005	7	Азот	77,4
61	Прометий	~3000	1	Водород	20,28
67	Гольмий	2968	2	Гелий	4,216
24	Хром	2945	96	Кюрий	д.о.
95	Америций	2880	97	Берклий	д.о.
29	Медь	2840	98	Калифорний	д.о.
66	Диспрозий	2835	99	Эйнштейний	д.о.
13	Алюминий	2740	100	Фермий	д.о.
31	Галлий	2676	101	Менделевий	д.о.
14	Кремний	2628	102	Нобелий	д.о.
50	Олово	2543	103	Лоуренсий	д.о.
47	Серебро	2485	104	Курчатовий	д.о.
49	Индий	2353	105	Нильсборий	д.о.
25	Марганец	2235			

Таблица 7. Энталпии испарения $\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/моль

1	Водород	0,46	54	Ксенон	12,65
2	Гелий	0,082	55	Цезий	66,5
3	Литий	147,7	56	Барий	150,9
4	Бериллий	308,8	57	Лантан	402,1
5	Бор	504,5	58	Церий	398
6	Углерод	710,9	59	Празеодим	357
7	Азот	5,58	60	Неодим	328
8	Кислород	6,82	61	Прометий	д.о.
9	Фтор	3,26	62	Самарий	164,8
10	Неон	1,736	63	Европий	176
11	Натрий	99,2	64	Гадолиний	301
12	Магний	127,6	65	Тербий	391
13	Алюминий	290,8	66	Диспрозий	293
14	Кремний	383,3	67	Гольмий	303
15	Фосфор (P_4)	51,9	68	Эрбий	280
16	Сера	9,62	69	Тулий	247
17	Хлор	20,42	70	Иттербий	159
18	Аргон	6,53	71	Лютесций	428
19	Калий	79,1	72	Гафний	570,7
20	Кальций	150,6	73	Тантал	758,22
21	Скандий	376,1	74	Вольфрам	824,2
22	Титан	425,5	75	Рений	704,25
23	Ванадий	459,7	76	Осмий	738,06
24	Хром	341,8	77	Иридий	612,1
25	Марганец	220,5	78	Платина	469
26	Железо	340,2	79	Золото	343,1
27	Кобальт	382,4	80	Ртуть	59,11
28	Никель	374,8	81	Таллий	166,1
29	Медь	306,7	82	Свинец	177,8
30	Цинк	114,2	83	Висмут	179,1
31	Галлий	270,3	84	Полоний	100,8
32	Германий	327,6	85	Астат	д.о.
33	Мышьяк	31,9	86	Радон	18,1
34	Селен	90	87	Франций	д.о.
35	Бром	30,5	88	Радий	136,7
36	Криптон	9,05	89	Актиний	293
37	Рубидий	75,7	90	Торий	513,7
38	Стронций	154,4	91	Протактиний	481
39	Иттрий	367,4	92	Уран	417,1
40	Цирконий	566,7	93	Нептуний	336,6
41	Ниобий	680,19	94	Плутоний	343,5
42	Молибден	589,9	95	Америций	238,5
43	Технеций	585,2	96	Кюрий	д.о.
44	Рутений	567	97	Берклий	д.о.
45	Родий	494,3	98	Калифорний	д.о.
46	Палладий	361,5	99	Эйнштейний	д.о.
47	Серебро	257,7	100	Фермий	д.о.
48	Кадмий	100,0	101	Менделевий	д.о.
49	Индий	231,8	102	Нобелий	д.о.
50	Олово	296,2	103	Лоуренсий	д.о.
51	Сурьма	165,8	104	Курчатовий	д.о.
52	Теллур	104,6	105	Нильсборий	д.о.
53	Иод	41,67			

Таблица 8. Энталпии испарения $\Delta H_{исп}$, кДж/моль (в порядке убывания свойства)

74	Вольфрам	824,2	83	Висмут	179,1
73	Тантал	758,22	82	Свинец	177,8
76	Оsmий	738,06	63	Европий	176
6	Углерод	710,9	81	Таллий	166,1
75	Рений	704,25	51	Сурьма	165,8
41	Ниобий	680,19	62	Самарий	164,8
77	Иридий	612,1	70	Иттербий	159
42	Молибден	589,9	38	Стронций	154,4
43	Технеций	585,2	56	Барий	150,9
72	Гафний	570,7	20	Кальций	150,6
44	Рутений	567	3	Литий	147,7
40	Цирконий	566,7	88	Радий	136,7
90	Торий	513,7	12	Магний	127,6
5	Бор	504,5	30	Цинк	114,2
45	Родий	494,3	52	Теллур	104,6
91	Протактиний	481	84	Полоний	100,8
78	Платина	469	48	Кадмий	100,0
23	Ванадий	459,7	11	Натрий	99,2
71	Лютеций	428	34	Селен	90
22	Титан	425,5	19	Калий	79,1
92	Уран	417,1	37	Рубидий	75,7
57	Лантан	402,1	55	Цезий	66,5
58	Церий	398	80	Ртуть	59,11
65	Тербий	391	15	Фосфор (P_4)	51,9
14	Кремний	383,3	53	Иод	41,67
27	Кобальт	382,4	33	Мышьяк	31,9
21	Скандий	376,1	35	Бром	30,5
28	Никель	374,8	17	Хлор	20,42
39	Иттрий	367,4	86	Радон	18,1
46	Палладий	361,5	54	Ксенон	12,65
59	Празеодим	357	16	Сера	9,62
94	Плутоний	343,5	36	Криpton	9,05
79	Золото	343,1	8	Кислород	6,82
24	Хром	341,8	18	Аргон	6,53
26	Железо	340,2	7	Азот	5,58
93	Нептуний	336,6	9	Фтор	3,26
60	Неодим	328	10	Неон	1,736
32	Германий	327,6	1	Водород	0,46
4	Бериллий	308,8	2	Гелий	0,082
29	Медь	306,7	61	Прометий	д.о.
67	Гольмий	303	85	Астат	д.о.
64	Гадолиний	301	87	Франций	д.о.
50	Олово	296,2	96	Кюрий	д.о.
66	Диспрозий	293	97	Берклий	д.о.
89	Актиний	293	98	Калифорний	д.о.
13	Алюминий	290,8	99	Эйнштейний	д.о.
68	Эrbий	280	100	Фермий	д.о.
31	Галлий	270,3	101	Менделевий	д.о.
47	Серебро	257,7	102	Нобелий	д.о.
69	Тулий	247	103	Лоуренсий	д.о.
95	Америций	238,5	104	Курчатовий	д.о.
49	Индий	231,8	105	Нильсборий	д.о.
25	Марганец	220,5			

Таблица 9. Энталпии образования в газовой фазе $\Delta H_f^{\text{обр}}$, кДж/моль (298 К; 0,1 МПа)

