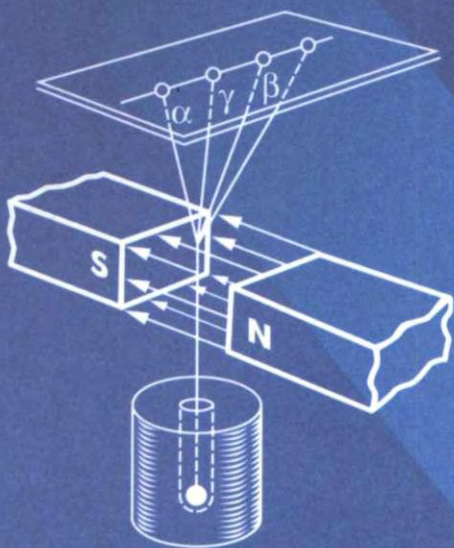


Лабораторные работы

в школе и дома

7/11



В. Ф. Шилов

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА



ПРОСВЕЩЕНИЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я72
Ш59

Шилов В. Ф.

Ш59 Лабораторные работы в школе и дома : квантовая физика / В. Ф. Шилов. — М. : Просвещение, 2006. — 96 с. : ил. — ISBN 5-09-014665-9.

Пособие предназначено для учащихся основной и средней школы и ориентировано на учебники, рекомендованные Министерством образования и науки РФ.

Система лабораторных работ по атомной и ядерной физике с использованием традиционных и современных цифровых приборов построена по принципу от простого к сложному. Самостоятельная познавательная деятельность позволит учащимся выйти на новые направления применения приборов, на конструирование собственных экспериментальных установок, полезных в быту и окружающей действительности.

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я72

Учебное издание

Шилов Валентин Федорович

Лабораторные работы в школе и дома

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

Зав. редакцией *В. И. Егудин*. Редактор *В. В. Жумаев*.

Художественный редактор *Т. В. Морозова*. Художник *В. С. Давыдов*.

Технический редактор *С. В. Щербакова*. Корректоры *В. М. Гончар*, *Н. А. Юсупова*

Налоговая льгота — Общероссийский классификатор продукции ОК 005-93—953000. Изд. лиц. Серия ИД № 05824 от 12.09.01. Подписано в печать с оригинал-макета 14.03.06. Формат 70×90^{1/16}. Бумага писчая. Гарнитура Ньютон. Печать офсетная. Уч.-изд. л. 6,22. Тираж 5000 экз. Заказ № 16453.

Открытое акционерное общество «Издательство «Просвещение».
127521, г. Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, д. 41.

Отпечатано в ОАО «Саратовский полиграфический комбинат».
410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 59.

ISBN 5-09-014665-9

© Издательство «Просвещение», 2006
© Художественное оформление.
Издательство «Просвещение», 2006
Все права защищены

Предисловие

Физику знает хорошо тот школьник, который самостоятельно ставит опыты, еще лучше знает ее тот, кто сам делает приборы для этих опытов.

Академик П. Л. Капица

Проект стандарта физического образования предполагает, что в процессе изучения курса физики в средней школе учащиеся должны овладеть следующими приемами и методами экспериментальной физики:

— собирать экспериментальные установки по предложенному описанию, рисунку или схеме, самостоятельно проводить наблюдение за изучаемыми явлениями;

— измерять физические величины прямыми и косвенными методами с применением как аналоговых, так и цифровых измерительных приборов;

— представлять результаты проведенных измерений в виде таблиц, графиков, диаграмм, математических формул, а затем по систематизированным данным выявлять эмпирические закономерности, предусмотренные программами того или иного уровня;

— на основе теоретического материала учебника объяснять результаты наблюдений и экспериментов, полученные при проведении лабораторных работ;

— уметь применять выявленные экспериментальные зависимости для предсказания хода развития явления или процесса;

— использовать результаты наблюдений и экспериментов для выдвижения гипотез, извлекать из последних следствия и подвергать их экспериментальной проверке;

— изучать функции и назначение физических приборов, обоснованно производить их выбор для получения достоверного результата в процессе эксперимента;

— при обосновании достоверности результата, полученного в процессе наблюдений и экспериментов, уметь определять относительную и абсолютную погрешности измеряемой физической величины.

Конечно же, вся эта совокупность требований не может быть реализована в процессе выполнения лабораторных работ, представленных в учебниках того или иного авторского коллектива.

Нужна новая технология проведения лабораторных работ, именно ее автор и предлагает в данном пособии. Суть этой технологии состоит

в значительном расширении тематики лабораторных работ, в интенсивном использовании традиционных и новых измерительных приборов и оборудования. Синтез традиционного, зачастую исчерпавшего свои ресурсы и нового (в том числе и бытового назначения) учебного оборудования позволит учителю, а по возможности и каждому ученику, во-первых, выполнить программные требования, во-вторых, понять необходимость физических знаний как в настоящей, так и в будущей деятельности каждого индивидуума.

Предлагаемая в данном пособии технология формирования экспериментальных умений и навыков позволит:

1. Воссоздавать, идентифицировать, наблюдать и описывать суть изучаемого физического явления или процесса.
2. Усваивать логику изучения разнообразных физических приборов, их сферу и границы применения.
3. Проводить измерения физических величин как для выявления эмпирических закономерностей, так и для оптимального использования разнообразных технических устройств в бытовой сфере.
4. Конструировать необходимые для ведения домашнего хозяйства приборы и приспособления, экспериментальные установки и модели для углубленного изучения явлений природы.

ИЗЛУЧАТЕЛИ И ПРИЕМНИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ

§ 1. КВАНТОВЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ РАЗЛИЧНЫХ ДИАПАЗОНОВ

1. Лазерные излучатели. В настоящее время на рынке товаров каждый может приобрести лазерную указку (рис. 1). Это полупроводниковое устройство, излучающее свет на одной или нескольких частотах в видимом либо инфракрасном диапазоне. Указка является инжекционным лазером и представляет собой полупроводниковый диод особой конструкции. Главным его элементом служит тонкий активный слой толщиной $0,1-0,5$ мкм из слаболегированного или нелегированного полупроводникового материала, например GaAs или InP, размером $0,1 \times 0,1 \times 0,3$ мм (рис. 2). Этот слой ограничен слоями запрещенной зоны: AlGaAsP или GaInPAs. Запрещенная зона — это энергетический барьер, который нужно преодолеть электрону, чтобы оторваться от решетки и перейти из валентной энергетической зоны в зону проводимости.

Контакт слоев с различной шириной запрещенных зон образует гетеропереход. Такой инжекционный лазер (ИЛ) называют лазером на двойной гетероструктуре (ДГС), упрощенный вид которой показан на рисунке 2.

Для генерации когерентного излучения через многослойную полупроводниковую структуру пропускают ток. При этом в активном слое происходит лазерная генерация. За счет пропускания тока через лазерный диод, т. е. инжекции дырок с одной стороны слоя и электронов с другой, повышается концентрация тех и других носителей тока по сравнению с равновесной.

Гетеропереходы препятствуют утечке носителей в соседние слои. Это повышает эффективность устройства и оно может работать при комнатной температуре. Кроме того, соотношение показателей преломления активного и соседних слоев устройства таково, что активный слой образует планарный оптический волновод, способный удерживать излучение.

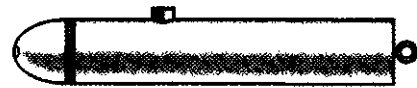


Рис. 1

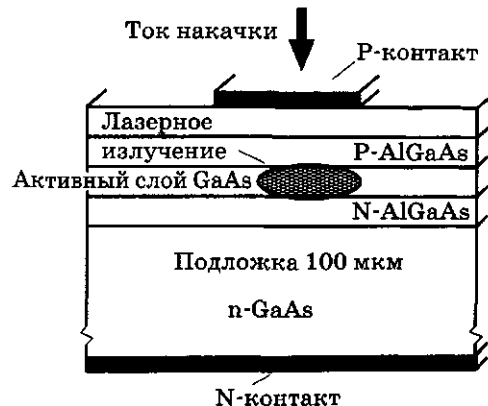


Рис. 2

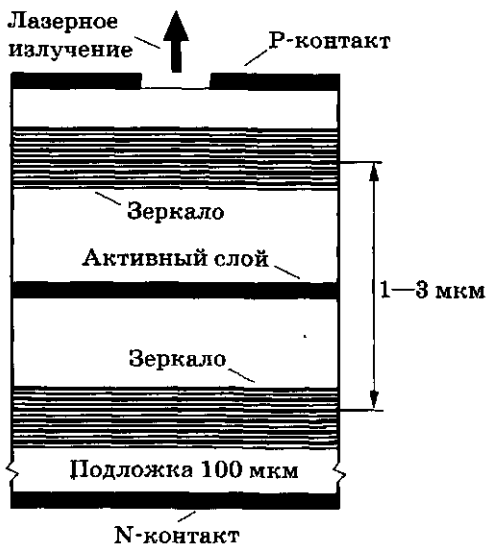


Рис. 3



Рис. 4

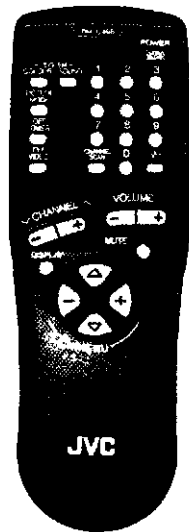


Рис. 5

При повышении определенной концентрации избыточных носителей тока в активном слое становится возможным вынужденное усиление. Оно происходит тогда, когда распространяющийся в волноводе фотон рождает еще один фотон, который абсолютно идентичен по фазе и амплитуде, т. е. когерентен исходному. При этом происходит исчезновение (рекомбинация) одной электронно-дырочной пары и концентрация носителей тока уменьшается.

Кроме усилительного элемента, роль которого в полупроводниковом лазере выполняет активный слой, для создания любого генератора необходима положительная обратная связь. В лазерах эту функцию осуществляет оптический резонатор (рис. 3), который создается путем скалывания выращенной многослойной кристаллической структуры в поперечном к распространению излучения направлении. Кристаллическая природа полупроводниковых материалов обеспечивает идеальность зеркал. Коэффициент отражения зеркал на границе полупроводник — воздух для инжекторных лазеров, изготовленных на базе GaAs, по мощности приближается к 30%. В результате в полупроводниковом кристаллике получают необходимые и достаточные элементы для создания лазера: когерентное усиление и положительную обратную связь.

Инжекторные лазеры нашли наибольшее применение в качестве передатчиков в волоконно-оптических линиях связи, в устройствах локации и навигации для космических аппаратов. Они широко используются в бытовых приборах для записи и отображения информации: CD-проигрыватели, CD-ROM-дисководы, сканеры, принтеры и др.

2. Светодиоды. В настоящее время на рынке товаров можно приобрести светодиоды различной конструкции и назначения. В зависимости

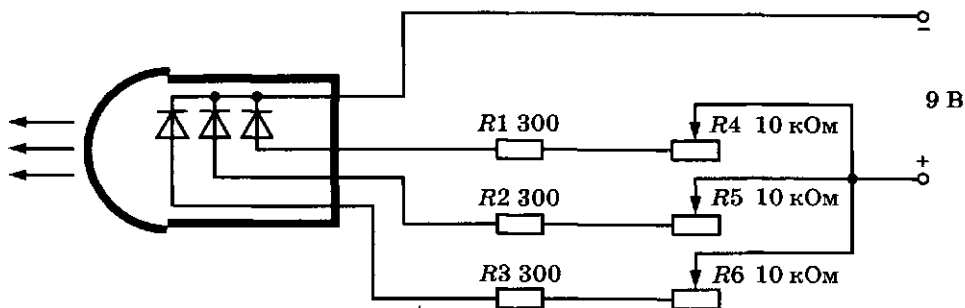


Рис. 6

от кристалла и вида вводимых в него примесей светодиод дает излучение, начиная от инфракрасной части спектра и кончая его ультрафиолетовой частью.

Светодиоды, излучающие инфракрасные лучи, используются в различных пультах управления бытовыми приборами, например видеоманитофоном (рис. 4), телевизором (рис. 5).

Светодиоды, излучающие лучи видимой части спектра (в том числе и лучи белого цвета), применяются в качестве индикаторов в цифровых индикаторных и измерительных приборах, в качестве табло для различной знаковой информации.

Для постановки эксперимента по физике наиболее интересны **полноцветные** светодиоды, состоящие из нескольких источников разного цвета, собранных под одной линзой (рис. 6). Такие светодиоды могут светиться как одним из трех основных цветов (красным, зеленым, синим), так и другими цветами гаммы, если напряжение питания будет подано одновременно на несколько кристаллов. Для исследования цветовых возможностей этих светодиодов собирают электрическую цепь (см. рис. 6). С помощью переменных резисторов регулируют ток в любом кристалле и соответственно суммируют яркость и цвет свечения светодиода. Например, при смешивании в определенных пропорциях излучаемой световой энергии зеленого и синего кристаллов можно получить голубой цвет. Если точно подобрать коэффициенты световой энергии трех основных цветов (красного, зеленого, синего), можно получить белый цвет.

3. Косметический прибор «Фотон» (рис. 7) — источник ультрафиолетового излучения с длиной волны от 230 до 290 нм.

4. Экран работающего телевизора — источник ультрафио-

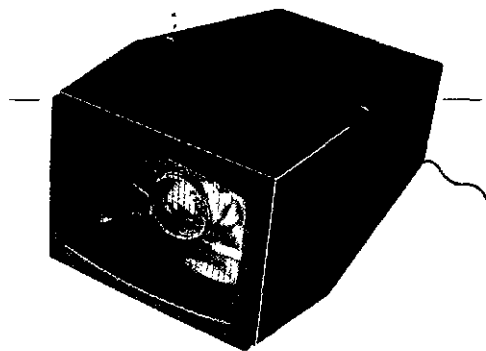


Рис. 7

летового и мягкой компоненты рентгеновского излучения. Для обнаружения этого излучения используют флуоресцирующий экран (см. § 3), который вплотную приближают к светящемуся экрану телевизора и держат его в таком положении в течение 1 мин, а затем выключают телевизор. При этом в затемненном помещении в течение 3—5 мин наблюдают яркое зеленоватое свечение флуоресцирующего экрана.

При отсутствии флуоресцирующего экрана к экрану телевизора можно подносить елочные игрушки, частично покрытые люминофором.

Для определения вида излучения экрана телевизора между ним и флуоресцирующим экраном помещают стеклянную пластинку толщиной 2,5 мм. Площадь этой пластинки должна составлять половину площади флуоресцирующего экрана. После минутного освещения этого экрана наблюдают в темноте яркое свечение флуоресцирующего экрана и очень слабую границу в яркости свечения между прикрытой (стеклом) и неприкрытой частями светящегося экрана. Значит, стекло практически не задерживало невидимого излучения экрана телевизора. Далее заменяют стеклянную пластинку листком белой бумаги толщиной 0,08 мм и повторяют опыт. Обнаруживают, что свечение прикрытой и неприкрытой частей экрана имеет различную яркость.

Из курса физики известно, что ультрафиолетовые лучи сильно поглощаются стеклом и полностью — бумагой. Можно предположить, что экран телевизора, кроме видимого, дает рентгеновское излучение. Для того чтобы убедиться в этом, закрывают половину флуоресцирующего экрана черной бумагой и снова повторяют опыт. Обнаруживают, что ранее прикрытая бумагой часть экрана не светится в темноте. Далее между экраном телевизора и флуоресцирующим экраном помещают ладонь с раскрытыми пальцами и после минутной экспозиции наблюдают в темноте на флуоресцирующем экране тень пальцев руки. При этом тень размыта в суставах пальцев и контрастна от металлического кольца. Опыты показывают, что светящийся экран телевизора дает излучение мягкой компоненты рентгеновских лучей. Дает ли светящийся экран телевизора радиоактивное излучение?

Для подтверждения этой гипотезы проводят следующий опыт. Гнезда для телефона лабораторного счетчика ионизирующих частиц (рис. 8, а) соединяют с зажимами электронного счетчика-секундомера ССЭШ-63 (рис. 8, б). Еще до присоединения счетчик ионизирующих частиц приводят в действие. Под воздействием космических лучей и незначительных радиоактивных излучений окружающих тел ССЭШ-63 регистрирует 14—15 импульсов в минуту. Это фоновое излучение. Затем счетчик ионизирующих частиц помещают около светящегося экрана телевизора и наблюдают, что показания ССЭШ-63 практически за 1 мин возрастают вдвое. Поскольку лабораторный счетчик ионизирующих частиц не регистрирует альфа-частицы, то это означает, что светящийся экран телевизора дает бета- и гамма-излучения. Для определения вида излучения закрывают свинцовой пластиной толщиной до 2 мм счетчик ионизирующей

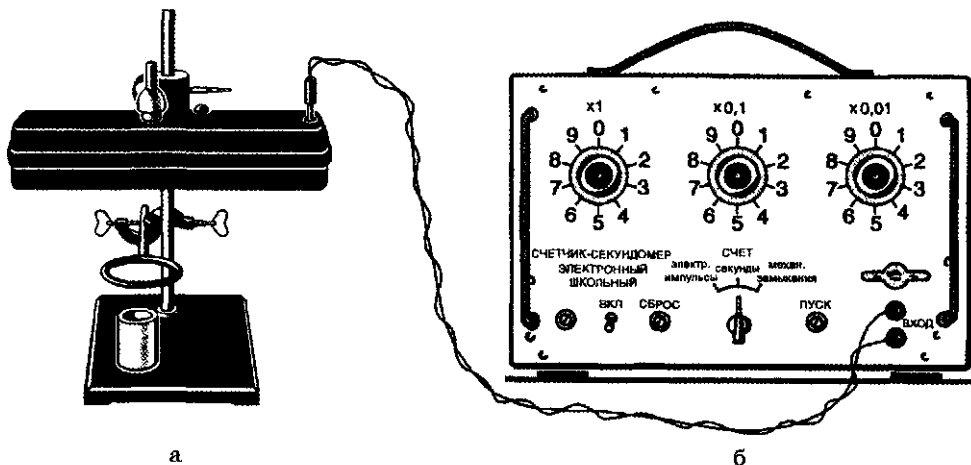


Рис. 8

щих частиц. В этом случае ССЭШ-63 регистрирует только фоновое излучение.