1	Водород	218,0	54	Ксенон	0
2	Гелий	0	55	Цезий	76,1
3	Литий	159,4	562	Барий	180
4	Бериллий	324,3	57	Лантан	431,0
5	Бор	562,7	58	Церий	423
6	Углерод	716,7	59	Празеодим	355,6
7	Азот	472,7	60	Неодим	327,6
8	Кислород	249,2	61	Прометий	д.о.
9	Фтор	79,0	62	Самарий	206,7
10	Неон	0	63	Европий	175,3
11	Натрий	107,3	64	Гадолиний	397,5
12	Магний	147,7	65	Тербий	388,7
13	Алюминий	326,4	66	Диспрозий	290,4
14	Кремний	455,6	67	Гольмий	300,8
15	Фосфор	314,6	68	Эрбий	317,1
16	Сера	278,8	69	Тулий	232,2
17	Хлор	121,7	70	Иттербий	152,3
18	Аргон	0	71	Лютесций	427,6
19	Калий	89,2	72	Гафний	619,2
20	Кальций	178,2	73	Тантал	782,0
21	Скандий	377,8	74	Вольфрам	849,4
22	Титан	469,9	75	Рений	769,9
23	Ванадий	514,2	76	Осмий	791
24	Хром	396,6	77	Иридий	665,3
25	Марганец	280,7	78	Платина	565,3
26	Железо	416,3	79	Золото	366,1
27	Кобальт	424,7	80	Ртуть	61,3
28	Никель	429,7	81	Таллий	182,2
29	Медь	338,3	82	Свинец	195,0
30	Цинк	130,7	83	Висмут	207,1
31	Галлий	277,0	84	Полоний	146
32	Германий	376,6	85	Астат	д.о.
33	Мышьяк	302,5	86	Радон	0
34	Селен	227,1	87	Франций	72,8
35	Бром	111,9	88	Радий	159
36	Криpton	0	89	Актиний	406
37	Рубидий	80,9	90	Торий	598,3
38	Стронций	164,4	91	Протактиний	607
39	Иттрий	421,3	92	Уран	535,6
40	Цирконий	608,8	93	Нептуний	д.о.
41	Ниобий	725,9	94	Плутоний	д.о.
42	Молибден	658,1	95	Америций	д.о.
43	Технеций	678	96	Кюрий	д.о.
44	Рутений	642,7	97	Берклий	д.о.
45	Родий	556,9	98	Калифорний	д.о.
46	Палладий	378,2	99	Эйнштейний	д.о.
47	Серебро	284,6	100	Фермий	д.о.
48	Кадмий	112,0	101	Менделевий	д.о.
49	Индий	243,3	102	Нобелий	д.о.
50	Олово	302,1	103	Лоуренсий	д.о.
51	Сурьма	262,3	104	Курчатовий	д.о.
52	Теллур	196,7	105	Нильсборий	д.о.
53	Иод	106,8			

Таблица 10. Энталпии образования в газовой фазе $\Delta H^\circ_{\text{обр}}$, кДж/моль (298 К; 0,1 МПа) (в порядке убывания свойства)

74	Вольфрам	849,4	8	Кислород	249,2
76	Оsmий	791	49	Индий	243,3
73	Тантал	782,0	69	Тулий	232,2
75	Рений	769,9	34	Селен	227,1
41	Ниобий	725,9	1	Водород	218,0
6	Углерод	716,7	83	Висмут	207,1
43	Технеций	678	62	Самарий	206,7
77	Иридий	665,3	52	Теллур	196,7
42	Молибден	658,1	82	Свинец	195,0
44	Рутений	642,7	81	Таллий	182,2
72	Гафний	619,2	56	Барий	180
40	Цирконий	608,8	20	Кальций	178,2
91	Протактиний	607	63	Европий	175,3
90	Торий	598,3	38	Стронций	164,4
78	Платина	565,3	3	Литий	159,4
5	Бор	562,7	88	Радий	159
45	Родий	556,9	70	Иттербий	152,3
92	Уран	535,6	12	Магний	147,7
23	Ванадий	514,2	84	Полоний	146
7	Азот	472,7	30	Цинк	130,7
22	Титан	469,9	17	Хлор	121,7
14	Кремний	455,6	48	Кадмий	112,0
57	Лантан	431,0	35	Бром	111,9
28	Никель	429,7	11	Натрий	107,3
71	Лютесций	427,6	53	Иод	106,8
27	Кобальт	424,7	19	Калий	89,2
58	Церий	423	37	Рубидий	80,9
39	Иттрий	421,3	9	Фтор	79,0
26	Железо	416,3	55	Цезий	76,1
89	Актиний	406	87	Франция	72,8
64	Гадолиний	397,5	80	Ртуть	61,3
24	Хром	396,6	2	Гелий	0
65	Тербий	388,7	10	Неон	0
46	Палладий	378,2	18	Аргон	0
21	Скандий	377,8	36	Криптон	0
32	Германий	376,6	54	Ксенон	0
79	Золото	366,1	86	Радон	0
59	Празеодим	355,6	61	Прометий	д.о.
29	Медь	338,3	85	Астат	д.о.
60	Неодим	327,6	93	Нептуний	д.о.
13	Алюминий	326,4	94	Плутоний	д.о.
4	Бериллий	324,3	95	Америций	д.о.
68	Эrbий	317,1	96	Кюрий	д.о.
15	Фосфор	314,6	97	Берклий	д.о.
33	Мышьяк	302,5	98	Калифорний	д.о.
50	Олово	302,1	99	Эйнштейний	д.о.
67	Гольмий	300,8	100	Фермий	д.о.
66	Диспрозий	290,4	101	Менделеевий	д.о.
47	Серебро	284,6	102	Нобелий	д.о.
25	Марганец	280,7	103	Лоуренсий	д.о.
16	Сера	278,8	104	Курчатовий	д.о.
31	Галлий	277,0	105	Нильсборий	д.о.
51	Сурьма	262,3			

Таблица 11. Плотности в твердом состоянии, кг/м³ (при 298 К, если не указано иначе)