Итак, светящийся экран черно-белого телевизора дает бета- и мягкое рентгеновское излучения.

5. Источники радиации — это прежде всего естественные источники. Они создают радиационный фон. Естественная радиоактивность — это не изобретение, а открытие физиков. Она присутствует в космосе, атмосфере, воде и под землей. В условиях существования естественной радиоактивности возникла жизнь на Земле. Вот почему дозы облучения, близкие к уровню естественного фона, не представляют сколько-нибудь серьезной опасности для живых организмов.

Первая компонента естественного фона облучения обусловлена в основном гамма-излучением естественных радиоактивных изотопов — урана, тория, калия и т. д. Вторая компонента — космическое излучение гамма-квантов и быстрых заряженных частиц.

Среди источников естественной радиации наибольшую опасность для человека представляет невидимый, не имеющий вкуса и запаха химически инертный газ радон. В общем радиационном облучении на его долю приходится почти 50%.

Природный источник радона — урановые и ториевые руды, период полураспада которых миллиарды лет. Например, в процессе распада урана-238 (рис. 9) возникает изотоп — радон-222. Еще один радиоизотоп радона — радон-220 (торон), продукт распада тория-232, имеет значительно меньший период полураспада (около 53 с). Его доля в радоновом облучении человека оценивается в 5%.

Радон опасен прежде всего своим собственным альфа-излучением. Например, одна альфа-частица при прохождении в легочной ткани расстояния менее 0,1 мм ионизирует 100 000 молекул. Но обнаружить радон

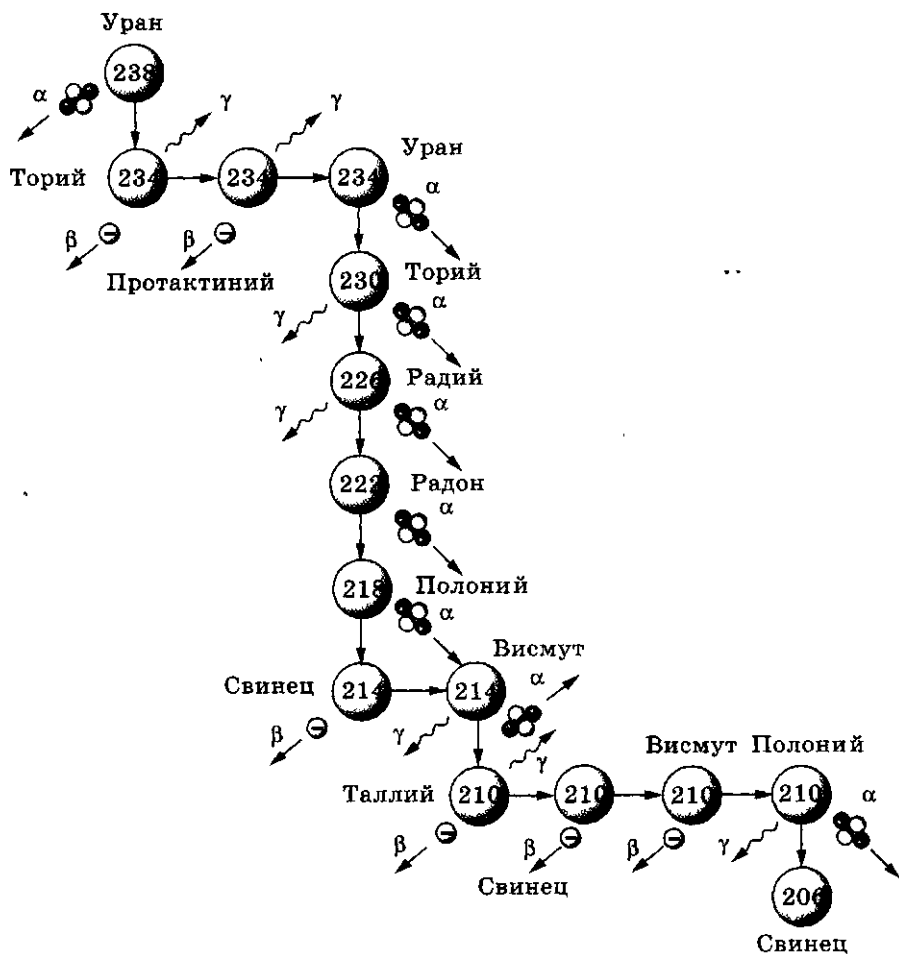


Рис. 9

не так просто — его альфа-излучение не может быть зарегистрировано ни одним из известных бытовых дозиметров. Однако, как видно на схеме распада (см. рис. 9), радон можно обнаружить по его следам — свинцу-214, висмуту-214, бета- и гамма-излучения которых могут быть зарегистрированы обычными счетчиками Гейгера.

В 60—70-е гг. XX в. пособия по физическому эксперименту рекомендовали использовать в качестве источников радиации светящиеся шкалы часов и авиационных приборов. Для покрытия шкал этих приборов применялась светомасса, изготовленная на основе солей радия. Уровень гамма-излучения этих изделий составлял от 160 до 900 мкР/ч, в то время как естественный фон радиации 15—20 мкР/ч.

В настоящее время в качестве источников радиации для учебных целей можно использовать калийные удобрения. (Например, хлористый ка-

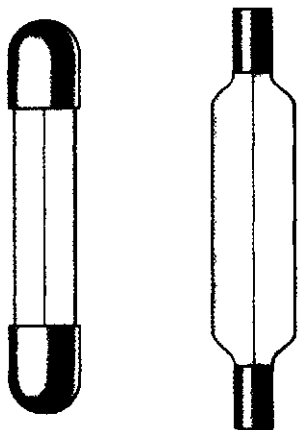


Рис. 10

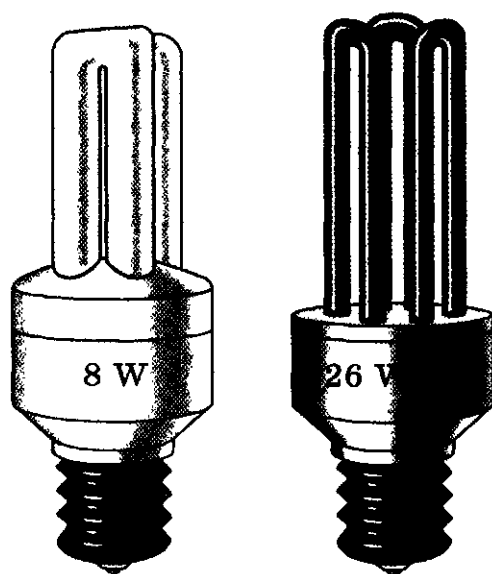


Рис. 11

Рис. 12

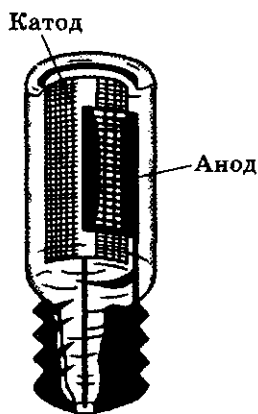


Рис. 13

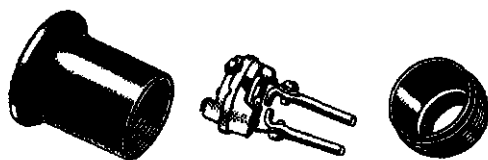


Рис. 14

лий распадается путем бета-распада ${}_{19}^{40}\text{K} \rightarrow {}_{20}^{40}\text{K} + {}_{-1}^0\text{e} + {}_0^0\nu^0$ (антинейтрино) и путем захвата электрона ${}_{19}^{40}\text{K} + {}_{-1}^0\text{e} \rightarrow {}_{18}^{40}\text{Ar} + {}_0^0\nu^0$.

6. Источники сплошных и линейчатых спектров. К излучателям сплошных спектров относятся автомобильная лампа накаливания с прямой нитью (рис. 10) и лампа дневного света (рис. 11) с таким же цоколем, как и у традиционной лампы накаливания. Излучателями линейчатых спектров являются ультрафиолетовые лампы (рис. 12) и неоновые лампы (рис. 13). Для удобства эксплуатации лампы вкручивают в патрон (рис. 14) с контактными штырями и устанавливают на подставке

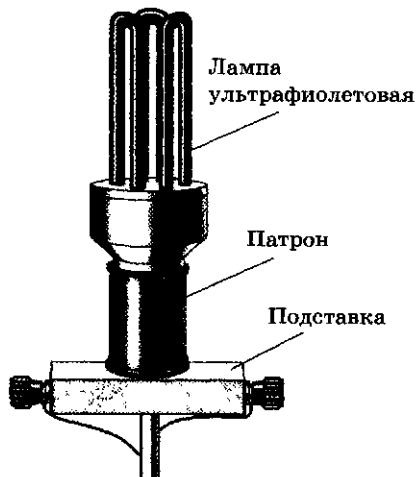


Рис. 15

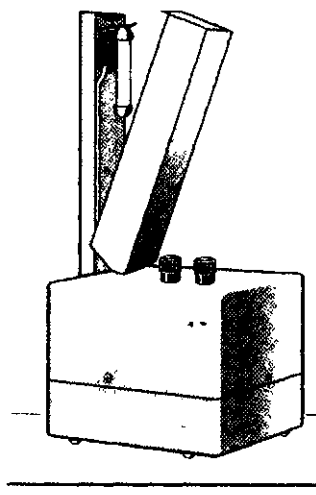


Рис. 16

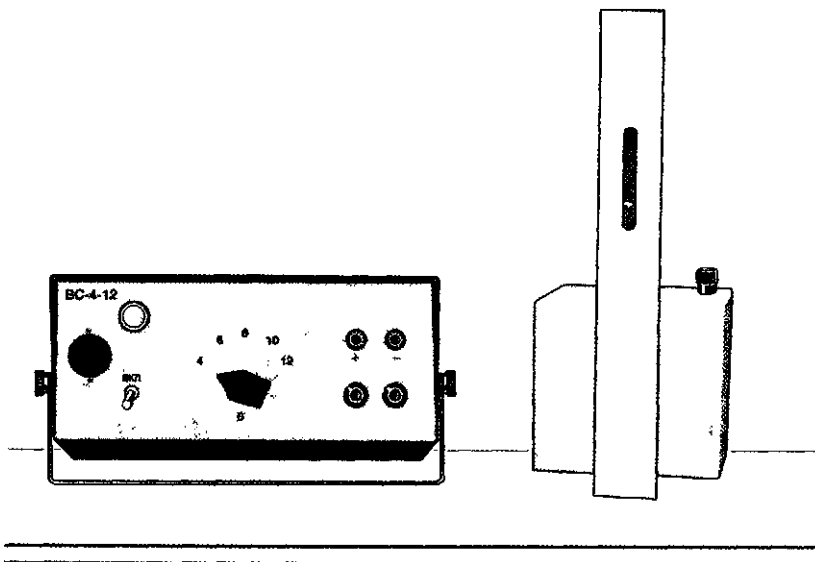


Рис. 17

(рис. 15). К излучателям линейчатых спектров относятся также спектральные трубки, наполненные водородом, гелием и неоном. При проведении опытов трубку устанавливают в приборе (рис. 16) для зажигания спектральных трубок, а линейчатые спектры газов рассматривают через щель (рис. 17) с помощью спектроскопа.

§ 2. ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ДЛЯ КВАНТОВЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

В кабинете физики для питания излучателей имеется значительный ассортимент источников электропитания.

1. Выпрямитель ВС-24 (рис. 18) позволяет плавно регулировать напряжение переменного тока от 0 до 30 В и постоянного тока от 0 до 24 В. Этот прибор не имеет фильтра для сглаживания пульсации выпрямленного тока.

2. Выпрямитель ВС-4-12 (рис. 19) позволяет получать регулируемое напряжение постоянного тока от 4 до 12 В со ступенчатым переключением через каждые 2 В.

3. Выпрямитель ВУП-2 (рис. 20) позволяет получать выпрямленное напряжение 360 В при максимальном нагрузочном токе 200 мА и постоянное (отфильтрованное) напряжение 250 В при токе нагрузки до 50 мА. Постоянное напряжение можно регулировать от 0 до 250 В.

Кроме того, прибор позволяет получать напряжение, регулируемое в двух пределах: от 0 до +100 В и от 0 до -100 В, — при токе нагрузки до 10 мА и переменное напряжение 6,3 В при силе тока до 3 А для накала радиоламп.

4. Источник электропитания универсальный (рис. 21) предназначен для получения как постоянного тока до 1 А при напряжении 0,5—12 В и тока 0,1 А в цепи нагрузки при напряжении 0—40 В, так и переменного тока 0,5 А при напряжении 12 В. Вольтметр со шкалами 0—20 В и 0—40 В позволяет устанавливать требуемое на-

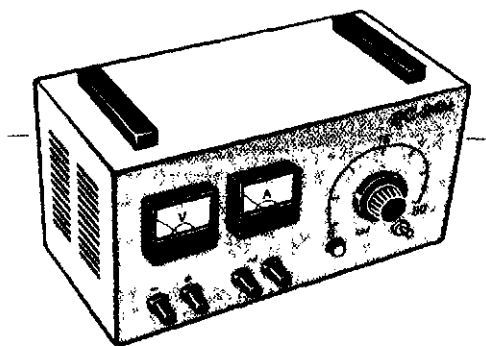


Рис. 18

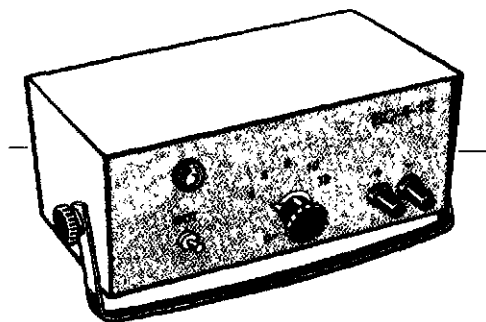


Рис. 19

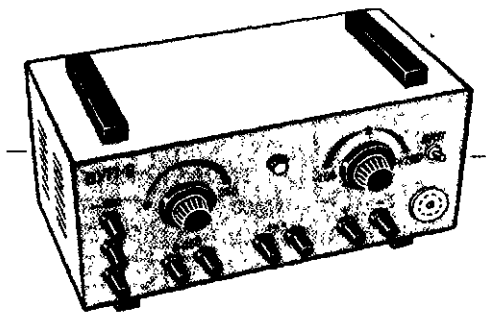


Рис. 20

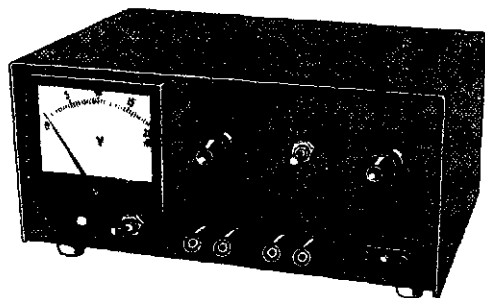


Рис. 21



Рис. 22



Рис. 23



Рис. 24

пряжение для опыта на выходе выпрямителя. Напряжения постоянного тока стабилизированы.

В домашних условиях при постановке опытов можно использовать гальванические элементы (рис. 22), батареи гальванических элементов (рис. 23), пуговичные элементы и аккумуляторы (рис. 24), аккумуляторы к сотовым телефонам и адаптеры к ним.

Наиболее удобен для применения адаптер с многопредельным выходным напряжением (рис. 25), схема которого приведена на рисунке 26. Для расширения тематики опытов с этим адаптером в нем для низкого напряжения сделаны выводы переменного тока (рис. 27).

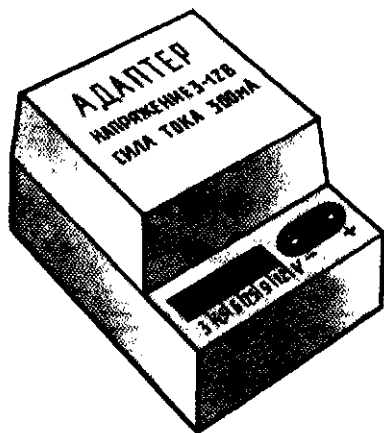


Рис. 25

Источником тока при проведении опытов может служить генераторный фонарик (рис. 28). Если к цоколю разбитой низковольтной лампочки фонарика подпаять провода, а к последним присоединить мостиковый выпрямитель (рис. 29), то можно получить генераторный источник постоянного тока. Напряжение на выходе этого источника тем стабильнее, чем больше емкость электролитического конденса-

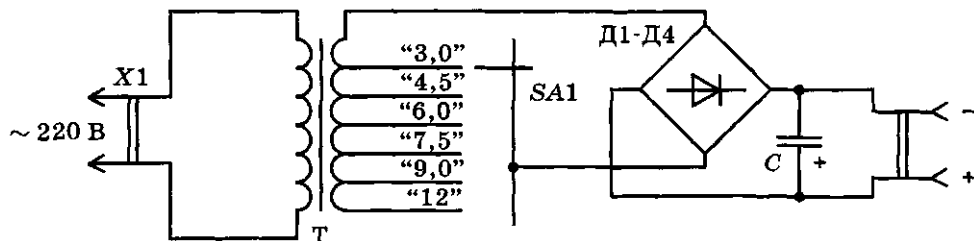


Рис. 26

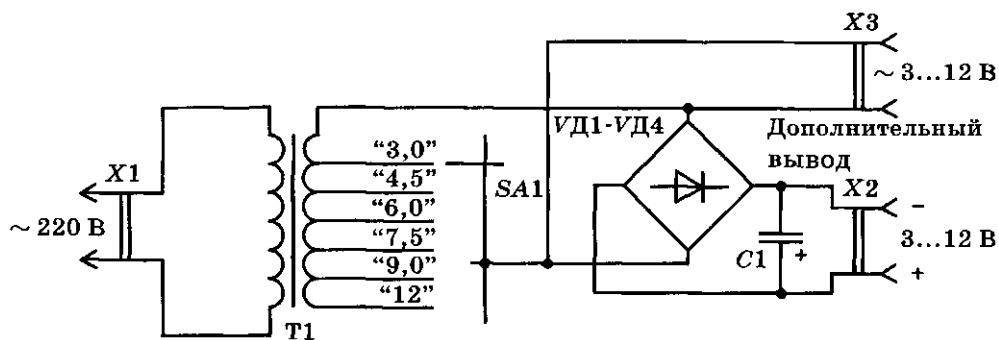


Рис. 27

тора, работающего в качестве фильтра. Генераторный фонарик может послужить основой для получения высокого напряжения переменного тока, если к его выходу по переменному току подключить низковольтный вывод по переменному току адаптера (см. рис. 27) или выходного трансформатора транзисторного радиоприемника. Тогда с вилки адаптера, которая ранее включалась в сеть, можно снимать напряжение более 100 В и подавать его на неоновую лампу для ее зажигания. В этой схеме генераторный фонарик — это низковольтный источник переменного тока, адаптер — повышающий трансформатор, а неоновая лампа — потребитель, т. е. квантовый излучатель. Поскольку адаптер имеет переключатель, то напряжение на выходе этого преобразователя тока можно изменять.

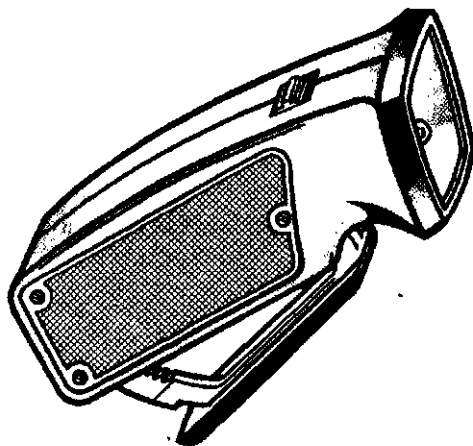


Рис. 28

Если возникает необходимость питания неоновой лампочки постоянным током, то к повышаю-

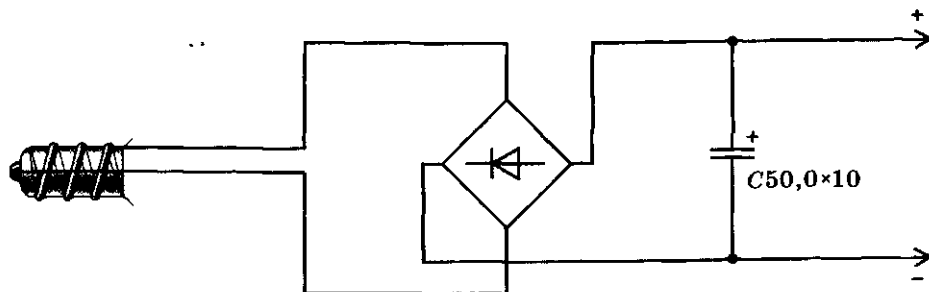


Рис. 29

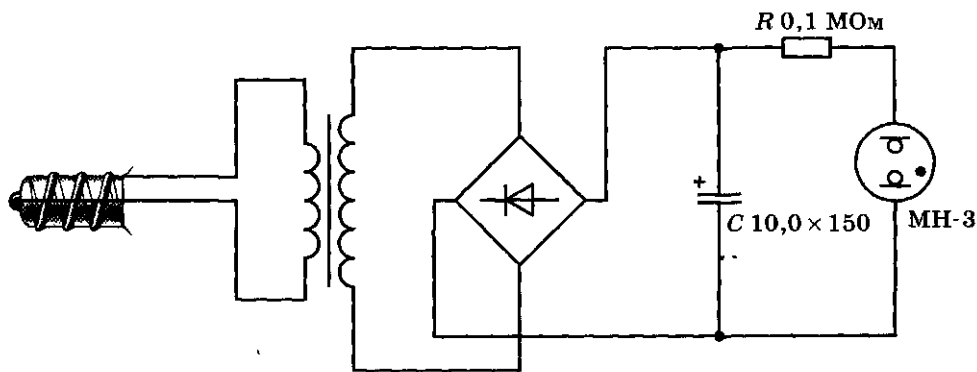


Рис. 30

щей обмотке трансформатора (рис. 30), иначе к сетевой вилке адаптера; следует подключать мостиковый выпрямитель со сглаживающим фильтром.

§ 3. ПРИЕМНИКИ КВАНТОВЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Для человека основным приемником рассматриваемых излучений являются глаза. Они воспринимают излучения в диапазоне от 380 до 780 нм ($\nu = 3,85 \cdot 10^{14} - 7,89 \cdot 10^{14}$ Гц).

Строение глаза. Наружную оболочку глазного яблока образует склера 1 (рис. 31). Она защищает глаз и обеспечивает его жесткость. На передней поверхности склера переходит в тонкую прозрачную роговицу 2, через которую в глаз проникает свет. За роговицей расположена радужная оболочка 3. В ней имеется отверстие — зрачок 4. Радужная оболочка представляет собой мышечное кольцо, окрашенное пигментом. Это кольцо, сжимаясь или растягиваясь, изменяет размеры зрачка, а следовательно, и световой поток, попадающий в глаз, т. е. действует как диафрагма в фотоаппарате.

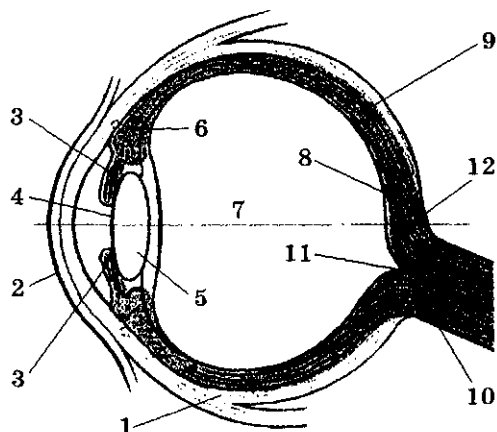


Рис. 31

За радужной оболочкой находится хрусталик 5 — эластичное линзообразное тело. Полость между роговицей и хрусталиком заполнена водянистой влагой. За

хрусталиком находится сетчатка 8, которая преобразует световую энергию в нервные импульсы, передаваемые по зрительному нерву 11 в зрительный нерв 12.

хрусталиком находится стекловидное тело 7. Роговица, водянистая влага, хрусталик и стекловидное тело образуют оптическую систему, аналогичную линзе с оптической силой около 58,5 дптр (диоптрий) и фокусным расстоянием 17,2 мм. Оптический центр этой системы расположен на расстоянии около 5 мм от роговицы. Оптическая ось изображена на рисунке 31 пунктирной линией.

Сетчатка 8 представляет собой полусферу, состоящую из рецепторных клеток, имеющих форму палочек и колбочек. Всего в глазу 125 млн палочек и 6,5 млн колбочек. Эти светочувствительные клетки находятся на задней поверхности сетчатки, которая лежит на сосудистой оболочке 9. Сбоку от оптической оси нервные клетки сетчатки объединяются и образуют зрительный нерв 10, выходящий из глаза. В этом месте нет ни палочек, ни колбочек; оно нечувствительно к свету, и его называют слепым пятном 11. В центре сетчатки, на оптической оси, находится центральная ямка 12 — область наибольшей остроты зрения. Здесь сосредоточены светочувствительные колбочки, с помощью которых глаз ощущает цвета. В остальных участках сетчатки расположены в основном палочки.

В оптической системе глаза хрусталик 5 выполняет важную роль. Цилиарная (ресничная) мышца 6, фиксирующая хрусталик, может изменять его кривизну и тем самым его оптическую силу. Изменение кривизны хрусталика определяет способность глаза к аккомодации (изменению оптической силы глаза). Именно поэтому при разных расстояниях от предмета до глаза возможно сохранение постоянным расстояния от центра глаза до сетчатки, на которой фокусируется четкое изображение предмета.

Аккомодация происходит произвольно. Как только глаз переводится с одного предмета на другой, нарушается резкость изображения, о чем в мозг приходит сигнал. Обратный сигнал из мозга к цилиарной мышце вызывает ее сокращение или растяжение другой стенки до тех пор, пока не получится резкое изображение. Точка, которую глаз видит при расслабленной цилиарной мышце, называется дальней точкой; точка, видимая при максимальном напряжении, — ближней точкой. Для нормального глаза дальняя точка лежит бесконечно далеко, а ближняя — на расстоянии около 15—20 см от глаза.

На сетчатке возникают перевернутые изображения всех предметов. Но мозг, перерабатывая полученную зрительную информацию, воспринимает предмет правильно.

Максимум чувствительности человеческого глаза достигается при длине волны $\lambda = 560$ нм. На эту длину волны приходится также максимум интенсивности излучения Солнца и одновременно максимум прозрачности атмосферы Земли. В процессе длительной биологической эволюции подобное удивительное совпадение существенно помогает человеку получать информацию об окружающем мире.

Индикаторы квантовых электромагнитных излучений

1. **Экран** (рис. 32) для обнаружения ультрафиолетовых лучей — это панель размером 100×150 мм, на одну сторону которой нанесен светосостав (люминофор), дающий ярко-зеленое свечение при облучении ультрафиолетовыми лучами, например, от лампы (см. рис. 15) или при облучении лучами от экрана телевизора.

2. **Набор по фосфоресценции** (рис. 33) состоит из трех светящихся составов, дающих различное по длительности и цвету свечение: голубое, оранжевое и желтое. Люминофоры нанесены в специальные углубления пластмассовой коробочки с закрывающейся крышечкой. Основные компоненты люминофоров — сернистый цинк и сернистый кадмий, активатором служит медь. Источниками возбуждения люминофоров являются дневной свет, лампа дневного света (см. рис. 11), лампа с ультрафиолетовым излучением (см. рис. 12). После освещения набора лучами от этих источников в течение 1—2 мин люминофорные составы светятся в темноте в течение 3—4 мин.

3. **Набор по флуоресценции** (рис. 34) состоит из трех стеклянных трубок, наполненных растворами эозина, флуоресцина и родамина, запаянных с обоих концов и помещенных между двумя пластмассовыми колодками. Трубки освещают лампой с ультрафиолетовым излучением (см. рис. 12) под разными углами и ведут наблюдение за ними в проходящем и отраженном

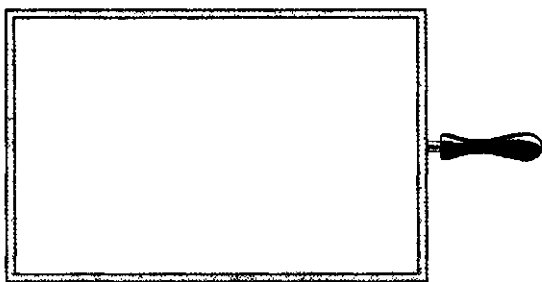


Рис. 32

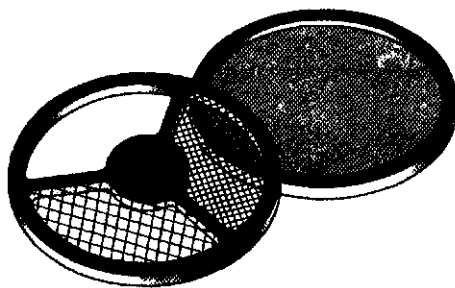


Рис. 33

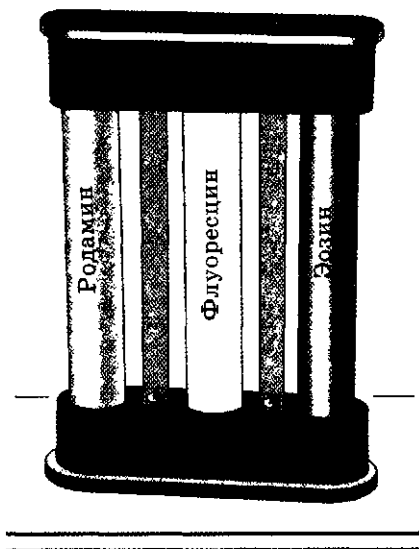


Рис. 34

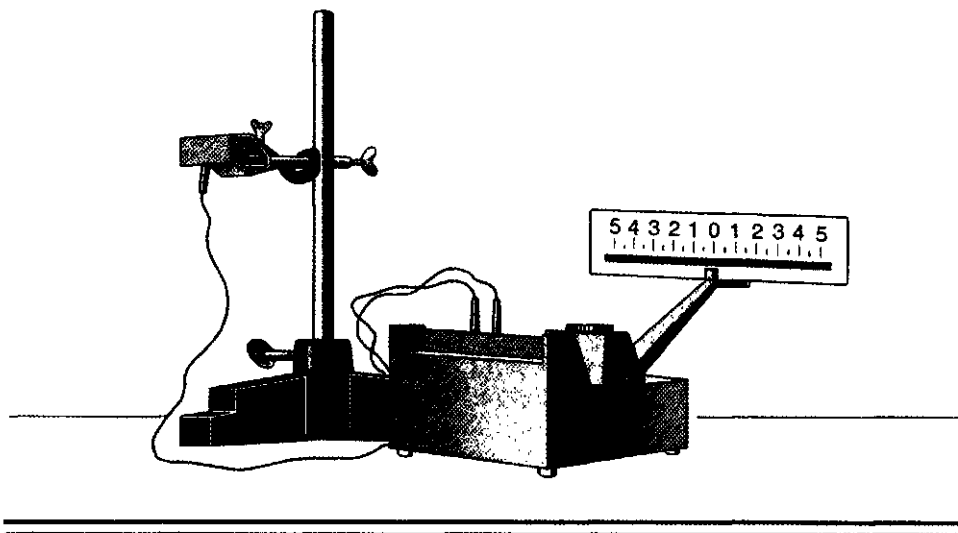


Рис. 35

свете. Флуоресцирующие жидкости в проходящем свете имеют следующие цвета: эозин — светло-оранжевый, флуоресцин — светло-желтый и родамин — светло-розовый. В отраженном свете цвета жидкостей соответственно будут темно-зеленым, изумрудно-зеленым и светло-желтым.

4. Фотоэлемент кремниевый (рис. 35) смонтирован в пластмассовом прямоугольном корпусе и предназначен для преобразования инфракрасного и видимого излучений в электрическую энергию. Фотоэлемент, зажатый в лапке штатива и подключенный к демонстрационному гальванометру от амперметра или зеркальному гальванометру (см. рис. 35) и освещенный лампой накаливания мощностью 100 Вт, дает ток не менее 0,5 мА.

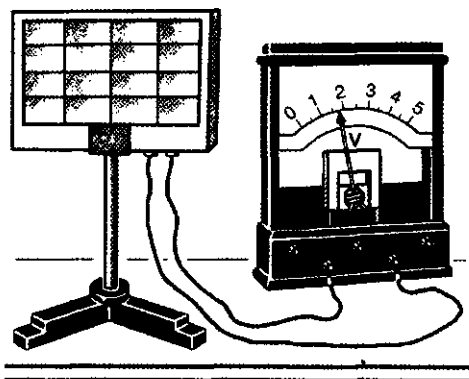


Рис. 36

5. Батарея солнечная (рис. 36) состоит из отдельных кремниевых фотоэлементов, соединенных последовательно и параллельно. Она дает напряжение до 9 В при освещении солнечными лучами. Ею можно питать переносные транзисторные радиоприемники и другие электронные приборы.

6. Фотодиоды и фототранзисторы также являются индикаторами видимого электромагнитного излучения. Их принцип действия аналогичен работе кремниевых фотоэлементов.

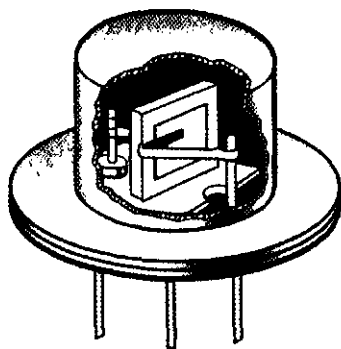


Рис. 37

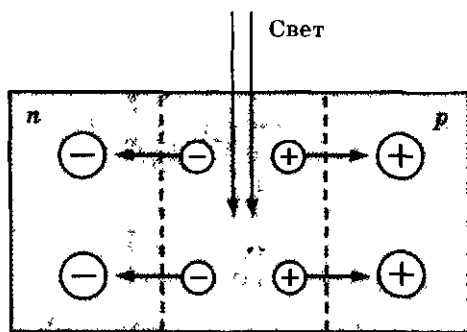


Рис. 38

Остановимся на самодельном изготовлении фотодиодов, фототранзисторов и фотогальванических элементов. Из многих транзисторов (ныне не востребованных и устаревших) можно изготовить фотодиод, фототранзистор или вентильный фотоэлемент. Для этого необходимо сделать доступ светового потока к электронно-дырочному $p-n-p$ -переходу. Свет, воздействуя на область базы, возбуждает парные заряды, которые не только сами воздействуют на коллекторный переход, но и вызывают дополнительную инжекцию большого количества носителей зарядов эмиттера. Чем больше коэффициент α передачи тока эмиттера и чем он ближе к единице, тем сильнее будет вторичная инжекция и тем чувствительнее вами изготовленный фототранзистор.