1	Водород [11 К]	76,0	54	Ксенон	3540
2	Гелий (жидк., 4 К)	124,8	55	Цезий	1873
3	Литий	534	56	Барий	3594
4	Бериллий	1847,7	57	Лантан	6145
5	Бор	2340	58	Церий (α)	8240
6	Углерод (алмаз)	3513	59	Празеодим	6773
7	Азот [21 К]	1026	60	Неодим	7007
8	Кислород [55 К]	2000	61	Прометий	7220
9	Фтор (жидк., 85 К)	1516	62	Самарий	7520
10	Неон [24 К]	1444	63	Европий	5243
11	Натрий	971	64	Гадолиний	7900,4
12	Магний	1738	65	Тербий	8229
13	Алюминий	2698	66	Диспрозий	8550
14	Кремний	2329	67	Гольмий	8795
15	Фосфор (P_4)	1820	68	Эрбий	9066
16	Сера (α)	2070	69	Тулий	9321
17	Хлор [113 К]	2030	70	Иттербий	6965
18	Аргон [40 К]	1656	71	Лютейций	9840
19	Калий	862	72	Гафний	13310
20	Кальций	1550	73	Тантал	16654
21	Скандиний	2989	74	Вольфрам	19300
22	Титан	4540	75	Рений	21020
23	Ванадий	6110	76	Осмий	22590
24	Хром	7190	77	Иридий	22420
25	Марганец	7440	78	Платина	21450
26	Железо	7874	79	Золото	19320
27	Кобальт	8900	80	Ртуть (жидк.)	13546
28	Никель	8902	81	Таллий	11850
29	Медь	8960	82	Свинец	11350
30	Цинк	7133	83	Висмут	9747
31	Галлий	5907	84	Полоний	9320
32	Германий	5323	85	Астат	д.о.
33	Мышьяк (α)	5780	86	Радон (жидк., 211 К)	4400
34	Селен	4790	87	Франций	д.о.
35	Бром [123 К]	4050	88	Радий	~5000
36	Криптон [117 К]	2823	89	Актиний	10060
37	Рубидий	1532	90	Торий	11720
38	Стронций	2540	91	Протактиний	15370
39	Иттрий	4469			(оценка)
40	Цирконий	6506	92	Уран	18950
41	Ниобий	8570	93	Нептуний	20250
42	Молибден	10220	94	Плутоний	19840
43	Технеций	11500	95	Америций	13670
44	Рутений	12370	96	Кюрий	13300
45	Родий	12410	97	Берклий	14790
46	Палладий	12020	98	Калифорний	д.о.
47	Серебро	10500	99	Эйнштейний	д.о.
48	Кадмий	8650	100	Фермий	д.о.
49	Индий	7310	101	Менделевий	д.о.
50	Олово (β)	7310	102	Нобелий	д.о.
51	Сурьма	6691	103	Лоуренсий	д.о.
52	Теллур	6240	104	Курчатовий	д.о.
53	Иод	4930	105	Нильсборий	д.о.

Таблица 12. Плотности в твердом состоянии, кг/м³ (при 298 К, если не указано иначе) (в порядке убывания свойства)

76	Оsmий	22590	51	Сурьма	6691
77	Иридиум	22420	40	Цирконий	6506
78	Платина	21450	52	Теллур	6240
75	Рений	21020	57	Лантан	6145
93	Нептуний	20250	23	Ванадий	6110
94	Плутоний	19840	31	Галлий	5907
79	Золото	19320	33	Мышьяк (α)	5780
74	Вольфрам	19300	32	Германий	5323
92	Уран	18950	63	Европий	5243
73	Тантал	16654	88	Радий	5000
91	Протактиний	15370 (оценка)	53	Иод	4930
97	Берклий	14790	34	Селен	4790
95	Америций	13670	22	Титан	4540
80	Ртуть (жидк.)	13546	39	Иттрий	4469
72	Гафний	13310	86	Радон (жидк., 211 К)	4400
96	Кюрий	13300	35	Бром [123 К]	4050
45	Родий	12410	56	Барий	3594
44	Рутений	12370	54	Ксенон	3540
46	Палладий	12020	6	Углерод (алмаз)	3513
81	Таллий	11850	21	Скандиний	2989
90	Торий	11720	36	Криптон [117 К]	2823
43	Технеций	11500	13	Алюминий	2698
82	Свинец	11350	38	Стронций	2540
47	Серебро	10500	5	Бор	2340
42	Молибден	10220	14	Кремний	2329
89	Актиний	10060	16	Сера (α)	2070
71	Лютений	9840	17	Хлор [113 К]	2030
83	Висмут	9747	8	Кислород [55 К]	2000
69	Тулий	9321	55	Цезий	1873
84	Полоний	9320	4	Берилий	1847,7
68	Эrbий	9066	15	Фосфор (P4)	1820
29	Медь	8960	12	Магний	1738
28	Никель	8902	18	Аргон [40 К]	1656
27	Кобальт	8900	20	Кальций	1550
67	Гольмий	8795	37	Рубидий	1532
48	Кадмий	8650	9	Фтор (жидк., 85 К)	1516
41	Ниобий	8570	10	Неон [24 К]	1444
66	Диспрозий	8550	7	Азот [21 К]	1026
58	Церий (α)	8240	11	Натрий	971
65	Тербий	8229	19	Калий	862
64	Гадолиний	7900,4	3	Литий	534
26	Железо	7874	2	Гелий (жидк., 4 К)	124,8
62	Самарий	7520	1	Водород [11 К]	76,0
25	Марганец	7440	85	Астат	д.о.
50	Олово (β)	7310	87	Франций	д.о.
49	Индий	7310	98	Калифорний	д.о.
61	Прометий	7220	99	Эйнштейний	д.о.
24	Хром	7190	100	Фермий	д.о.
30	Цинк	7133	101	Менделевий	д.о.
60	Неодим	7007	102	Нобелий	д.о.
70	Иттербий	6965	103	Лоуренсий	д.о.
59	Празеодим	6773	104	Курчатовий	д.о.
			105	Нильсборий	д.о.

Таблица 13. Электрическое сопротивление, 10^{-8} Ом · м, (при 298 К)

1.	Водород	д.о.	54.	Ксенон	д.о.
2.	Гелий	д.о.	55.	Цезий	20,0
3.	Литий	8,55	56.	Барий	50
4.	Бериллий	4,0	57.	Лантан	57
5.	Бор	1,8.1012	58.	Церий	73
6.	Углерод (графит)	1,375.103	59.	Празеодим	68
7.	Азот	д.о.	60.	Неодим	64,0
8.	Кислород	д.о.	61.	Прометий	50 (оценка)
9.	Фтор	д.о.	62.	Самарий	88,0
10.	Неон	д.о.	63.	Европий	90,0
11.	Натрий	4,2	64.	Гадолиний	134,0
12.	Магний	4,45	65.	Тербий	114
13.	Алюминий	2,6548	66.	Диспрозий	57,0
14.	Кремний	1,105	67.	Гольмий	87,0
15.	Фосфор (P_4)	1,1017	68.	Эрбий	87
16.	Сера	2,1023	69.	Тулий	79,0
17.	Хлор	д.о.	70.	Иттербий	29,0
18.	Аргон	д.о.	71.	Лютенций	79,0
19.	Калий	6,15	72.	Гафний	35,1
20.	Кальций	3,43	73.	Тантал	12,45
21.	Скандиний	61,0	74.	Вольфрам	5,65
22.	Титан	42,0	75.	Рений	19,3
23.	Ванадий	24,8	76.	Осмий	8,12
24.	Хром	12,7	77.	Иридий	5,3
25.	Марганец	185,0	78.	Платина	10,6
26.	Железо	9,71	79.	Золото	2,35
27.	Кобальт	6,24	80.	Ртуть	94,1
28.	Никель	6,84	81.	Таллий	18,0
29.	Медь	1,6730	82.	Свинец	20,648
30.	Цинк	5,916	83.	Висмут	106,8
31.	Галлий	27	84.	Полоний	140
32.	Германий	4,6.105	85.	Астат	д.о.
33.	Мышьяк	26	86.	Радон	д.о.
34.	Селен	1,106	87.	Франций	д.о.
35.	Бром	д.о.	88.	Радий	100
36.	Криптон	д.о.	89.	Актиний	д.о.
37.	Рубидий	12,5	90.	Торий	13,0
38.	Стронций	23,0	91.	Протактиний	17,7
39.	Иттрий	57,0	92.	Уран	30,8
40.	Цирконий	40,0	93.	Нептуний	122
41.	Ниобий	12,5	94.	Плутоний	146
42.	Молибден	5,2	95.	Америций	68
43.	Технеций	22,6 (373 К)	96.	Кюрий	д.о.
44.	Рутений	7,6	97.	Берклий	д.о.
45.	Родий	4,51	98.	Калифорний	д.о.
46.	Палладий	10,8	99.	Эйнштейний	д.о.
47.	Серебро	1,59	100.	Фермий	д.о.
48.	Кадмий	6,83	101.	Менделевий	д.о.
49.	Индий	8,37	102.	Нобелий	д.о.
50.	Олово (α)	11,0	103.	Лоуренсий	д.о.
51.	Сурьма	39,0	104.	Курчатовий	д.о.
52.	Теллур	4,36.105	105.	Нильсборий	д.о.
53.	Иод	1,3.1015			