При изготовлении фототранзисторов из триодов типа МП14, МП41 в корпусе сбоку, напротив эмиттерного вывода, лобзиком или надфилем аккуратно делают отверстие (рис. 37) — окно, которое заклеивают прозрачной пленкой.

При изготовлении фототранзисторов из низкочастотных и среднечастотных транзисторов большой мощности сначала аккуратно снимают верхнюю часть металлического колпачка корпуса транзистора, а затем заклеивают прозрачной пленкой. При изготовлении фототранзисторов можно использовать транзисторы с отломанными выводами базы, а при изготовлении фотодиодов и фотогальванических фотоэлементов — транзисторы с отломанными выводами эмиттера.

Если осветить электронно-дырочный переход у изготовленного вами фотоэлемента из транзистора типа МП304 и присоединить вывод базы к «+» вольтметра мультиметра, а вывод коллектора к «-» этого прибора, то можно наблюдать возрастание показаний прибора по мере приближения осветителя. Под действием света в этом переходе образуются парные заряды электрон — дырка, которые разделяются внутренним полем $p-n$ -перехода и накапливаются в противоположных областях (рис. 38). Таким образом на опыте убеждаются в возможности преобразования световой энергии в электрическую.

Описание других индикаторов, таких как фоторезисторы, вакуумные и газонаполненные фотоэлементы, электроскопы и электрометры и др., будет приведено в конкретных лабораторных работах.

Остановимся на описании многофункционального индикатора VOUSTAT, внешний вид которого представлен на рисунке 39, а схема — на рисунке 40.

Данный индикатор позволяет определить:

1. Наличие напряжения постоянного тока и его полярность в интервале напряжений от 1,5 до 36 В.

2. Наличие напряжения в радиосети, телефонной сети и сети электропотребления, если щуп (лезвие отвертки) индикатора вставить в одно из гнезд вышеназванных розеток. При определении нулевого и фазного проводов в электросети отвертку-индикатор следует держать за корпус, а ее щуп необходимо вставить в одно из гнезд розетки. Непрерывное свечение светодиода индикатора говорит о том, что щуп прибора соединен с фазовым проводом сети. При соединении щупа индикатора с нулевым проводом свечение светодиода отсутствует.

3. Наличие наэлектризованного тела. Если к снятой и повешенной на крючок одежде из искусственной ткани (кофте, куртке, рубашке и т. д.) прикоснуться винтом (пяткой) индикатора и держать его при этом за щуп, то можно обнаружить свечение светодиода. Это свечение означает, что вещи и тела при соприкосновении (ношении) электризуются.

4. Наличие электромагнитного излучения проводами стационарной электросети. Если индикатор пяткой привести в соприкосновение со стеной, где под штукатуркой проложена электропроводка, и вести его по ней, то свечение диода укажет на место нахождения проводов электросе-

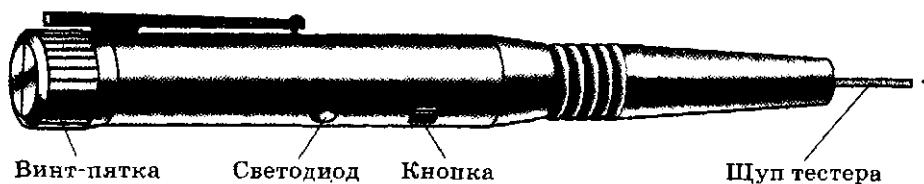


Рис. 39

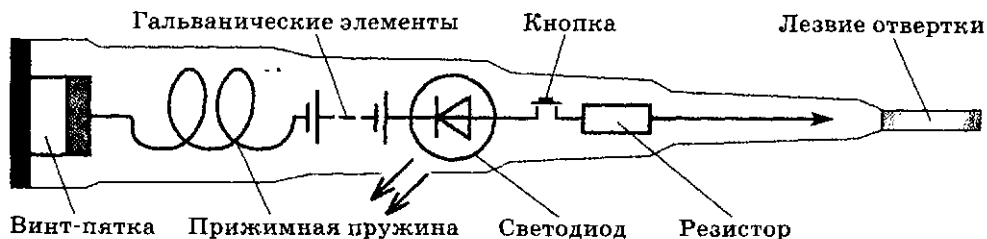


Рис. 40

ти. Процедура поиска линии электросети поможет каждому пользователю обезопасить себя и электропроводку, например, при забивании гвоздей для подвешивания картин или мебели.

5. Наличие обрыва проводов переносного прибора или инструмента (электробритвы, электродрели, пылесоса и т. д.) либо шнура удлинителя. В этом случае индикатор держат за щуп и, прикасаясь пяткой прибора к наружной изоляции провода, ведут его вдоль провода. Если провод подключен к сети, то светодиод индикатора светится. В месте обрыва одного из проводов шнура питания свечение диода прекращается. Для устранения неисправности вскрывают наружную изоляцию шнура питания и спаивают оборванные концы.

6. Наличие целостности электрической цепи или ее участков: лампочек, спиралей электронагревательных приборов, резисторов, предохранителей и т. д. При такой проверке указательный палец правой руки ставят на пятку индикатора и прикасаются его щупом, например, к одному штепселю (стержню) вилки электроутюга, а другой штепсель берут пальцами левой руки. При исправности электрической цепи утюга светодиод индикатора загорается. При проверке исправности электрической цепи электро-радиоприбора вилка питания прибора должна быть вынута из розетки.

Подобным образом можно проверить исправность не только радио-приборов, но и их компонентов: катушек, трансформаторов, резисторов, конденсаторов, полупроводниковых диодов и транзисторов.

7. Степень электромагнитного излучения СВЧ-печи, экрана телевизора, мобильного или сотового телефона и др. Получившие широкое распространение СВЧ-печи сертифицированы производителями как безопасные для массового пользователя. И действительно, уровень СВЧ-излучения их подавляющего большинства при выпуске с завода ниже допустимого уровня, определенного санитарными нормами. Однако после длительной эксплуатации крепление дверцы нагревательной камеры ослабевает, и между ней и корпусом появляются зазоры.

При проверке наличия электромагнитного излучения вышеназванных и других приборов берут индикатор пальцами правой руки за середину его корпуса, подносят к включенному (работающему) прибору, например к СВЧ-печи, со стороны дверцы или к телевизору со стороны экрана, и наблюдают свечение светодиода. Медленно удаляясь от источника излучения, фиксируют расстояние, на котором прекращается свечение диода, т. е. фиксируют выход из опасной зоны излучения. Чем дальше индикатор (в данном опыте он является дипольным приемником) фиксирует излучение, тем сильнее фонит его источник, тем быстрее необходимо обращаться к специалистам за консультацией или ремонтом.

Индикатор можно использовать в режиме фонарика с ультрафиолетовым излучением. Для этого необходимо нажать на кнопку прибора. С помощью этого фонарика можно проверить истинность денежных знаков и отличить их от поддельных, обнаружить елочные игрушки, покрытые люминофором, придать свечение люминесцирующим изделиям или краскам и т. д.

§ 4. ИНДИКАТОРЫ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Вследствие крайне малых размеров элементарных частиц их невозможно увидеть даже вооруженным глазом. Однако физики научились наблюдать их следы, оставляемые в веществе. Для этого используют весьма сложные и дорогостоящие приборы, о наличии которых в учебных заведениях не может быть и речи. Со следами же частиц и ядерными реакциями учебные и методические пособия знакомят с помощью фотографий и рисунков. Для понимания процесса получения этих материалов необходимо иметь представления об упрощенных моделях регистрирующих приборов.

Различают две группы приборов для наблюдения и регистрации заряженных частиц. К первой группе относятся **трековые приборы**: фотопластинка, камера Вильсона, пузырьковая камера и др. Они позволяют наблюдать трек — траекторию движения частицы. Ко второй группе относятся **электронные приборы**: счетчик Гейгера, специальный полупроводниковый диод, ионизационная камера и др., которые дают электрический импульс при попадании в прибор частицы или фотона.

Независимо от прибора методы наблюдения радиоактивных излучений (альфа-, бета-, гамма-излучений) и регистрации частиц основаны на их свойстве вызывать ионизацию и возбуждение атомов среды. Заряженные частицы вызывают ионизацию непосредственно, а гамма-кванты и нейтроны обнаруживаются по ионизации, возникающей в результате взаимодействия с электронами и ядрами атомов среды. Вторичные эффекты, возникающие при взаимодействии частиц со средой: потемнение фотопластинки (метод фотоэмульсии), вспышка света (спинтарископ), трек (камера Вильсона), импульс электрического тока (ионизационная камера, счетчик Гейгера) и т. д., — позволяют регистрировать и подсчитывать число пролетающих частиц, различать их по траектории и скорости, измерять энергию.

Методы обнаружения и приборы для регистрации радиоактивного излучения, возникшие на заре зарождения ядерной физики, будут представлены в соответствующих лабораторных работах.

§ 5. НЕТИПОВЫЕ ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

Традиционно при постановке лабораторных работ по физике для измерения электрических физических величин использовали стрелочные (аналоговые) измерительные приборы. В настоящее время приобретение этих приборов становится проблематичным, поскольку на смену им пришли цифровые измерительные приборы.

Для измерения электрических физических величин наиболее привлекательны при проведении лабораторных работ, особенно в домашней обстановке, мультиметры серии М890. Эти мультиметры имеют жидкокристаллическую индикацию (ЖКИ) с разрядностью 3,5 и 32 диа-

пазона измерений. Высота цифр составляет 22 мм, максимально индуцируемое число на дисплее 1999. Базовая погрешность при измерении напряжения постоянного тока $\pm 0,5\%$, напряжения переменного тока $\pm 0,8\%$, силы постоянного тока $\pm 0,8-2\%$, силы переменного тока $\pm 1,0-3\%$, сопротивления $\pm 0,8-5\%$, емкости $\pm 4\%$, частоты $\pm 1,5\%$. На дисплей прибора выведена индикация разряда батареи «BAT» и перегрузки «I».

Габариты приборов 170 × 88 × 38 мм, масса 340 г.

Основные характеристики этих приборов приведены в таблице 1.

.. Таблица 1

Параметр	Модель			
	890Г	890G	890С	890Д
Диапазон измерения напряжения постоянного тока	200 мВ — 1000 В			
Диапазон измерения напряжения переменного тока	200—700 В			
Диапазон измерения силы постоянного тока	2 мА — 10 А			
Диапазон измерения силы переменного тока	20 мА — 10 А			
Диапазон измерения сопротивления	200 Ом — 200 МОм			
Диапазон измерения емкости	2 нФ — 20 мкФ			
Диапазон измерения частоты	2—2000 Гц		Нет	
Диапазон измерения температуры	Нет	-50 ... +1000 °С	-50 ... +1000 °С	Нет
Диапазон измерения коэффициента усиления транзистора по току	1—1000			
Допустимое сопротивление, при котором работает режим проверки	Менее 30 Ом			
Напряжение источника питания	9 В			
Дополнительные возможности	Диодный тестер, звуковая прозвонка			

Из мультиметров, представленных в таблице 1, для учебных целей наиболее приемлема модель М890G (рис. 41).

Для измерения физических величин (электрических и неэлектрических) служит мультиметр ДТ-21, основные характеристики которого приведены в таблице 2.

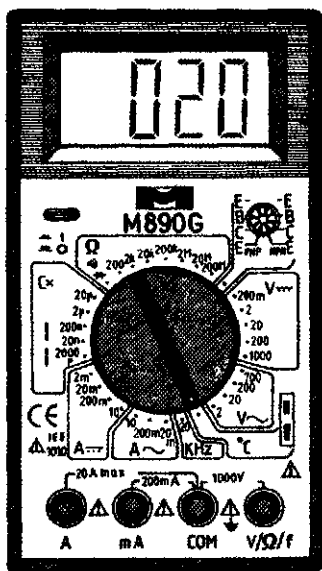


Рис. 41

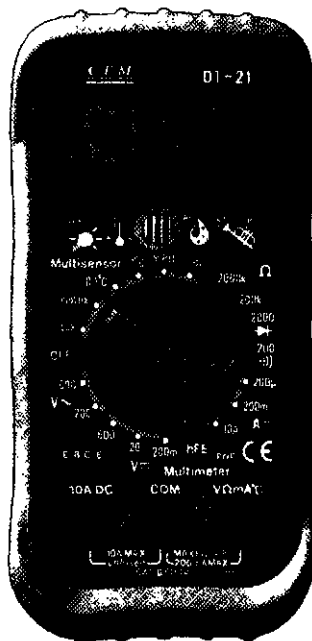


Рис. 42

Таблица 2

Параметр	Предел	Точность	Погрешность
Уровень шума	35—100 дБ	0,1 дБ	±3,5 дБ
Освещенность	200 лк 20 000 лк	0,1 лк 10 лк	±5,0% ±5,0%
Влажность	25—95%	0,1%	±5,0%
Температура	-20 ... +200 °C -20 ... +1300 °C	0,1 °C 1,0 °C	±3% ±3%
Напряжение ДСУ	200 мВ, 20, 600 В	0,1, 10 мВ, 1 В	0,5%
Напряжение АСУ	200, 600 В	100 мВ, 1 В	1,2%
Сила тока ДСА	200 мкА, 200 мА, 10 А	0,1 мкА, 0,1 мА, 10 мА	3%
Сопротивление	200 Ом, 2, 200 кОм, 2 МОм	0,1, 1 Ом, 0,1, 1 КОм	1%

Мультиметр ДТ-21 (рис. 42) также позволяет измерять коэффициент усиления транзистора по току в интервале от 1 до 1000 и имеет режим прозвонки.

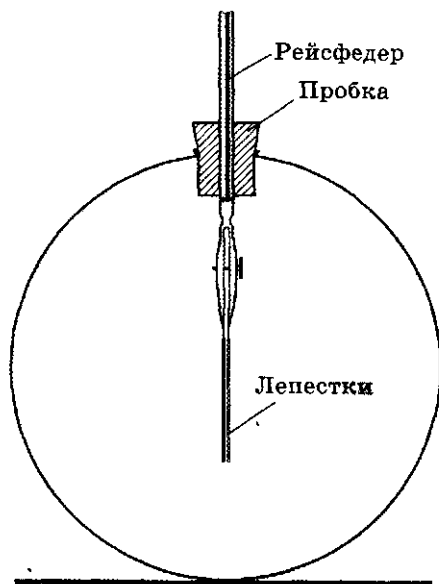


Рис. 43

Применение этих приборов при постановке лабораторных работ в одних случаях позволяет повысить точность измерения, а в других — упростить экспериментальную установку.

Электроскоп самодельный (рис. 43) необходим для постановки персональных опытов в домашних условиях. Его изготовляют из металлической банки из-под кофе или краски диаметром 10 и более сантиметров. От пустой банки отрезают верхнюю часть высотой 5 см. На боковой стороне кольца, по центру, в месте сая банки проделывают отверстие под каучуковую пробку. По центру пробки просверливают сквозное отверстие диаметром, равным трубке рейсфедера.

Между губками рейсфедера зажимают петлю из толстой шелковой нити или папиросной бумаги, или алю-

минизированного скотча, на концы которого приклеивают с наружной стороны небольшие равные кусочки пенопласта и зажимают их винтом рейсфедера. В результате получают электроскоп.

Этот же прибор можно использовать в качестве электрометра, если в отверстия губок рейсфедера, где размещается винт, поместить ось легкой стрелки, подобной стрелке заводского электрометра.

Корпус изготовленного прибора размещают на изолирующей подставке.

В приборе использована трубочка рейсфедера, которая позволяет устанавливать пластинки из различных материалов при изучении явления фотоэффекта.

Самодельные приборы для изучения явления фотоэффекта. Эти приборы напоминают приборы заводского изготовления по фотометрии. Внешний вид прибора для изучения явления фотоэффекта с вакуумным фотоэлементом представлен на рисунке 44, где в левый торец трубки (металлической или пластмассовой) вставлена заглушка с винтом, а в правый — заглушка с вакуумным фотоэлементом (рис. 45). В левую заглушку вставляют металлическую или пластмассовую трубочку с сантиметровыми делениями (рис. 46), на одном конце которой закреплена низковольтная лампочка или светодиод белого свечения, а из другого конца выходят провода для присоединения к низковольтному источнику тока. Если вместо светодиода белого свечения присоединить светодиод полного свечения, то данная установка позволит изучать явление фотоэффекта с лучами разной цветности.

Аналогичного типа экспериментальная установка для изучения явления внутреннего фотоэффекта показана на рисунке 47, где в левый торец

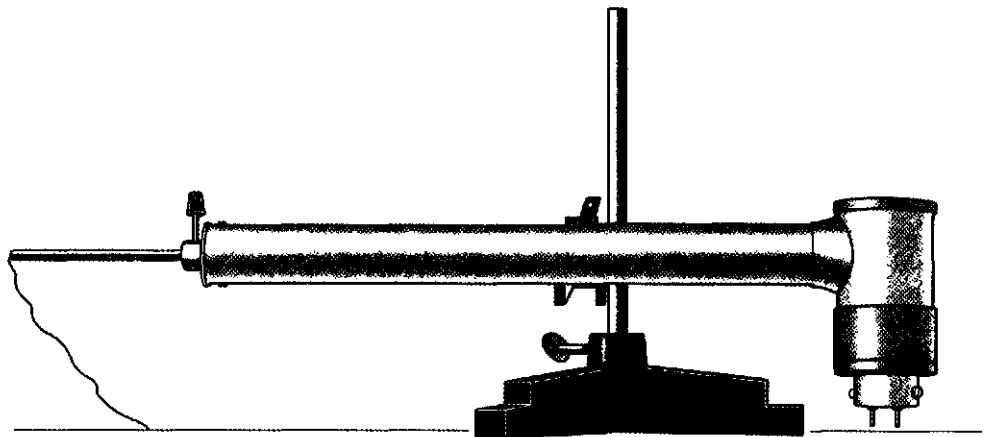


Рис. 44

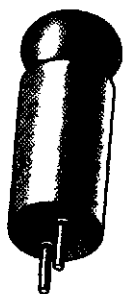


Рис. 45



Рис. 46

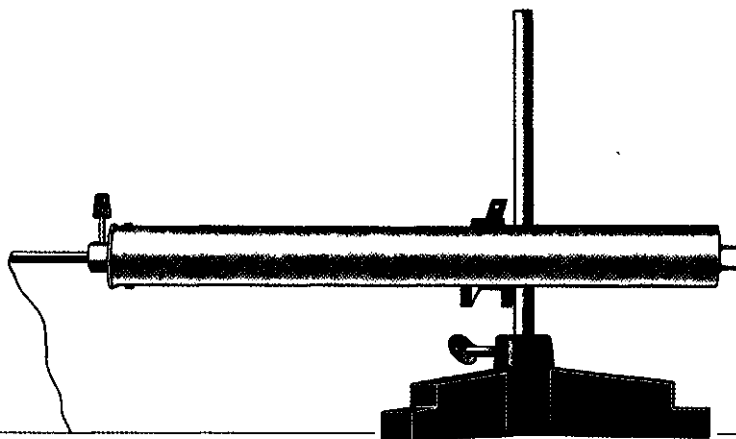


Рис. 47

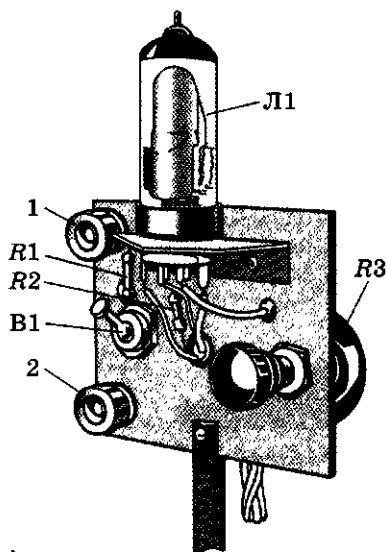


Рис. 48

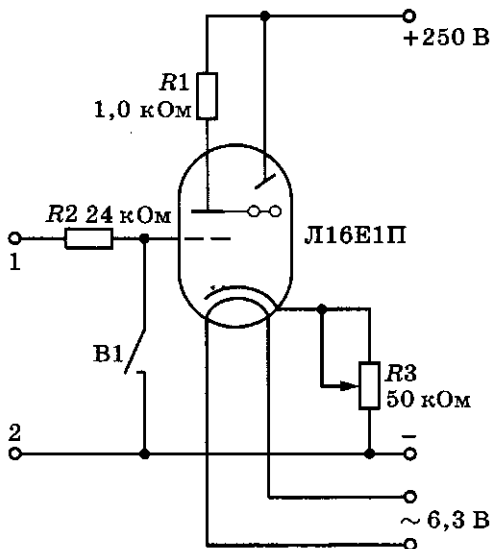


Рис. 49

трубки вставлен осветитель (лампочка, светодиод), а в правый — заглушка с фоторезистором или фотодиодом.

Индикатор самодельный универсальный (рис. 48) собран по схеме, которая представлена на рисунке 49. Лампа-индикатор *Л1*, панелька которой находится на полочке, входные зажимы *1* и *2*, переключатель *В1* режима работы и другие детали смонтированы на лицевой и обратной сторонах панели размером 70×70 мм, изготовленные из листовой пластмассы. Эта панель закреплена на трубчатой стойке. При замкнутых контактах выключателя *В1* прибор используется как индикатор магнитного поля, при разомкнутых — как индикатор электрического поля.

Данный индикатор позволяет не только установить наличие электрических и магнитных полей, но и исследовать процессы заряда и разряда конденсаторов, электропроводимость различных материалов, явление катодoluminesценции, взаимодействие электронного пучка с постоянными и переменными электрическими и магнитными полями. С помощью этого индикатора можно визуально наблюдать за превращением энергии электрического поля конденсатора в магнитное поле катушки в низкочастотном колебательном контуре. Эти и многие другие явления и процессы, регистрируемые данным индикатором, описаны автором в книге «Измерительные приборы на электронно-световом индикаторе» (М.: Энергия, 1979).

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО АТОМНОЙ ФИЗИКЕ И СВЕТОВЫМ КВАНТАМ

Автор выдвинул и обосновал следующую концепцию по учебному физическому эксперименту: «*Всякое понятие, вводимое в школьный курс физики, должно иметь метод (способ, прием) наблюдения и (или) измерения. Иначе это понятие не найдет применения в исследованиях реальных физических явлений*». Эту концепцию автор реализует и в предыдущих, и в настоящей работах.

Выполнение ниже описанных лабораторных работ по атомной и ядерной физике связано с прямыми и косвенными измерениями физических величин, с постановкой экспериментов (иногда в разных вариантах) по проверке физических законов, с проведением опытов по измерению фундаментальных физических постоянных (удельного заряда электрона, постоянной Планка), с измерением радиоактивного излучения как природных материалов, пищевых продуктов, так и технических устройств, окружающих человека в бытовой и производственной обстановке.

В процессе выполнения лабораторных работ экспериментатор убеждается в объективности физических понятий и законов, получает реальные представления об экспериментальных методах исследования, знакомится на практике с различными измерительными приборами, методами измерения физических величин, количественной и качественной оценкой явных и неявных (не воспринимаемых органами чувств человека) физических явлений и процессов.

Вся совокупность предлагаемых лабораторных работ способствует овладению учащимися следующими методами научного исследования: систематизацией и классификацией, анализом и синтезом, моделированием и абстрагированием, постановкой проблемы, выдвижением гипотезы и ее экспериментальной проверкой.

Лабораторная работа 1

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ НАЛИЧИЯ КВАНТОВ СВЕТА

Теоретический материал. Зафиксировать кванты света проще всего с помощью неоновой лампы, например МН-3.

Неоновые лампы относятся к классу приборов тлеющего разряда. Неоновая лампа любого типа представляет собой два плоских или цилиндри-

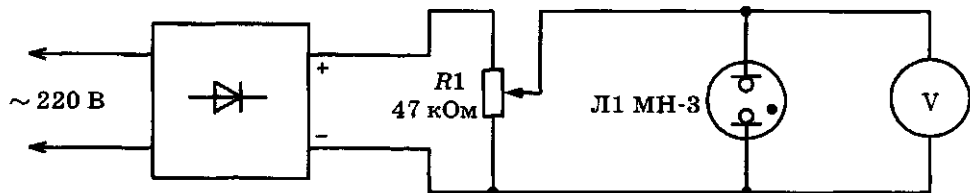


Рис. 50

ческих электрода в стеклянном баллоне, заполненном инертным газом — неоном, аргоном или смесью их с гелием. Один из электродов неоновой лампы является катодом, другой — анодом. При включении неоновой лампы в цепь переменного тока каждый из ее электродов попеременно становится то анодом, то катодом (в зависимости от частоты тока).

Когда напряжение на электродах лампы (рис. 50) мало (менее 35—40 В), газ является изолятором. При большом внутреннем сопротивлении лампы ток через нее не идет или он очень мал. При некотором определенном для данной лампы напряжении в ней возникает тлеющий разряд — газ возле катода лампы начинает светиться. При этом внутреннее сопротивление лампы резко уменьшается, а ток, проходящий через нее, возрастает. Напряжение, при котором в лампе возникает тлеющий разряд, называется *напряжением зажигания*. Значение этого напряжения зависит от состава и давления газа в лампе, материала и формы электродов, а также расстояния между ними. Лампа имеет активированный (цезием или барием) катод. Активизация (покрытие) катода слоем цезия снижает напряжение зажигания лампы, увеличивает ток в лампе, повышает ее чувствительность. За счет активизации катода лампа оказывается чувствительной к свету, т. е. с помощью этой лампы можно регистрировать фотоны видимого света.

Для регистрации фотонов видимого света собирают релаксационный генератор (рис. 51). Перед опытом баллон лампы закрывают (заворачивают) черной бумагой, оставляя незакрытым лишь торец лампы. Затем на лампу подают напряжение питания, которое несколько меньше, чем напряжение зажигания неоновой лампы. Далее освещают катод лампы через ее открытую часть ярким светом. Кванты света выбивают с поверхности катода электроны, которые вызывают в лампе нарастание тока и ее

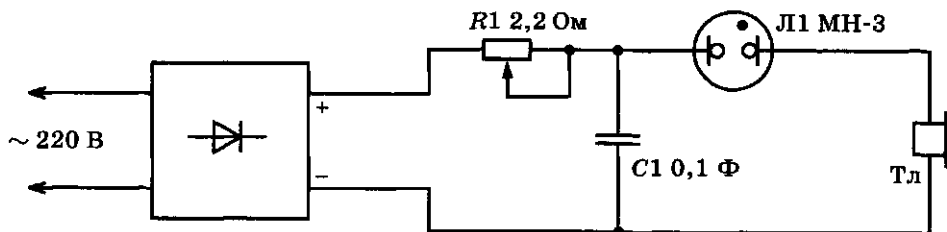


Рис. 51

зажигание. При этом сопротивление лампы резко падает и конденсатор $С1$ быстро разряжается через лампу и наушник (громкоговоритель), вызывая в последнем специфические щелчки. При освещении катода лампы ультрафиолетовым светом, например от индикатора (см. рис. 39), число щелчков в единицу времени возрастает.

Цель работы: на ряде опытов убедиться в квантовой природе света.

Приборы и материалы: источник электропитания (см. рис. 20), конденсатор, резисторы, неоновая лампа, наушник (громкоговоритель), провода соединительные.

Указания к работе

1. Соберите релаксационный генератор (см. рис. 51) и проверьте его работу.

2. Регулятором напряжения на выходе выпрямителя (см. рис. 20) подайте на генератор такое напряжение, при котором генератор не функционирует, т. е. неоновая лампа периодически не вспыхивает.

3. Осветите катод лампы ярким светом настольной лампы или светом ультрафиолетового индикатора (см. рис. 39) и зафиксируйте работу релаксационного генератора (частоту, громкость).

4. Выключите осветитель и зафиксируйте поведение генератора.

5. Результаты опытов и их объяснение оформите в виде письменного отчета.

Лабораторная работа 2

ОБНАРУЖЕНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

Теоретический материал. В 1887 г. немецкий физик Генрих Герц обнаружил, что если направить на отрицательный электрод шарового разрядника (рис. 52) ультрафиолетовый свет, то электрический разряд происходит при меньшем напряжении между электродами, чем в отсутствие освещения.

Это явление хорошо наблюдается в опыте с отрицательно заряженной цинковой пластинкой, соединенной с электроскопом (рис. 53). При облучении этой пластинки светом электрической дуги электроскоп разряжается. Если же эту пластинку зарядить положительным зарядом, а затем осветить ее светом электрической дуги, то она не только не разрядится, а, наоборот, еще более зарядится. Листочки электроскопа не опадут, а разойдутся на еще больший угол именно в результате увеличения электрического заряда.

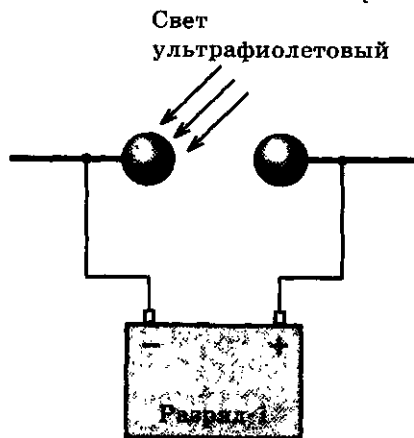


Рис. 52

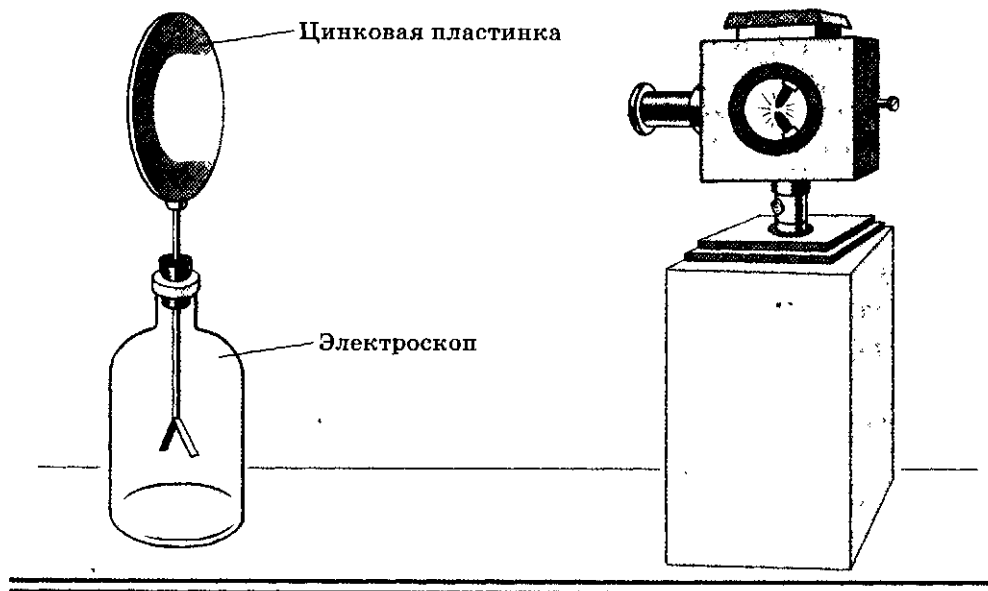


Рис. 53

Каждый раз при отрицательно заряженной цинковой пластинке свет разряжал электроскоп, а при положительном заряде на ней свет еще больше заряжал ее.

Многочисленные опыты, проведенные физиками разных стран, показали: при отрицательном заряде пластинки, освещенной светом электрической дуги, листочки электроскопа опадали, при положительном заряде расходились еще больше. Незаряженная цинковая пластинка под действием ультрафиолетового света заряжалась положительным зарядом.

Сущность явления заключается в том, что отрицательно заряженная цинковая пластинка теряет заряд под действием света потому, что свет выбивает из этой пластинки электроны.

Явление вырывания электронов из твердых тел под действием света называют внешним фотоэффектом, а вырванные таким способом электроны называют иногда фотоэлектронами.

Цель работы: опытным путем обнаружить явление фотоэффекта.

Приборы и материалы: электрометр (рис. 54) или самодельный электроскоп (см. рис. 43), ультра-

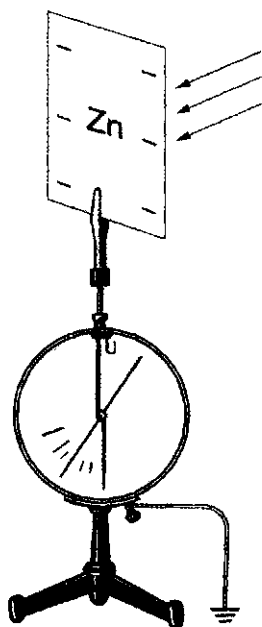


Рис. 54

фиолетовый осветитель — косметический прибор «Фотон» (см. рис. 7), пластинки металлические — цинковая, медная, свинцовая (от прибора по электролизу).

Примечание. При отсутствии цинковой пластинки ее можно сделать из цинкового стаканчика вышедшего из употребления гальванического элемента.

Указания к работе

1. Тщательно очищенную наждачной бумагой цинковую пластинку закрепите с помощью зажима «крокодил» на стержне электрометра (см. рис. 54).

2. Сообщите цинковой пластинке отрицательный заряд от эбонитовой палочки, потертой о шерсть.

3. После остановки стрелки электрометра осветите цинковую пластинку ультрафиолетовыми лучами косметического прибора «Фотон». Обратите внимание на разряд электрометра и зафиксируйте время его разряда.

4. Аналогичные опыты проведите с очищенными свинцовой и медной пластинками и сделайте выводы о возможности разряда этих пластинок и времени этого процесса.

Примечание. При отсутствии эбонитовой палочки можно воспользоваться пластмассовой трубкой, в которую, как правило, укладывают электропроводку при строительстве домов.

5. Результаты опытов и их объяснение на основе теоретического материала учебника оформите в виде письменного отчета.

Лабораторная работа 3

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ФОТОЭФФЕКТА

Теоретический материал. Законы фотоэффекта были открыты русским физиком А. Г. Столетовым. Ход его рассуждений был примерно таким: известно, что разноименные электрические заряды притягиваются. Значит, надо попробовать вблизи отрицательно заряженной цинковой пластинки поместить другую пластинку и зарядить ее положительно. Эта пластинка должна обязательно притягивать к себе фотоэлектроны, выбиваемые ультрафиолетовым светом из цинковой пластинки. При этом такая пластинка не должна преграждать доступ свету на цинковую пластинку. Вот почему А. Г. Столетов пластинку заменил металлической сеткой, которая могла заряжаться и вместе с тем пропускать свет через свои отверстия.