Таблица 14. Электрическое сопротивление, 10^{-8} Ом · м, (при 298 К) (в порядке убывания свойства)

16.	Сера	2.1023	41.	Ниобий	12,5
15.	Фосфор (P_4)	1.1017	73.	Тантал	12,45
53.	Иод	1,3.1015	50.	Олово (α)	11,0
5.	Бор	1,8.1012	46.	Палладий	10,8
34.	Селен	1.106	78.	Платина	10,6
32.	Германий	4,6.105	26.	Железо	9,71
52.	Теллур	4,36.105	3.	Литий	8,55
14.	Кремний	1.105	49.	Индий	8,37
6.	Углерод (графит)	1,375.103	76.	Осмий	8,12
			44.	Рутений	7,6
25.	Марганец	185,0	28.	Никель	6,84
94.	Плутоний	146	48.	Кадмий	6,83
84.	Полоний	140	27.	Кобальт	6,24
64.	Гадолиний	134,0	19.	Калий	6,15
93.	Нептуний	122	30.	Цинк	5,916
65.	Тербий	114	74.	Вольфрам	5,65
83.	Висмут	106,8	77.	Иридий	5,3
88.	Радий	100	42.	Молибден	5,2
80.	Ртуть	94,1	45.	Родий	4,51
63.	Европий	90,0	12.	Магний	4,45
62.	Самарий	88,0	11.	Натрий	4,2
67.	Гольмий	87,0	4.	Бериллий	4,0
68.	Эрбий	87	20.	Кальций	3,43
69.	Тулий	79,0	13.	Алюминий	2,6548
71.	Лютесций	79,0	79.	Золото	2,35
58.	Церий	73	29.	Медь	1,6730
59.	Празеодим	68	47.	Серебро	1,59
95.	Америций	68	1.	Водород	д.о.
60.	Неодим	64,0	2.	Гелий	д.о.
21.	Скандий	61,0	7.	Азот	д.о.
39.	Иттрий	57,0	8.	Кислород	д.о.
57.	Лантан	57	9.	Фтор	д.о.
66.	Диспрозий	57,0	10.	Неон	д.о.
56.	Барий	50	17.	Хлор	д.о.
61.	Прометий	50 (оценка)	18.	Аргон	д.о.
22.	Титан	42,0	35.	Бром	д.о.
40.	Цирконий	40,0	36.	Криптон	д.о.
51.	Сурьма	39,0	54.	Ксенон	д.о.
72.	Гафний	35,1	85.	Астат	д.о.
92.	Уран	30,8	86.	Радон	д.о.
70.	Иттербий	29,0	87.	Франций	д.о.
31.	Галлий	27	89.	Актиний	д.о.
33.	Мышьяк	26	96.	Кюрий	д.о.
23.	Ванадий	24,8	97.	Берклий	д.о.
38.	Стронций	23,0	98.	Калифорний	д.о.
43.	Технеций	22,6 (373 K)	99.	Эйнштейний	д.о.
82.	Свинец	20,648	100.	Фермий	д.о.
55.	Цезий	20,0	101.	Менделевий	д.о.
75.	Рений	19,3	102.	Нобелий	д.о.
81.	Таллий	18,0	103.	Лоуренсий	д.о.
91.	Протактиний	17,7	104.	Курчатовий	д.о.
90.	Торий	13,0	105.	Нильсборий	д.о.
24.	Хром	12,7			
37.	Рубидий	12,5			

Таблица 15. Частоты ЯМР для ядер* в поле 2,3488 Тл ($^{1}\text{H} = 100$ МГц), МГц

1	Водород	100,000	54	Ксенон-129	27,660
2	Гелий-3	76,178	55	Цезий-133	13,117
3	Литий-7	38,863	56	Барий-137	11,113
4	Бериллий-9	14,053	57	Лантан-139	14,126
5	Бор-11	32,084	58	Церий-139	10,862
6	Углерод-13	25,144	59	Празеодим-141	29,291
7	Азот-15	10,133	60	Неодим-143	5,437
8	Кислород-17	13,557	61	Прометий-147	13,51
9	Фтор-19	94,077	62	Самарий-147	4,128
10	Неон-21	7,894	63	Европций-151	24,801
11	Натрий-23	26,451	64	Гадолиний-155	3,819
12	Магний-25	6,120	65	Тербий-159	22,678
13	Алюминий-27	26,057	66	Диспрозий-163	4,583
14	Кремний-29	19,865	67	Гольмий-165	20,513
15	Фосфор-31	40,481	68	Эрбий-167	2,890
16	Сера-33	7,670	69	Тулий-169	8,271
17	Хлор-35	9,798	70	Иттербий-171	17,613
18	Аргон-39	6,6	71	Лютесций-175	11,407
19	Калий-39	4,667	72	Гафний 177	3,120
20	Кальций-43	6,728	73	Тантал-181	11,970
21	Скандий-45	24,290	74	Вольфрам-183	4,161
22	Титан-49	5,638	75	Рений-187	22,513
23	Ванадий-51	26,289	76	Осмий-187	2,282
24	Хром-53	5,652	77	Иридий-191	1,718
25	Марганец-55	24,664	78	Платина-195	21,499
26	Железо-57	3,231	79	Золото-197	1,712
27	Кобальт-59	23,614	80	Ртуть-199	17,827
28	Никель-61	8,936	81	Таллий-205	57,708
29	Медь-63	26,505	82	Свинец-207	20,921
30	Цинк-67	6,254	83	Висмут-209	16,069
31	Галлий-71	30,495	84	Полоний-209	28
32	Германий-73	3,488	85	Астат	д.о.
33	Мышьяк-75	17,126	86	Радон	д.о.
34	Селен-77	19,092	87	Франций	д.о.
35	Бром-81	27,006	88	Радий	д.о.
36	Криптон-83	3,847	89	Актиний-227	13,1
37	Рубидий-87	32,721	90	Торий-229	1,5
38	Стронций-87	4,333	91	Протактиний-231	12,0
39	Иттрий-89	4,899	92	Уран-235	1,790
40	Цирконий-91	9,330	93	Нептуний-237	11,25
41	Ниобий-93	24,442	94	Плутоний-239	3,63
42	Молибден-95	6,514	95	Америций-241	5,76
43	Технеций-99	22,508	96	Кюрий-247	0,75
44	Рутений-101	4,941	97	Берклий	д.о.
45	Родий-103	3,172	98	Калифорний	д.о.
46	Палладий-105	4,576	99	Эйнштейний	д.о.
47	Серебро-109	4,652	100	Фермий	д.о.
48	Кадмий-113	22,182	101	Менделевий	д.о.
49	Индий-115	21,914	102	Нобелий	д.о.
50	Олово-119	37,272	103	Лоуренсий	д.о.
51	Сурьма-121	23,930	104	Курчатовий	д.о.
52	Теллур-125	31,596	105	Нильсборий	д.о.
53	Иод-127	20,007			