Сетку присоединяли к положительному полюсу батареи, а цинковую пластинку через чувствительный гальванометр — к отрицательному (рис. 55). При дневном свете гальванометр не регистрировал возникновение тока. Только свет электрической дуги, направленный на цинковую пластинку, позволял регистрировать электрический ток. Это значит, что

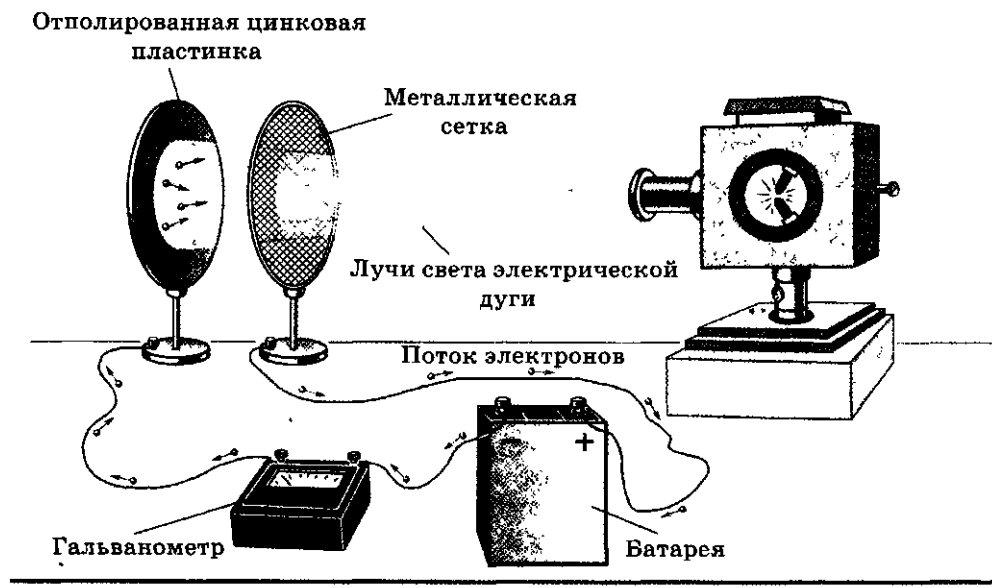


Рис. 55

фотоэлектроны, выбиваемые светом, притягивались сеткой и тем самым электрическая цепь становилась замкнутой. При смене полюсов на пластинках гальванометр также не давал показаний.

Продолжая исследования явления фотоэффекта, А. Г. Столетов поместил диск и сетку в стеклянный баллон, из которого был выкачан воздух, и в результате получил вакуумный фотоэлемент (рис. 56). Благодаря этому прибору им были установлены следующие законы фотоэффекта:

1. Число электронов, освобожденных светом за одну секунду (*ток насыщения*), прямо пропорционально световому потоку, или интенсивности света (рис. 57).

2. Максимальная начальная скорость фотоэлектронов определяется частотой света и не зависит от его интенсивности.

3. Для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта, т. е. наименьшая частота света, при которой еще возможен внешний фотоэффект.

Цель работы: экспериментально проверить законы фотоэффекта.

Приборы и материалы: вакуумный фотоэлемент СЦВ-4 (рис. 58); осветитель (рис. 59) или самодельный прибор для изучения явления фотоэффекта (см. рис. 44), на одном конце трубки которого закреплен фотоэлемент, а на другом — лампочка МН-3,5—0,28, закрепленная на подвижном и градуированном стержне; ВУП-2; мультиметр; провода соединительные.

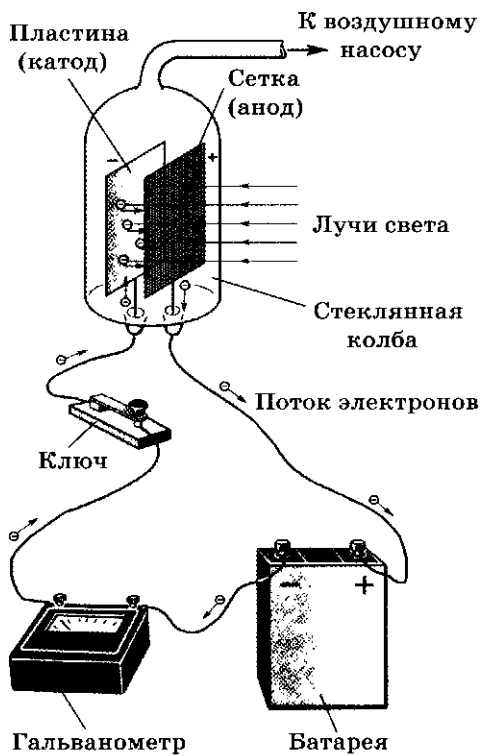


Рис. 56

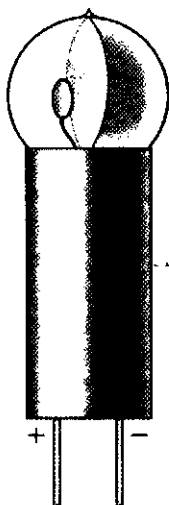


Рис. 58

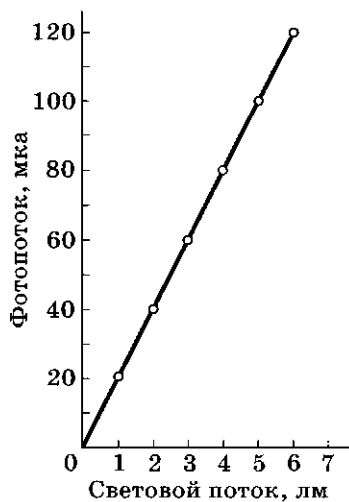


Рис. 57

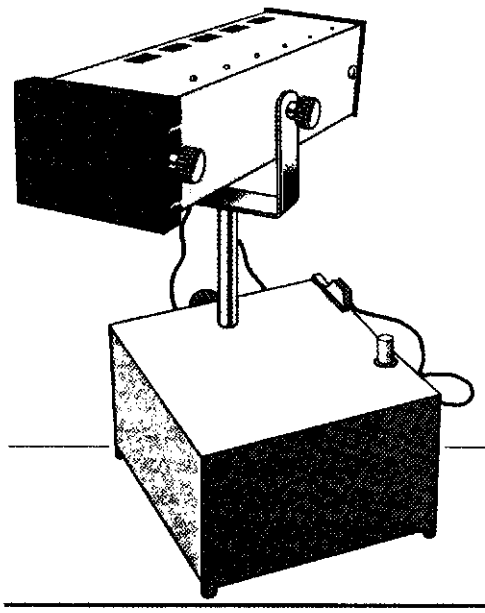


Рис. 59

Указания к работе

1. Соберите электрическую цепь (рис. 60) и при постоянном местоположении лампочки потенциометром выпрямителя изменяйте напряжение на фотоэлементе и измеряйте соответствующую ему силу тока. Результаты измерений запишите в таблицу 3.

Таблица 3

$U, \text{В}$								
$I, \text{мА}$								

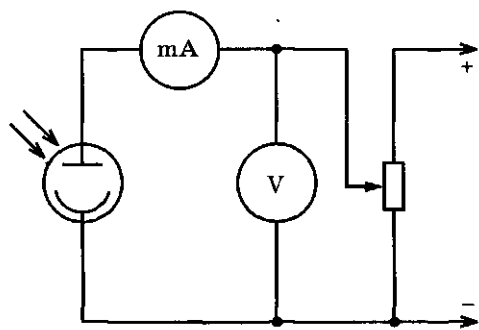


Рис. 60

2. По данным таблицы 3 постройте график зависимости силы тока от напряжения, т. е. вольт-амперную характеристику фотоэлемента.

3. Установите на фотоэлементе (см. рис. 60) напряжение, равное 20 В. Приближая лампочку (осветитель) к фотоэлементу, через каждые 5 см (0,05 м) фиксируйте силу тока. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 4.

Таблица 4

$r, \text{м}$								
$E, \text{лк}$								
$I, \text{мА}$								

4. Освещенность фотоэлемента измерьте мультиметром ДТ-21 (см. рис. 42) или вычислите по формуле $E = I/r^2$, где I — сила света лампочки осветителя ($1 \text{ св} \approx 1 \text{ кд}$); r — расстояние в метрах между лампочкой и фотоэлементом.

5. По данным таблицы 4 постройте график зависимости силы тока фотоэлемента от освещенности.

Примечание. Экспериментальная установка (см. рис. 58 и 59) ориентирована на работу в затемненном помещении. Если этого сделать нельзя, то пользуются экспериментальной установкой, показанной на рисунке 44.

6. Результаты опытов и их объяснение оформите в виде письменного отчета.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОТЫ ВЫХОДА ФОТОЭЛЕКТРОНА

Теоретический материал. Экспериментальные законы фотоэффекта не удалось объяснить с позиций электромагнитной теории света. По этой теории электромагнитные волны, достигнув поверхности металла, вызывают вынужденные колебания электронов, отрывая их от металла. В этом случае между началом освещения и моментом вылета электронов должно возникнуть заметное запаздывание, в то время как фотоэффект безынерционен. Причем кинетическая энергия электронов, покидающих металл, должна зависеть от амплитуды вынуждающей силы, т. е. от напряженности электрического поля в электромагнитной волне. Но это не подтверждается опытом (см. второй закон фотоэффекта).

Объясняет явление фотоэффекта квантовая теория, согласно которой для выхода из металла электрон должен преодолеть потенциальный барьер на границе металл — вакуум. Для этого электрон совершает работу выхода A_0 . В результате поглощения фотона его энергия ($E = h\nu$) целиком передается электрону. Если $E > A_0$, то электрон сможет совершить работу выхода и выйти из металла. Наибольшую кинетическую энергию, которую сможет приобрести фотоэлектрон, определяют по уравнению Эйнштейна $h\nu = A_0 + mv^2/2$.

Из этого уравнения следует, что максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона зависит от частоты и работы выхода: $\frac{mv^2}{2} = h\nu - A_0$, но не зависит от интенсивности света.

Из этого же уравнения следует, что внешний фотоэффект возможен лишь при условии, когда $h\nu > A_0$, т. е. энергии фотона должно хватить на то, чтобы вырвать электрон из металла. Обозначив через ν_{\max} наибольшую частоту света, при которой возможен фотоэффект, получим $h\nu_{\max} = A_0$, следовательно, граничная длина волны $\lambda_{\max} = c/\nu_{\max} = hc/A_0$. Красная граница фотоэффекта зависит только от работы выхода электрона, т. е. от химической природы металла и состояния его поверхности (см. третий закон фотоэффекта). Красной эта граница называется потому, что при $\lambda > \lambda_{\max}$, т. е. при более красном свете, фотоэффект не происходит.

Наконец, общее число фотоэлектронов (N), покидающих поверхность металла за время, равное 1 с, должно быть пропорционально числу фотонов ($n\nu$), падающих за это время на поверхность металла. Если освещенность (E) поверхности пропорциональна интенсивности света (I), то число ежесекундно падающих на поверхность фотонов составляет $n\nu \sim E/(h\nu) \sim I/(h\nu)$. Таким образом, число фотоэлектронов, ежесекундно вылетающих из металла, пропорционально интенсивности света: $N \sim I$.

Цель работы: определить работу выхода фотоэлектрона.

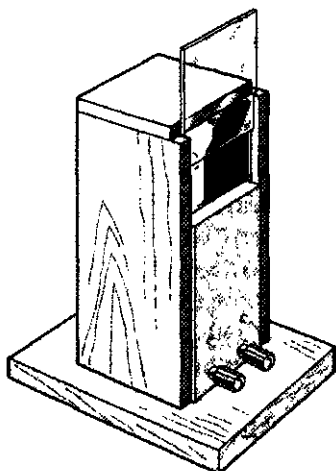


Рис. 61

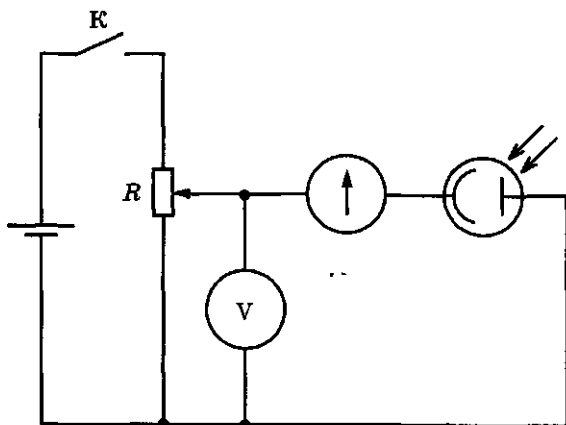


Рис. 62

Приборы и материалы: фотоэлемент СЦВ-4 в кожухе (рис. 61), мультиметр или гальванометр, низковольтный источник питания, реостат, провода соединительные.

Указания к работе

1. Соберите электрическую цепь по схеме (рис. 62), где «+» источника тока соединен с фотокатодом через делитель напряжения.
2. Вставьте в окошко перед фотоэлементом синий светофильтр от осветителя (см. рис. 59) и осветите светофильтр. Плавно увеличивайте напряжение на фотокатоде до тех пор, пока гальванометр (мультиметр) не покажет силу тока, равную нулю.
3. По известному значению частоты света ($7,15 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}$), пропускаемого светофильтром, и измеренному напряжению запирающего фототока определите работу выхода фотоэлектрона.
4. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу 5.

Таблица 5

λ , нм	ν , с^{-1}	U , В	A , Дж	A , эВ

5. Результаты опытов и их объяснение на основе теоретического материала учебника оформите в виде письменного отчета.

Лабораторная работа 5

ИЗМЕРЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ПЛАНКА

Теоретический материал. Постоянная Планка входит в большинство уравнений квантовой физики, и ее измерение имеет важное значение. Существует несколько методов измерения этой величины. Наиболее доступен метод, основанный на явлении фотоэффекта.

При освещении фотоэлемента электроны, выбитые фотонами из катода, создают ток в цепи фотоэлемента. Если источник постоянного тока подключить отрицательным полюсом к аноду фотоэлемента, а положительным — к катоду (рис. 63), то электрическое поле между катодом и анодом будет препятствовать движению электронов. Если работа по преодолению задерживающего потенциала равна кинетической энергии самых быстрых электронов, т. е. $eU = \frac{mv_{\max}^2}{2}$, то сила тока в цепи фотоэлемента будет равна нулю.

Из условия запирающего фототока и уравнения Эйнштейна $h\nu = A + \frac{mv_{\max}^2}{2}$ можно записать: $h\nu = A + eU$.

Для измерения постоянной Планка определяют запирающие напряжения U_1 и U_2 при поочередном освещении фотоэлемента светом различных частот ν_1 и ν_2 . Из уравнений $h\nu_1 = A + eU_1$, $h\nu_2 = A + eU_2$ находят постоянную Планка:

$$h = \frac{eU_1 - eU_2}{\nu_1 - \nu_2} = \frac{e\Delta U}{\Delta\nu}.$$

Цель работы: измерить постоянную Планка.

Приборы и материалы: комплект приборов «Квант-1», состоящий из фотоэлемента Ф-26 в специальном кожухе, осветителя, вольтметра или мультиметра, гальванометра чувствительностью 10^{-8} А/дел, потенциометра, проводов соединительных.

Указания к работе

1. Соберите экспериментальную установку по схеме (см. рис. 63) и убедитесь в наличии фототока, когда в цепи отсутствует источник тока или когда он отключен.

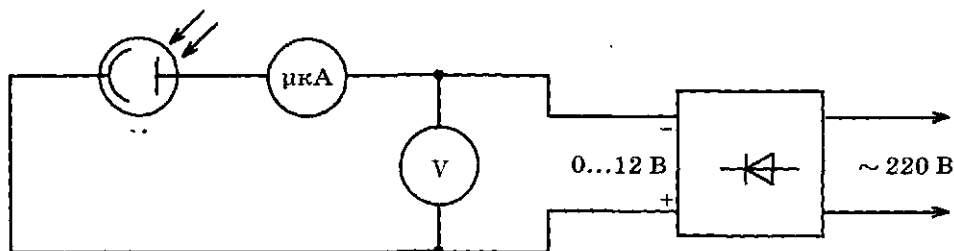


Рис. 63

2. Установите светофильтр (зеленый ЗС-1) от осветителя (см. рис. 59); плавно увеличивая напряжение, следите за показаниями гальванометра. Фиксируйте напряжение, при котором фототок прекращается.
3. Повторите аналогичные измерения при освещении фотокатода через синий светофильтр СС-1.
4. По паспортам светофильтров найдите средние частоты пропускаемых ими волн.
5. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 6.

Таблица 6

Заряд электрона	Напряжение U_1 , В	Напряжение U_2 , В	Частоты волн, пропускаемых светофильтрами		Постоянная Планка
			ν_1	ν_2	

Примечание. При отсутствии комплекта приборов «Квант-1» эти опыты можно поставить на экспериментальной установке (см. рис. 44), где в качестве осветителя следует использовать не лампочку накаливания (при отсутствии светофильтров), а полноцветный светодиод (см. рис. 6).

6. Результаты опытов и их объяснение на основе теоретического материала учебника оформите в виде письменного отчета.

Лабораторная работа 6

ИЗУЧЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ

Теоретический материал. В отличие от вакуумных полупроводниковые фотоэлементы имеют малые габариты, большой срок службы, стабильный вырабатываемый сигнал. Они лучше выдерживают вибрации и удары.

В технике распространены меднозакисные, селеновые и кремниевые фотоэлементы. Конструкция и принцип действия этих и других фотоэлементов примерно одинаковы.

Например, основанием селенового фотоэлемента (рис. 64) является металлический дисковый электрод 1, на который нанесен тонкий слой селена 2, а на последний — полупрозрачный слой золота 3, контактирующий с кольцом 4. При диффузии атомов золота в селен (полупроводник p -типа) в последнем образуется слой n -типа. Между полупроводниками с разным типом проводимости создается p - n -переход 2—3, который и является запирающим слоем.

Под действием света в n -слое происходит интенсивное образование свободных носителей заряда, т. е. электронов и дырок. Эти носители, участвуя в тепловом движении, перемещаются в различных направлени-

ях, в том числе и в направлении к p - n -переходу. Под действием электрического поля этого перехода происходит разделение диффундирующих к нему зарядов: электроны накапливаются в n -слое, дырки — в p -слое. В результате между слоями устанавливается разность потенциалов, которую и называют фотоЭДС.

Если фотоэлемент подключить к гальванометру и осветить, то в цепи возникает фототок, значение которого зависит от освещенности.

Прибор, предназначенный для постановки этой работы (рис. 65), представляет собой горизонтально расположенную пластмассовую (металлическую) трубу 1, закрытую с торцов и укрепленную на двух подставках. В левой части трубы находится селеновый фотоэлемент, который соединен гибкими проводами с двумя зажимами 2, установленными на торцевой части трубы. При помощи рукоятки 3 фотоэлемент можно поворачивать вокруг горизонтальной оси на угол 90° . Угол поворота определяют по шкале угломера, укрепленного на поверхности корпуса прибора.

Средняя часть трубы раскрывается на две половины. Закрытые половины образуют внизу щель, расположенную вдоль трубы. Щель закрыта клапаном из черной материи.

В нижней части откидной крышки трубы укреплена шкала 4 с делениями от 0 до 30 см, причем нулевое деление шкалы совпадает с плоскостью чувствительного слоя фотоэлемента.

Труба прибора внутри имеет несколько защитных ребер и черную матовую окраску. Ребра предохраняют фотоэлемент от отраженного излучения, а черная краска — от световых бликов.

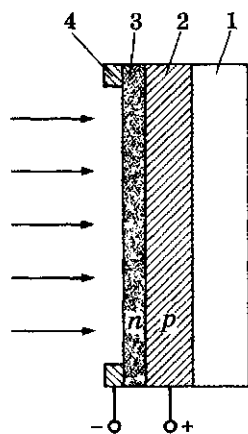


Рис. 64

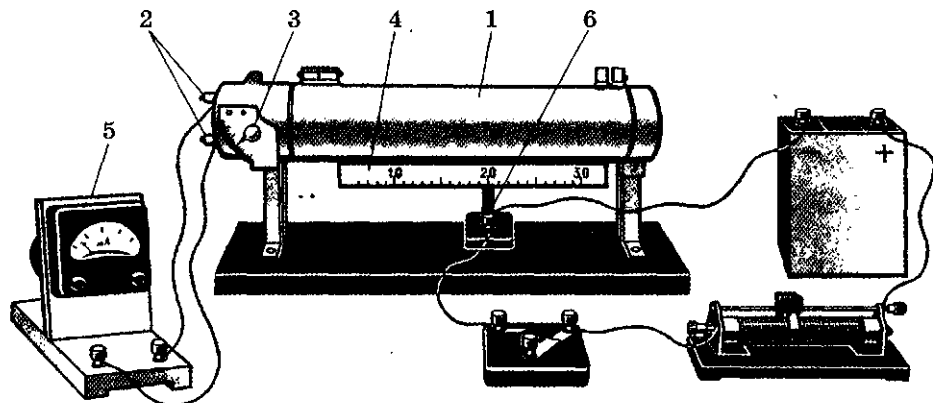


Рис. 65

К прибору прилагается микроамперметр 5 и стойка с лампой 6, которая в опытах служит источником света.

Цель работы: изучить зависимость силы фототока фотоэлемента от освещенности и построить график этой зависимости.

Приборы и материалы: прибор для изучения законов фотометрии, микроамперметр или мультиметр, реостат, источник тока, ключ, провода соединительные.

Указания к работе

1. Расположите фотоэлемент прибора перпендикулярно оси трубы и его зажимы соедините с микроамперметром (см. рис. 65).

2. Присоедините к источнику тока через выключатель и реостат электрическую лампу и установите ее на расстоянии 10 см от фотоэлемента. Реостатом выберите такой накал нити, чтобы стрелка микроамперметра отклонилась на всю шкалу.

3. Увеличьте расстояние между лампой и фотоэлементом и через каждые 2 см измеряйте силу тока. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 7.

Таблица 7

№ п/п	Расстояние между фотоэлементом и лампой r , м	Освещенность фотоэлемента E , лк	Сила тока I , мкА
1			
2			
3			
4			
5			
6			

4. Для каждого опыта рассчитайте освещенность фотоэлемента по формуле $E = \frac{I}{r^2}$, где I — сила света источника (ее приближенно принимают равной 1 кд); r — расстояние между лампой и фотоэлементом, выраженное в метрах.

5. По данным таблицы 7 постройте график зависимости силы фототока от освещенности. (По оси абсцисс отложите освещенность в люксах, а по оси ординат — силу фототока в микроамперах.)

6. Результаты опытов и их объяснение на основе теоретических сведений учебника оформите в виде письменного отчета.

Примечание. При отсутствии прибора для изучения законов фотометрии предлагаемые опыты можно поставить с помощью самодельно-

го прибора (см. рис. 47), где фоторезистор, размещенный в правом торце трубы, заменяют фотодиодом, а микроамперметр — милливольтметром мультиметра.

Лабораторная работа 7

СОЛНЕЧНАЯ БАТАРЕЯ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Теоретический материал. Солнечные батареи, преобразующие энергию света в электрическую энергию, широко применяются для обеспечения жизнедеятельности человека. Достоинством солнечных батарей является неограниченный срок службы, простота устройства, отсутствие подвижных частей. Все это делает солнечные батареи перспективными источниками тока, в том числе и в собственной лабораторной практике. Уже в настоящее время они широко используются в электронных часах, калькуляторах и радиоприемниках.

Конструктивно солнечная батарея представляет собой плоскую панель, состоящую из размещенных вплотную полупроводниковых фотоэлементов. Эти элементы соединены между собой и защищены с лицевой стороны твердым покрытием. Число полупроводниковых фотоэлементов может быть различным: от нескольких десятков до нескольких тысяч. Площадь панели у больших промышленных солнечных батарей может достигать нескольких тысяч квадратных метров, а максимальная генерируемая мощность — нескольких десятков киловатт.

Основными материалами для изготовления полупроводниковых фотоэлементов являются кремний Si и арсенид галлия GaAs. Они обеспечивают КПД фотопреобразования до 22%.

На рисунке 66 приведена схема устройства кремниевого фотоэлемента. К металлической пластине 1, которая является одним из электродов фотоэлемента, припаяна тонкая пластина 2 кремния с проводимостью n -типа. На верхнюю грань этой пластины предварительно наносят слой 3 кремния p -типа, к которому примыкает другой электрод 5. Слой 3 покрывают слоем оксида кремния 4 определенной толщины; он является одновременно защитным и просветляющим слоем, т. е. уменьшающим потери света на отражение.

Под действием света в полупроводниковом кристалле возникает внутренний фотоэффект, связанный с увеличением количества свободных электронов и дырок в полупроводнике. Когда электрон и дырка в дырочном полупроводнике приближаются к p - n -переходу, то под действием контактного электрического поля p - n -перехода электрон перебрасывается в электронный полупроводник, а дырка отбрасывается в слой дырочного полупроводника

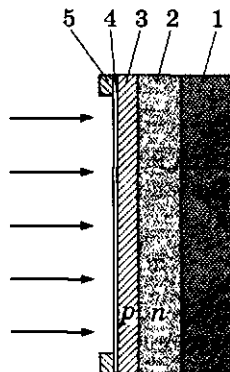


Рис. 66

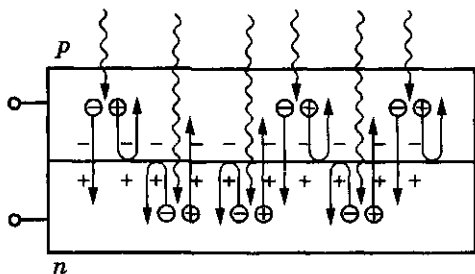


Рис. 67

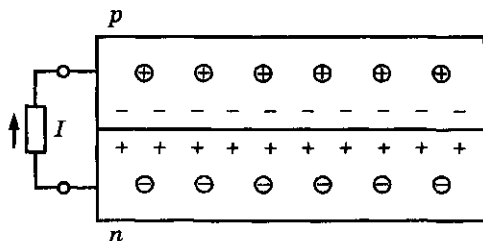


Рис. 68

(рис. 67). Вследствие такого разделения пар дырка — электрон слой электронного полупроводника приобретает отрицательный заряд, а слой дырочного полупроводника — положительный заряд, т. е. между слоями образуется разность потенциалов (напряжение). При замыкании слоев проводником в цепи возникает электрический ток (рис. 68).

Солнечная батарея (см. рис. 36) представляет собой систему последовательно и параллельно соединенных кремниевых полупроводниковых фотоэлементов.

Цель работы: исследовать зависимость фотоЭДС солнечной батареи от ее освещенности.

Приборы и материалы: солнечная батарея, мультиметр ДТ-21 (в этой работе он служит для измерения освещенности и напряжения на батарее), автомобильная лампа накаливания, источник тока, провода соединительные.

Примечание. В домашней обстановке зависимость фотоЭДС от освещенности можно изучить следующим образом. Прибором ДТ-21 измеряют освещенность сначала у самого окна, а затем на дискретных расстояниях 1, 2, 3, 4 м от окна в глубину комнаты. Затем мультиметр переводят в режим вольтметра и присоединяют его к солнечной батарее. Далее измеряют напряжение на батарее в тех точках, в которых ранее была измерена освещенность.

Указания к работе

1. Соберите экспериментальную установку, состоящую из лампы накаливания, подключенной к источнику с регулируемым напряжением, который обеспечивает номинальное напряжение на лампе. К солнечной батарее подключите вольтметр мультиметра. Установите солнечную батарею и лампу напротив друг друга на расстоянии 1 м.

2. Измерьте освещенность солнечной батареи с помощью люксметра мультиметра на фиксированных расстояниях, приведенных в таблице 8. При отсутствии люксметра освещенность поверхности солнечной батареи рассчитайте по формуле $E = I/r^2$, где $I = 21$ кд, если на цоколе лампы написано: 12 В, 21 Вт.

3. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 8.

Расстояние между лампой и батареей r , м	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4
Освещенность батареи E , лк					
ФотоЭДС батареи, В					

4. По результатам измерений и вычислений постройте график зависимости фотоЭДС от освещенности.

5. Результаты опытов и их объяснение на основе теории учебника оформите в виде письменного отчета.

Лабораторная работа 8

ИЗУЧЕНИЕ ФОТОРЕЗИСТОРА

Теоретический материал. Фоторезистор относится к приборам с внутренним фотоэффектом. Его сопротивление изменяется под действием электромагнитного излучения оптического диапазона. Светочувствительный элемент у таких приборов может быть в виде прямоугольной или круглой таблетки, спрессованной из полупроводникового материала, либо представлять собой тонкий слой полупроводника, нанесенный на стеклянную пластинку-подложку.

Полупроводниковый слой с обеих сторон имеет выводы для включения резистора в электрическую цепь. Светочувствительный элемент с выводами обычно помещают в круглый, овальный или прямоугольный пластмассовый корпус небольших размеров (рис. 69). На рисунке также дан обозначение фоторезистора для принципиальных электрических схем.

Электропроводность слоя полупроводника изменяется в зависимости от его освещенности. Чем сильнее освещен фоторезистор, тем меньше его сопротивление и тем больший ток через него проходит.

В качестве полупроводникового материала чаще всего используют сернистый свинец, висмут, кадмий, таллий, которые тонким слоем наносят на изолирующую пластинку.

Для того чтобы полупроводниковый слой не подвергался вредным воздействиям внешней среды, его покрывают лаком, прозрачным для той части спектра, для которой данный фоторезистор предназначен.

Цель работы: изучить зависимость сопротивления фоторезистора от освещенности.

Приборы и материалы: самодельный прибор для изучения сопротивления фоторезистора от освещенности (см. рис. 47), мультиметр, выпрямитель или адаптер, провода соединительные.

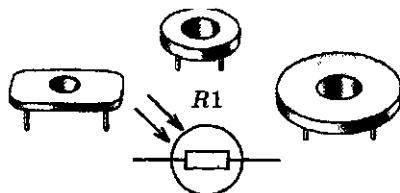


Рис. 69

Прибор для изучения сопротивления фоторезистора (см. рис. 47) представляет собой трубу с внешним диаметром до 40 мм, длиной до 400 мм, у которой с одного конца с помощью заглушки закреплен фоторезистор, а с другого — заглушка с отверстием для подвижной трубки с лампочкой (или светодиодом белого свечения). На трубке с лампочкой нанесены риски через 10 мм — они необходимы для определения расстояния между лампочкой и фоторезистором.

Указания к работе

1. К фоторезистору подключите омметр мультиметра и измерьте сопротивление фоторезистора в затемненном состоянии.

2. Выдвините лампочку в крайнее левое положение, т. е. максимально удалите ее от фоторезистора и подайте на нее номинальное напряжение питания. Омметром снова измерьте сопротивление фоторезистора. Рассчитайте освещенность по формуле $E = \frac{I}{r^2}$, где I — сила света (для лампочки МП-3,5—0,28 ее принимают за 1 кд); r — расстояние между лампочкой и фоторезистором в метрах.

3. Дискретно через 1 или 2 см сокращайте расстояние между лампочкой и фоторезистором. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 9.

Таблица 9

Расстояние между лампочкой и фоторезистором r , м							
Освещенность фоторезистора E , лк							
Сопротивление фоторезистора R , Ом							

4. По данным таблицы 9 постройте график зависимости сопротивления фоторезистора от освещенности.

5. Результаты опытов и их объяснение на основе теории учебника оформите в виде письменного отчета.

Лабораторная работа 9

ИЗУЧЕНИЕ ФОТОДИОДА И ФОТОТРАНЗИСТОРА

Теоретический материал. Фотодиод — это разновидность полупроводникового диода с p — n -переходом. У фотодиода пока p — n -переход не освещен, запирающий слой препятствует взаимному обмену электронами и дырок между слоями p и n . При облучении слоя кванты света проникают в слой p и выбивают из него электроны, которые попадают в слой n и нейтрализуют в нем дырки. В результате электрическое поле, создаваемое парами дополнительных носителей зарядов (электронов и дырок),

в p — n -переходе усиливается и между выводами фотодиода возникает фотоЭДС в несколько десятых вольт.

Если к выводам фотодиода присоединить нагрузку (вольтметр), то через нее пойдет постоянный ток. Такой режим работы фотодиода называется вентильным. Его используют для прямого преобразования световой энергии в электрическую.

Фотодиоды (рис. 70, *а* — внешний вид; *б* — условное обозначение), как и гальванические элементы, можно соединять в батареи в целях получения более высокого напряжения или сильного тока.

На принципе последовательного и параллельного соединений фотодиодов работают солнечные батареи.

За основу условных графических обозначений солнечных элементов и батарей приняты символы гальванических элементов, помещенные в окружность или овал, с левой стороны которых изображен знак (две стрелки) фотоэлектрического эффекта (рис. 71). На месте буквы n в обозначении солнечной батареи указывают число образующих ее элементов.

Фотодиоды могут действовать подобно фоторезисторам, когда p — n -переход запирают небольшим постоянным напряжением от внешнего источника тока.

Когда свет падает на фотодиод, сопротивление запирающего слоя уменьшается и проходящий через него ток возрастает. При отсутствии освещения через фотодиод протекает незначительный обратный (темновой) ток. Такой режим называют фотодиодным.

Внешний вид фотодиодов показан на рисунке 70. На принципиальных схемах их обозначают теми же символами, что и светодиоды, но две наклонные параллельные стрелки в обозначении фотодиода помещены слева от круга и направлены в его сторону (см. рис. 70, *б*).

Различают два режима работы фотодиодов: собственно фотодиодный и фотовольтаический. В фотодиодном режиме на p — n -переход подают запирающее напряжение. В темноте сила тока, проходящего через запертый переход, будет небольшой. Но стоит осветить переход, как ток резко возрастает за счет выбитых квантами света электронов и образовавшихся на их месте дырок.

В фотовольтаическом режиме на p — n -переход не подают напряжение: оно само возникает под действием света. Происходит так потому, что кванты

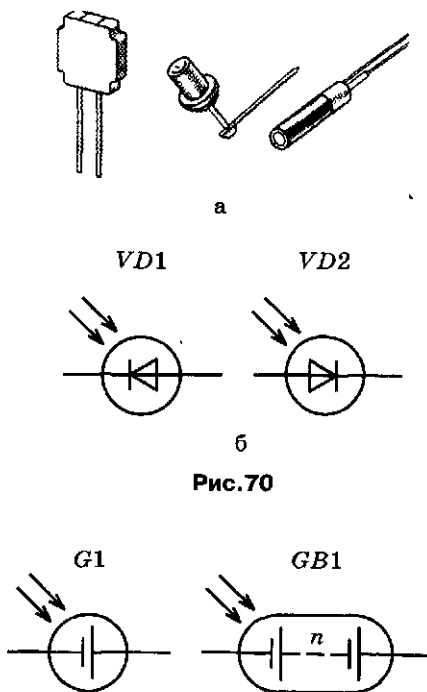


Рис. 70

Рис. 71

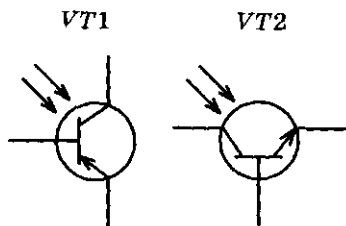


Рис. 72

света сообщают носителям заряда дополнительную энергию, помогающую им преодолеть дополнительный потенциальный барьер $p-n$ -перехода.