* Если ЯМР наблюдается на ядрах двух или большего числа изотопов элемента, то в таблице приводятся данные только для одного, наиболее часто используемого.

Таблица 16. Частоты ЯМР для ядер в поле 2,3488 Тл ($^1\text{H} = 100$ МГц), МГц (в порядке убывания свойства)

1	Водород	100,000	17	Хлор-35	9,798
9	Фтор-19	94,077	40	Цирконий-91	9,330
2	Гелий-3	76,178	28	Никель-61	8,936
81	Таллий-205	57,708	69	Тулий-169	8,271
15	Фосфор-31	40,481	10	Неон-21	7,894
3	Литий-7	38,863	16	Сера-33	7,670
50	Олово-119	37,272	20	Кальций-43	6,728
37	Рубидий-87	32,721	18	Аргон-39	6,6
5	Бор-11	32,084	42	Молибден-95	6,514
52	Теллур-125	31,596	30	Цинк-67	6,254
31	Галлий-71	30,495	12	Магний-25	6,120
59	Празеодим-141	29,291	95	Америций-241	5,76
84	Полоний-209	28	24	Хром-53	5,652
54	Ксенон-129	27,660	22	Титан-49	5,638
35	Бром-81	27,006	60	Неодим-143	5,437
29	Медь-63	26,505	44	Рутений-101	4,941
11	Натрий-23	26,451	39	Иттрий-89	4,899
23	Ванадий-51	26,289	19	Калий-39	4,667
13	Алюминий-27	26,057	47	Серебро-109	4,652
6	Углерод-13	25,144	66	Диспрозий-163	4,583
63	Европий-151	24,801	46	Палладий-105	4,576
25	Марганец-55	24,664	38	Стронций-87	4,333
41	Ниобий-93	24,442	74	Вольфрам-183	4,161
21	Скандий-45	24,290	62	Самарий-147	4,128
51	Сурьма-121	23,930	36	Криптон-83	3,847
27	Кобальт-59	23,614	64	Гадолиний-155	3,819
65	Тербий-159	22,678	94	Плутоний-239	3,63
75	Рений-187	22,513	32	Германий-73	3,488
43	Технеций-99	22,508	26	Железо-57	3,231
48	Кадмий-113	22,182	45	Родий-103	3,172
49	Индий-115	21,914	72	Гафний-177	3,120
78	Платина-195	21,499	68	Эрбий-167	2,890
82	Свинец-207	20,921	76	Осмий-187	2,282
67	Гольмий-165	20,513	92	Уран-235	1,790
53	Иод-127	20,007	77	Иридий-191	1,718
14	Кремний-29	19,865	79	Золото-197	1,712
34	Селен-77	19,092	90	Торий-229	1,5
80	Ртуть-199	17,827	96	Кюрий-247	0,75
70	Иттербий-171	17,613	85	Астат	д.о.
33	Мышьяк-75	17,126	86	Радон	д.о.
83	Висмут-209	16,069	87	Франций	д.о.
57	Лантан-139	14,126	88	Радий	д.о.
4	Бериллий-9	14,053	97	Берклий	д.о.
8	Кислород-17	13,557	98	Калифорний	д.о.
61	Прометий-147	13,51	99	Эйнштейний	д.о.
55	Цезий-133	13,117	100	Фермий	д.о.
89	Актиний-227	13,1	101	Менделевий	д.о.
91	Протактиний-231	12,0	102	Нобелий	д.о.
73	Тантал-181	11,970	103	Лоуренсий	д.о.
71	Лютесций-175	11,407	104	Курчатовий	д.о.
93	Нептуний-237	11,25	105	Нильсборий	д.о.
56	Барий-137	11,113			
58	Церий-139	10,862			
7	Азот-15	10,133			

Таблица 17. Энергии ионизации нейтральных атомов

ΔE (M → M⁺), кДж/моль

1	Водород	1312,0	54	Ксенон	1170,4
2	Гелий	2372,3	55	Цезий	375,7
3	Литий	513,3	56	Барий	502,8
4	Бериллий	899,4	57	Лантан	538,1
5	Бор	800,6	58	Церий	527,4
6	Углерод	1086,2	59	Празеодим	523,1
7	Азот	1402,3	60	Неодим	529,6
8	Кислород	1313,9	61	Прометий	535,9
9	Фтор	1681	62	Самарий	543,3
10	Неон	2080,6	63	Европий	546,7
11	Натрий	495,8	64	Гадолиний	592,5
12	Магний	737,7	65	Тербий	564,6
13	Алюминий	577,4	66	Диспрозий	571,9
14	Кремний	786,5	67	Гольмий	580,7
15	Фосфор	1011,7	68	Эrbий	588,7
16	Сера	999,6	69	Тулий	596,7
17	Хлор	1251,1	70	Иттербий	603,4
18	Аргон	1520,4	71	Лютесций	523,5
19	Калий	418,8	72	Гафний	642
20	Кальций	589,7	73	Тантал	761
21	Скандий	631	74	Вольфрам	770
22	Титан	658	75	Рений	760
23	Ванадий	650	76	Осмий	840
24	Хром	652,7	77	Иридий	880
25	Марганец	717,4	78	Платина	870
26	Железо	759,3	79	Золото	890,1
27	Кобальт	760,0	80	Ртуть	1007,0
28	Никель	736,7	81	Таллний	589,3
29	Медь	745,4	82	Свинец	715,5
30	Цинк	906,4	83	Висмут	703,2
31	Галлий	578,8	84	Полоний	812
32	Германий	762,1	85	Астат	930
33	Мышьяк	947,0	86	Радон	1037
34	Селен	940,9	87	Франций	400
35	Бром	1139,9	88	Радий	509,3
36	Криптон	1350,7	89	Актиний	499
37	Рубидий	403,0	90	Торий	587
38	Стронций	549,5	91	Протактиний	568
39	Иттрий	616	92	Уран	584
40	Цирконий	660	93	Нептуний	597
41	Ниобий	664	94	Плутоний	585
42	Молибден	685,0	95	Америций	578,2
43	Технеций	702	96	Кюрий	581
44	Рутений	711	97	Берклий	601
45	Родий	720	98	Калифорний	608
46	Палладий	805	99	Эйнштейний	619
47	Серебро	731,0	100	Фермий	627
48	Кадмий	867,6	101	Менделевий	635
49	Индий	558,3	102	Нобелий	642
50	Олово	708,6	103	Лоуренсий	д.о.
51	Сурьма	833,7	104	Курчатовий	д.о.
52	Теллур	869,2	105	Нильсборий	д.о.
53	Иод	1008,4			

**Таблица 18. Энергии ионизации нейтральных атомов ΔE ($M \rightarrow M^+$), кДж/моль
(в порядке убывания свойства)**

2	Гелий	2372,3	22	Титан	658
10	Неон	2080,6	24	Хром	652,7
9	Фтор	1681	23	Ванадий	650
18	Аргон	1520,4	72	Гафний	642
7	Азот	1402,3	102	Нобелий	642
36	Криптон	1350,7	101	Менделевий	635
8	Кислород	1313,9	21	Скандий	631
1	Водород	1312,0	100	Фермий	627
17	Хлор	1251,1	99	Эйнштейний	619
54	Ксенон	1170,4	39	Иттрий	616
35	Бром	1139,9	98	Калифорний	608
6	Углерод	1086,2	70	Иттербий	603,4
86	Радон	1037	97	Берклий	601
15	Фосфор	1011,7	93	Нептуний	597
53	Иод	1008,4	69	Тулий	596,7
80	Ртуть	1007,0	64	Гадолиний	592,5
16	Сера	999,6	20	Кальций	589,7
33	Мышьяк	947,0	81	Таллий	589,3
34	Селен	940,9	68	Эрбий	588,7
85	Астат	930	90	Торий	587
30	Цинк	906,4	94	Плутоний	585
4	Бериллий	899,4	92	Уран	584
79	Золото	890,1	96	Кюрий	581
77	Иридий	880	67	Гольмий	580,7
78	Платина	870	31	Галлий	578,8
52	Теллур	869,2	95	Америций	578,2
48	Кадмий	867,6	13	Алюминий	577,4
76	Осмий	840	66	Диспрозий	571,9
51	Сурьма	833,7	91	Протактиний	568
84	Полоний	812	65	Тербий	564,6
46	Палладий	805	49	Индий	558,3
5	Бор	800,6	38	Стронций	549,5
14	Кремний	786,5	63	Европий	546,7
74	Вольфрам	770	62	Самарий	543,3
32	Германий	762,1	57	Лантан	538,1
73	Тантал	761	61	Прометий	535,9
27	Кобальт	760,0	60	Неодим	529,6
75	Рений	760	58	Церий	527,4
26	Железо	759,3	71	Лютесций	523,5
29	Медь	745,4	59	Празеодим	523,1
12	Магний	737,7	3	Литий	513,3
28	Никель	736,7	88	Радий	509,3
47	Серебро	731,0	56	Барий	502,8
45	Родий	720	89	Актиний	499
25	Марганец	717,4	11	Натрий	495,8
82	Свинец	715,5	19	Калий	418,8
44	Рутений	711	37	Рубидий	403,0
50	Олово	708,6	87	Франций	400
83	Висмут	703,2	55	Цезий	375,7
43	Технеций	702	103	Лоуренсий	д.о.
42	Молибден	685,0	104	Курчатовий	д.о.
41	Ниобий	664	105	Нильсборий	д.о.
40	Цирконий	660			

Таблица 19. Распространенность в земной коре, 10⁴ %

1	Водород	1520	54	Ксенон	2 · 10 ⁻⁶
2	Гелий	0,008	55	Цезий	3
3	Литий	20.	56	Барий	500
4	Бериллий	2,6	57	Лантан	32
5	Бор	10	58	Церий	68
6	Углерод	480	59	Празеодим	9,5
7	Азот	25	60	Неодим	38
8	Кислород	474000	61	Прометий	Следы
9	Фтор	950	62	Самарий	7,9
10	Неон	7 · 10 ⁻⁵	63	Европий	2,1
11	Натрий	23000	64	Гадолиний	77,7
12	Магний	23000	65	Тербий	1,1
13	Алюминий	82000	66	Диспрозий	6
14	Кремний	277000	67	Гольмий	1,4
15	Фосфор	1000	68	Эрбий	3,8
16	Сера	260	69	Тулий	0,48
17	Хлор	130	70	Иттербий	5,3
18	Аргон	1,2	71	Лютесций	0,51
19	Калий	21000	72	Гафний	3,3
20	Кальций	41000	73	Тантал	2
21	Скандий	16	74	Вольфрам	1
22	Титан	5600	75	Рений	4 · 10 ⁻⁴
23	Ванадий	160	76	Осмий	1 · 10 ⁻⁴
24	Хром	100	77	Иридий	3 · 10 ⁻⁶
25	Марганец	950	78	Платина	~0,001
26	Железо	41000	79	Золото	0,0011
27	Кобальт	20	80	Ртуть	0,05
28	Никель	80	81	Таллий	0,6
29	Медь	50	82	Свинец	14
30	Цинк	75	83	Висмут	0,048
31	Галлий	18	84	Полоний	Следы
32	Германий	1,8	85	Астат	Следы
33	Мышьяк	1,5	86	Радон	Следы
34	Селен	0,05	87	Франций	Отсутствует
35	Бром	0,37	88	Радий	6 · 10 ⁻⁷
36	Криптон	1 · 10 ⁻⁵	89	Актиний	Следы
37	Рубидий	90	90	Торий	12
38	Стронций	370	91	Протактиний	Следы
39	Иттрий	30	92	Уран	2,4
40	Цирконий	190	93	Нептуний	Отсутствует
41	Ниобий	20	94	Плутоний	Следы
42	Молибден	1,5	95	Америций	Отсутствует
43	Технеций	7 · 10 ⁻⁴	96	Кюрий	Отсутствует
44	Рутений	~0,001	97	Берклий	Отсутствует
45	Родий	2 · 10 ⁻⁴	98	Калифорний	Отсутствует
46	Палладий	6 · 10 ⁻⁴	99	Эйнштейний	Отсутствует
47	Серебро	0,07	100	Фермий	Отсутствует
48	Кадмий	0,11	101	Менделевий	Отсутствует
49	Индий	0,049	102	Нобелий	Отсутствует
50	Олово	2,2	103	Лоуренсий	Отсутствует
51	Сурьма	0,2	104	Курчатовий	Отсутствует
52	Теллур	~0,005	105	Нильсборий	Отсутствует
53	Иод	0,14			

Таблица 20. Распространенность в земной коре, 10⁴ % (в порядке убывания свойства)

8	Кислород	474000	42	Молибден	1,5
14	Кремний	277000	67	Гольмий	1,4
13	Алюминий	82000	18	Аргон	1,2
20	Кальций	41000	65	Тербий	1,1
26	Железо	41000	74	Вольфрам	1
11	Натрий	23000	81	Таллий	0,6
12	Магний	23000	71	Лютесций	0,51
19	Калий	21000	69	Тулий	0,48
22	Титан	5600	35	Бром	0,37
1	Водород	1520	51	Сурьма	0,2
15	Фосфор	1000	53	Иод	0,14
9	Фтор	950	48	Кадмий	0,11
25	Марганец	950	47	Серебро	0,07
56	Барий	500	34	Селен	0,05
6	Углерод	480	80	Ртуть	0,05
38	Стронций	370	49	Индий	0,049
16	Сера	260	83	Висмут	0,048
40	Цирконий	190	2	Гелий	0,008
23	Ванадий	160	52	Теллур	~0,005
17	Хлор	130	79	Золото	0,0011
24	Хром	100	44	Рутений	~0,001
37	Рубидий	90	78	Платина	~0,001
28	Никель	80	43	Технеций	7 · 10 ⁻⁴
64	Гадолиний	77,7	46	Палладий	6 · 10 ⁻⁴
30	Цинк	75	75	Рений	4 · 10 ⁻⁴
58	Церий	68	45	Родий	2 · 10 ⁻⁴
29	Медь	50	76	Осмий	1 · 10 ⁻⁴
60	Неодим	38	10	Неон	7 · 10 ⁻⁵
57	Лантан	32	36	Криптон	1 · 10 ⁻⁵
39	Иттрий	30	77	Иридий	3 · 10 ⁻⁶
7	Азот	25	54	Ксенон	2 · 10 ⁻⁶
3	Литий	20	88	Радий	6 · 10 ⁻⁷
27	Кобальт	20	61	Прометий	Следы
41	Ниобий	20	84	Полоний	Следы
31	Галлий	18	85	Астат	Следы
21	Скандий	16	86	Радон	Следы
82	Свинец	14	89	Актиний	Следы
90	Торий	12	91	Протактиний	Следы
5	Бор	10	94	Плутоний	Следы
59	Празеодим	9,5	87	Франций	Отсутствует
62	Самарий	7,9	93	Нептуний	Отсутствует
66	Диспрозий	6	95	Америций	Отсутствует
70	Иттербий	5,3	96	Кюрий	Отсутствует
68	Эрбий	3,8	97	Берклий	Отсутствует
72	Гафний	3,3	98	Калифорний	Отсутствует
55	Цезий	3	99	Эйнштейний	Отсутствует
4	Бериллий	2,6	100	Фермий	Отсутствует
92	Уран	2,4	101	Менделевий	Отсутствует
50	Олово	2,2	102	Нобелий	Отсутствует
63	Европий	2,1	103	Лоуренсий	Отсутствует
73	Тантал	2	104	Курчатовий	Отсутствует
32	Германий	1,8	105	Нильсборий	Отсутствует
33	Мышьяк	1,5			

СОДЕРЖАНИЕ

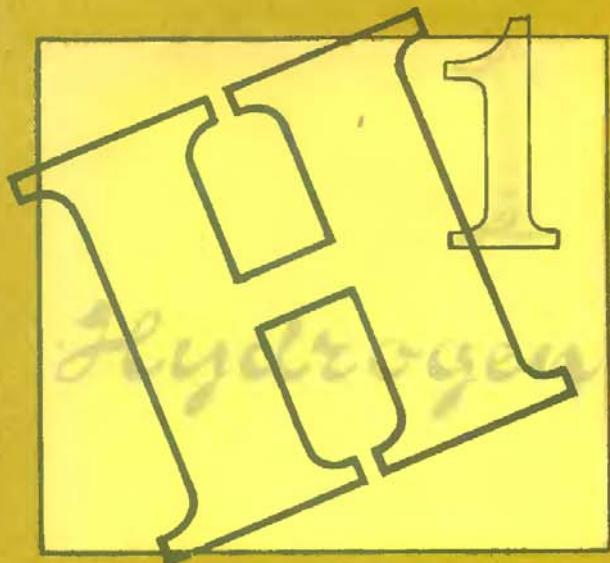
Предисловие ко второму изданию.....	5
Предисловие к первому изданию	6
Как пользоваться справочником	7
Элементы.....	17
Азот	18
Актиний	20
Алюминий.....	22
Америций.....	24
Аргон	26
Астат	28
Барий	30
Бериллий	32
Берклий	34
Бор	36
Бром.....	38
Ванадий	40
Висмут	42
Водород	44
Вольфрам.....	46
Гадолиний.....	48
Галлий	50
Гафний.....	52
Гелий	54
Германий	56
Гольмий	58
Диспрозий.....	60
Европий	62
Железо.....	64
Золото	66
Индий	68
Иод.....	70
Иридий.....	72
Иттербий	74
Иттрий	76
Кадмий.....	78
Калий.....	80
Калифорний.....	82
Кальций	84
Кислород.....	86
Кобальт.....	88
Кремний.....	90
Криптон	92

Ксенон	94
Курчатовий	96
Кюрий	98
Лантан	100
Литий	102
Лоуренсий	104
Лютеций	106
Магний	108
Марганец	110
Медь	112
Менделевий	114
Молибден	116
Мышьяк	118
Натрий	120
Неодим	122
Неон	124
Нептуний	126
Никел	128
Нильсборий	130
Ниобий	132
Нобелий	134
Олово	136
Осмий	138
Палладий	140
Платина	142
Плутоний	144
Полоний	146
Празеодим	148
Прометий	150
Протактиний	152
Радий	154
Радон	156
Рений	158
Родий	160
Ртуть	162
Рубидий	164
Рутений	166
Самарий	168
Свинец	170
Селен	172
Сера	174
Серебро	176
Скандий	178
Стронций	180
Сурьма	182
Таллий	184
Тантал	186
Теллур	188
Тербий	190
Технеций	192
Титан	194
Торий	196
Тулий	198

Углерод	200
Уран	202
Фермий	204
Фосфор	206
Франций	208
Фтор	210
Хлор	212
Хром	214
Цезий	216
Церий	218
Цинк	220
Цирконий	222
Эйнштейний	224
Эрбий	226
Сводные таблицы	229

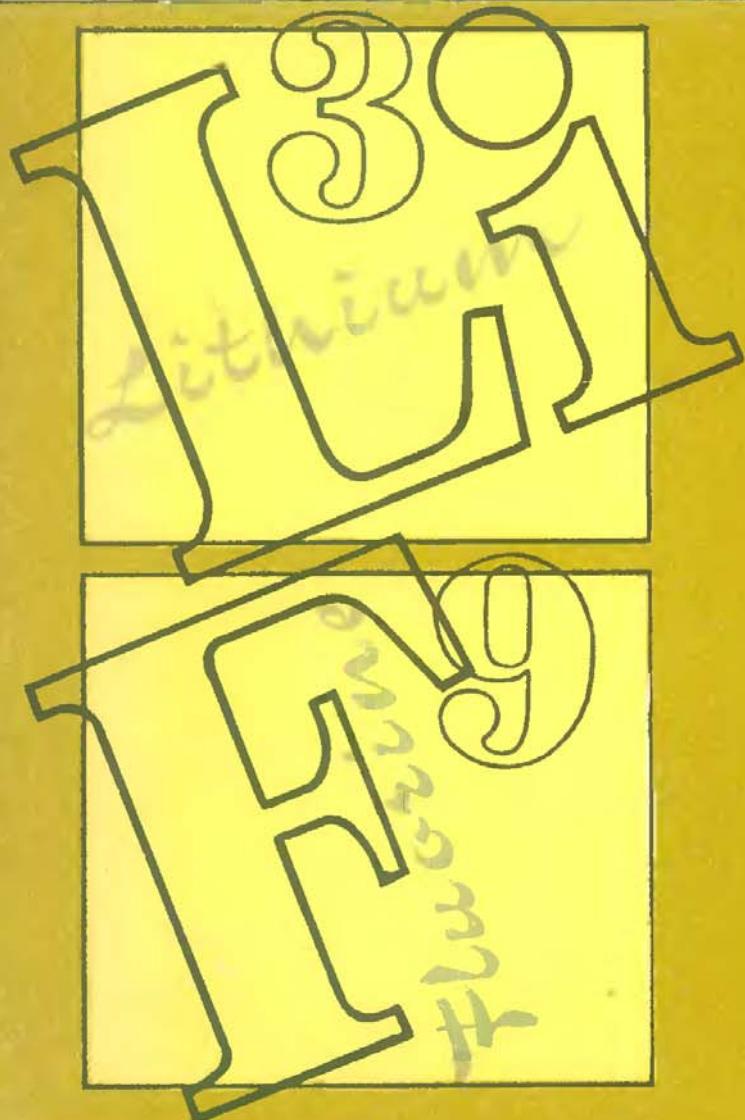
Относительные атомные массы элементов

1 Водород	1.0079	54 Ксенон	131.30
2 Гелий	4.00260	55 Цезий	132.9054
3 Литий	6.941	56 Барий	137.33
4 Бериллий	9.01218	57 Лантан	138.9055
5 Бор	10.81	58 Церий	140.12
6 Углерод	12.011	59 Празеодим	140.9077
7 Азот	14.0067	60 Неодим	144.24
8 Кислород	15.9994	61 Прометий	(145)
9 Фтор	18.998403	62 Самарий	150.4
10 Неон	20.179	63 Европий	151.96
11 Натрий	22.98977	64 Гадолиний	157.25
12 Магний	24.305	65 Тербий	158.9254
13 Алюминий	26.98154	66 Диспрозий	162.50
14 Кремний	28.0855	67 Гольмий	164.9304
15 Фосфор	30.97376	68 Эрбий	167.26
16 Сера	32.06	69 Тулий	168.9342
17 Хлор	35.453	70 Иттербий	173.04
18 Аргон	39.948	71 Литий	174.967
19 Калий	39.0983	72 Гафний	178.49
20 Кальций	40.08	73 Тантал	180.9479
21 Скандий	44.9559	74 Вольфрам	183.85
22 Титан	47.90	75 Рений	186.207
23 Ванадий	50.9415	76 Осмий	190.2
24 Хром	51.996	77 Иридий	192.22
25 Марганец	54.9380	78 Платина	195.09
26 Железо	55.847	79 Золото	196.9665
27 Кобальт	58.9332	80 Ртуть	200.59
28 Никель	58.70	81 Таллий	204.37
29 Медь	63.546	82 Свинец	207.2
30 Цинк	65.38	83 Висмут	208.9804
31 Галлий	69.735	84 Полоний	(209)
32 Германий	72.59	85 Астат	(210)
33 Мышьяк	74.9216	86 Радон	(222)
34 Селен	78.96	87 Франций	(223)
35 Бром	79.904	88 Радий	226.0254
36 Криптон	83.80	89 Актиний	(227)
37 Рубидий	85.4678	90 Торий	232.0381
38 Стронций	87.62	91 Протактиний	231.0359
39 Иттрий	88.9059	92 Уран	238.029
40 Цирконий	91.22	93 Нептуний	237.0482
41 Ниобий	92.9064	94 Плутоний	(244)
42 Молибден	95.94	95 Америций	(243)
43 Технеций	98.9062	96 Кюрий	(247)
44 Рубидий	101.17	97 Берклий	(247)
45 Родий	102.9055	98 Калифорний	(251)
46 Палладий	106.4	99 Эйнштейний	(254)
47 Серебро	107.868	100 Фермий	(257)
48 Кадмий	112.41	101 Менделевий	(258)
49 Индий	114.82	102 Нобелий	(259)
50 Олово	118.69	103 Лоуренций	(260)
51 Сурьма	121.75	104 Курчатовий	(261)
52 Теллур	127.60	105 Нильсборий	(262)
53 Иод	126.9045		



Дж.Эмсли

Элементы



Издательство
«Мир»

В справочнике систематизированы ключевые сведения по химическим элементам, из которых состоит окружающий нас мир. Сведения удобно расположены, элементы следуют алфавитному порядку, в начале для каждого элемента приведена информация, интересная не только для химиков, но и для физиков, спектроскопистов, специалистов по охране окружающей среды и, по-видимому, вообще для ученых.

Этот справочник должен стоять на полке каждого ученого, уже не говоря о том, что он должен войти в обязательный фонд всех библиотек учебных заведений любого уровня (школ, лицеев, гимназий, средних учебных заведений, университетов, институтов, академий).

По каждому элементу включена следующая информация:

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">• когда элемент открыт• кто автор открытия• где совершено открытие• происхождение названия элемента• реакционноспособность к кислотам и щелочам• устойчивость на воздухе и в воде• стандартные потенциалы восстановления• атомные и ионные радиусы• электроотрицательность• состояния окисления• формулы оксидов, галогенидов и устойчивых водных форм• энергия и длина связей с другими элементами• температуры плавления и кипения• теплота плавления и испарения• энталпия, энтропия и удельная теплоемкость• плотность• теплопроводность• электрическое сопротивление• удельная магнитная восприимчивость• температурный коэффициент линейного расширения• мольный объем• тип кристаллической решетки | <ul style="list-style-type: none">• массовые коэффициенты поглощения (рентгенография)• сечение захвата тепловых нейtronов• стабильные изотопы• главные радиоактивные изотопы• ядерный спин и ядерный магнитный момент• данные по ЯМР• основное электронное состояние• терм• сродство к электрону• энергия ионизации• основные линии в атомном спектре• распространенность в земной коре• распространенность на Солнце• содержание в океанах• степень окисления в морской воде• время пребывания и геохимическая классификация• основные руды• известные источники получения• биологическая роль• содержание в тканях и жидкостях человеческого организма (мышцах, костях и крови)• суточное поступление с пищей• токсическая и летальная дозы• усредненное содержание в организме человека |
|--|---|

Все числовые данные приведены в единицах СИ, во вводной главе объясняется как перейти к другим, более употребительным размерностям. В конце книги помещена серия сводных таблиц для некоторых свойств элементов, причем для каждого свойства приведено по две таблицы; первая составлена в порядке увеличения атомного номера элемента, вторая - в порядке уменьшения величины свойства.