Параметры фотодиодов постоянно совершенствуются в двух главных направлениях: повышение чувствительности и уменьшение инерционности.

Фототранзистор (рис. 72) в отличие от фотодиода обладает внутренним фотоусилением и благодаря этому повышенной чувствительностью. Фототранзисторы с $p-n$ -переходом изготавливают по стандартной планарной технологии кремниевых интегральных схем. От обычного $n-p-n$ -транзистора фототранзистор отличается только тем, что у него в области эмиттерного перехода имеется прозрачное окно, пройдя которое свет попадает в область базы. Под действием света образовавшиеся носители зарядов создают ток базы. Ток коллектора в соответствии с принципом работы транзистора будет в n раз больше. Типичное значение коэффициента передачи тока кремниевого транзистора составляет 50—200.

Цель работы: исследовать работу фотодиода и фототранзистора.

Приборы и материалы: самодельный прибор по фотометрии (см. рис. 47), в котором с правой стороны вместо заглушки с фоторезистором вставлена заглушка с фотодиодом (см. рис. 70) или фототранзистором (см. рис. 37 и 71), мультиметр, источник тока, провода соединительные.

Указания к работе

1. К фотодиоду или фототранзистору подключите милливольтметр мультиметра в соответствии с полярностью приборов.
2. Передвиньте лампочку накаливания в приборе (см. рис. 47) в крайнее левое положение и подайте на нее номинальное напряжение питания. Вычислите по формуле $E = I/r^2$ освещенность фотодиода (фототранзистора), где I — сила света (для лампочки МН-3,5—0,28 при номинальном напряжении питания она равна 1 кд); r — расстояние между лампочкой и фотодиодом в метрах.
3. Дискретно через 1 или 2 см сокращайте расстояние между лампочкой и фотодиодом (фототранзистором). Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 10.

Таблица 10

Расстояние между лампочкой и фотодиодом r , м						
Освещенность фотодиода E , лк						
ЭДС фотодиода, В						

4. По данным таблицы 10 постройте график зависимости фотоЭДС фотодиода (фототранзистора) от освещенности.

5. Результаты опытов и их объяснение на основе теории учебника оформите в виде письменного отчета.

Лабораторная работа 10

ИЗУЧЕНИЕ ФОТОХИМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Теоретический материал. Основой фотохимических явлений являются два фундаментальных положения:

- фотохимическая реакция — это квантовое явление;
- элементарный акт фотохимической реакции происходит в соответствии с законом сохранения и превращения энергии.

Исходя из фотонной структуры света, А. Эйнштейн сформулировал законы фотохимии.

1. Каждый поглощенный веществом фотон вызывает превращение одной молекулы. Это основной закон фотохимии, имеющий квантовое происхождение.

2. Молекула вступает в фотохимическую реакцию под действием фотона лишь в том случае, если энергия фотона не меньше определенного значения (энергии диссоциации). Если энергия фотона меньше энергии, необходимой для разрыва молекулярных связей, то реакция не произойдет. Если же энергия фотона больше этой энергии, то избыток энергии содержится в продуктах распада молекул, т. е. в активных радикалах.

Отметим, что граница фотохимической реакции энергии фотона полностью аналогична красной границе фотоэффекта. На основе этого закона можно объяснить, почему, например, фотобумага нечувствительна к красному и инфракрасному свету.

При изучении фотографического процесса важно выяснить, как образуется скрытое, а затем видимое изображение на негативе. Возникновение первого из них относится к фотохимическим явлениям.

При поглощении фотона с энергией $E = h\nu$ молекула бромида серебра распадается на составные атомы по схеме $\text{AgBr} + h\nu = \text{Ag}^* + \text{Br}^{\cdot} + e^-$. Здесь Ag^* — энергетически возбужденный атом серебра; Br^{\cdot} — положительный ион брома; e^- — электрон. Атомы, молекулы или их части, возбужденные под действием света, называются активными радикалами. При их участии протекают различные химические реакции разложения и синтеза молекул. Электрон, который был выброшен при реакции в кристаллическую решетку, блуждает по кристаллу и в конце концов оседает на дефект кристалла (последние всегда содержатся в реальных кристаллах). К электрону притягивается межузельный положительно заряженный ион серебра, который связывается с электроном и нейтрализуется. В результате образуется нейтральный атом серебра.

На этот же дефект кристалла последовательно оседают и другие электроны, освобожденные при фотохимических реакциях, которые также

нейтрализуются положительно заряженными ионами. Так происходит процесс выделения нейтральных атомов серебра. Каждое их скопление содержит до нескольких десятков атомов серебра, а таких скоплений в кристаллике несколько. Эти скопления атомов серебра, находящиеся в аморфном состоянии, образуют центры скрытого изображения. Под действием проявителя вокруг центров скрытого изображения как зародышей кристаллизации выделяются все соседние атомы кристаллического серебра. Так образуется невидимое изображение на негативе.

Для того чтобы изображение сделать видимым, нужно фотопленку или фотопластинку проявить. В процессе проявления на пленке в каждом кристаллике бромистого серебра, в котором отдельные молекулы подвергались расщеплению, происходит выделение серебра. На пленке получается негативное изображение, при котором места светлых участков снимаемого объекта будут темными и наоборот. Кристаллики бромистого серебра, не подвергшиеся действию квантов света, не расщепляются в проявителе. Эти кристаллики сохраняют свою светочувствительность, и, если их не удалить из эмульсионного слоя, они под действием света потемнеют и испортят изображение. Для их удаления пленку после проявления и ополаскивания в воде помещают в закрепитель, который растворяет и вымывает оставшиеся кристаллики бромистого серебра из эмульсии пленки. Благодаря этому пленка становится прозрачной и нечувствительной к свету. После промывания в воде пленку высушивают в комнатных условиях.

Время проявления пленки, как правило, указано на ее упаковке.

С негатива получают позитивное изображение контактным или проекционным способом.

Позитивный процесс аналогичен негативному. Процесс изготовления фотоснимков состоит из печати, проявления, фиксирования, промывки и сушки. Эффект действия света на фотопленку или фотобумагу зависит от длительности выдержки, прозрачности негатива, светочувствительности бумаги, яркости лампы и расстояния между лампой и копировальной рамкой.

Обработка негативных материалов производится в основном в полной темноте, а позитивных — при красном свете. Это обусловлено тем, что фотоэмульсии негативных материалов чувствительны для любых квантов видимого света, а в позитивных материалах кванты красного света не вызывают расщепления молекул бромистого серебра.

Цель работы: проверить простыми средствами выполнение второго закона фотохимии, сформулированного А. Эйнштейном.

Приборы и материалы: осветитель со светофильтрами (см. рис. 59): красным, желтым, фиолетовым (ими снабжен осветитель), три кюветы (с чистой водой, проявителем и закрепителем для бумаги), фотобумага.

Указания к работе

1. В темном помещении, например в ванной комнате, приготовьте кюветы с растворами. Рецепт приготовления проявителя для бумаги и закрепителя написан на упаковках этих препаратов.

2. Достаньте из упаковки лист фотобумаги и положите на него в одной плоскости три вышеназванных светофильтра. Все эти процедуры совершают в темном помещении.
3. Осветите сверху этот лист бумаги со светофильтрами и поместите его в кювету с проявителем. Прodelайте процедуру освещения листа фотобумаги через разные светофильтры с различными периодами времени.
4. Опустите все пробные отпечатки в проявитель и, покачивая кювету и при включенном красном фонаре, наблюдайте за их проявлением.
5. Промойте водой закрепленные в фиксаже пробные отпечатки и на свету определите, кванты какого цвета лучей вызывают (не вызывают) фотохимические реакции.
6. Результаты опытов и их объяснение на основе теории учебника оформите в виде письменного отчета.

Лабораторная работа 11

ИЗУЧЕНИЕ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩЕГО ДИОДА

Теоретический материал. Свет излучают атомы, находящиеся в возбужденном состоянии. Если атомы возбуждают нагревом, то соответствующее излучение будет тепловым. С повышением температуры максимум теплового излучения смещается в сторону коротковолновой части спектра. Энергия теплового движения атомов и молекул пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры. Однако тепловое излучение не имеет никакого отношения к светодиодам и полупроводниковым лазерам.

В природе есть другой вид излучения — люминесценция, интенсивность которого превышает аналогичный параметр теплового излучения при данной температуре. Люминесценцию называют холодным светом. Для возникновения люминесценции необходимо внешнее воздействие нетеплового характера. Хорошо знакомый каждому из нас экран электронно-лучевой трубки телевизора светится под ударами электронов. В полупроводниковых светодиодах используется электролюминесценция — возбуждение атомов электрическим током. В этом случае возбужденные атомы полупроводника оказываются на метастабильном энергетическом уровне E_2 . Возвращаясь в основное состояние E_1 , атом излучает квант света $h\nu = E_2 - E_1$. Если возвращение атомов в равновесное (стабильное) состояние происходит самопроизвольно, вне связи с внешними воздействиями, то излучение оказывается некогерентным, вернее сказать, нестрого когерентным.

В светодиодах применяют в основном такие полупроводники, как арсенид галлия GaAs и фосфид галлия GaP. Используются и тройные соединения, например GaAlAs, GaAlP и др. В зависимости от материала и технологии изготовления получают красный, оранжевый, зеленый и другие цвета свечения. Выпускаются светодиоды инфракрасного свечения, которые применяются в пультах управления различной бытовой техникой.

Светодиоды оптического диапазона используются в качестве индикаторов в радиоаппаратуре, а также в качестве цифровых индикаторов в калькуляторах, часах и др. Они имеют размеры от долей миллиметра до нескольких миллиметров.

Светодиоды имеют удовлетворительное свечение при силе тока от 4 до 20 мА. Яркость свечения светодиода зависит от силы тока, которая ограничивается резистором сопротивлением до 300 Ом. Прямое напряжение для светодиодов разных цветов разное. Например, для светодиода красного цвета от 1,8 до 2 В, зеленого — от 2,4 до 2,8 В, желтого — от 2,4 до 2,5 В, синего — от 12 В.

КПД светодиодов невелик, мощность оптического или инфракрасного излучения составляет несколько милливатт.

Цель работы: измерить прямое напряжение зажигания светодиодов разной цветности и установить зависимость яркости свечения от силы тока.

Приборы и материалы: светодиоды разной цветности, адаптер, мультиметр, реостат, провода соединительные.

Указания к работе

1. Соберите электрическую цепь по схеме (рис. 73) и установите напряжение зажигания светодиода. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 11.

Таблица 11

Цвет светодиода	Красный	Оранжевый	Желтый	Зеленый	Синий
Напряжение зажигания светодиода					

2. Экспериментально установите зависимость яркости свечения светодиода от силы тока в нем с помощью электрической цепи, собранной по схеме (рис. 74).

3. Результаты опытов и их объяснение на основе теории учебника оформите в виде письменного отчета.

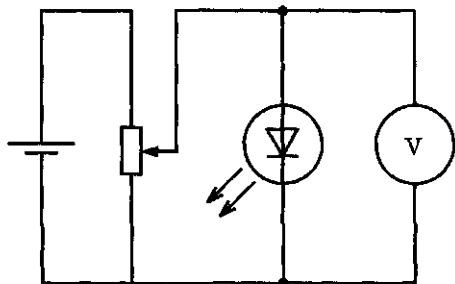


Рис. 73

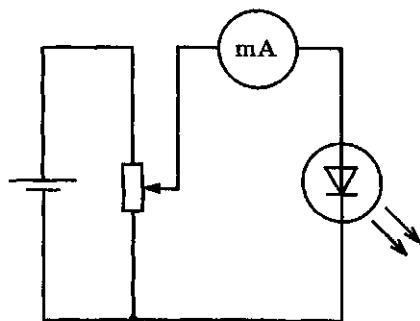


Рис. 74

Лабораторная работа 12

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ПЛАНКА С ПОМОЩЬЮ СВЕТОДИОДА

Теоретический материал. Основой устройства диода и светодиода является $p-n$ -переход, поэтому механизмы прохождения тока через диод и светодиод одинаковы.

При прямом токе через $p-n$ -переход электроны, попав в p -область, и дырки, попав в n -область, рекомбинируют: электроны становятся связанными, а дырки исчезают. Обычно энергия, выделяемая при рекомбинации, передается кристаллической решетке. Однако в некоторых полупроводниках (GaAs, GaP, InAs, InSb, SiC, ZnS) процесс рекомбинации сопровождается излучением квантов энергии.

На базе рекомбинационного излучения и работают светодиоды. В зависимости от кристалла и вида вводимых примесей свечение может происходить в инфракрасной области спектра (арсенид галлия) и в видимой области (фосфид галлия — красный, зеленый или желтый свет; карбид кремния — желто-зеленый или голубой свет).

При работе светодиода в пропускном направлении напряженность внешнего электрического поля E противоположна напряженности контактного поля E_k (рис. 75, а). Поэтому потенциальный барьер уменьшается на произведение eU (U — внешняя разность потенциалов), становясь равным $E = eU_k - eU$ (рис. 75, б). Вот почему часть основных носителей заряда получает возможность преодолевать $p-n$ -переход и обеспечивает через него прямой ток. Когда внешнее напряжение U приближается к U_k , то сила тока через переход резко возрастает (рис. 76). Для определения контактной разности потенциалов U_k необходимо построить вольт-амперную

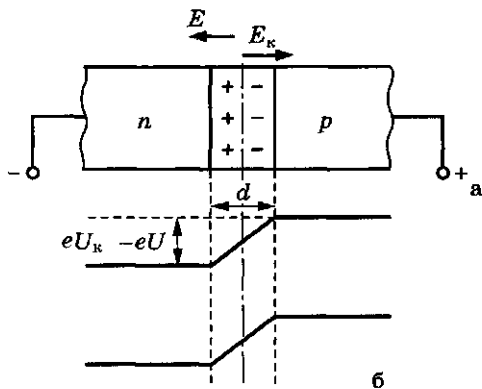


Рис. 75

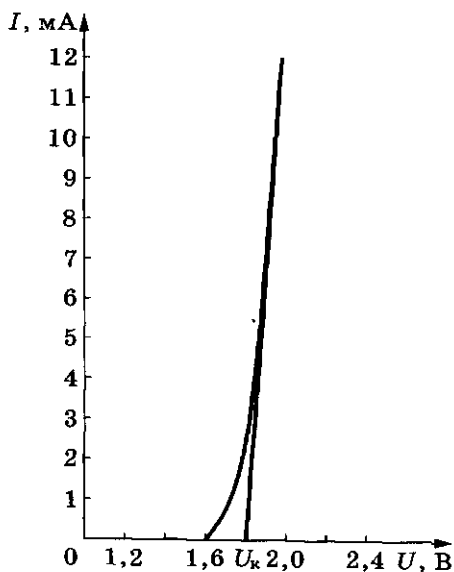


Рис. 76

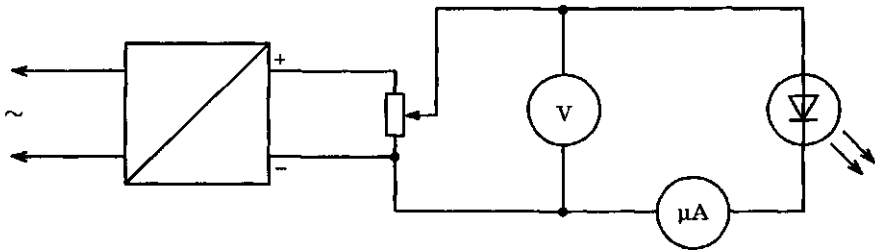


Рис. 77

характеристику светодиода (см. рис. 76) и провести касательную к ней до пересечения с осью абсцисс.

Для получения вольт-амперной характеристики собирают электрическую цепь (рис. 77), снимают показания приборов и строят график вольт-амперной характеристики. По ней определяют контактную разность потенциалов U_k на $p-n$ -переходе.

Поскольку электрическая энергия $E = eU_k$, затраченная на устранение потенциального барьера eU_k для каждого носителя, превращается в световую, то $eU_k = hv$. Отсюда $h = \frac{eU_k}{\nu}$, т. е. находят постоянную Планка.

Для этого необходимо измерить контактную разность потенциалов и частоту волны света, излучаемую светодиодом.

Цель работы: измерить постоянную Планка.

Приборы и материалы: адаптер, мультиметр, прибор для определения длины световой волны, светодиод, провода соединительные.

Указания к работе

1. Соберите электрическую цепь (см. рис. 77) и, начиная с нулевого напряжения, постепенно увеличивайте его, фиксируя при этом силу тока.
2. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 12.

Таблица 12

Внешнее напряжение U , В							
Сила тока I , мА							

3. По данным таблицы 12 постройте вольт-амперную характеристику светодиода и определите контактное напряжение U_k .

4. Частоту излучения светодиода определяют по среднему значению цветности свечения или с помощью дифракционной решетки и прибора для измерения длины световой волны. Для этого светодиод закрепляют против щели шкалы прибора. Тогда $h = \frac{eU_k}{\nu} = \frac{eU_k \lambda}{c}$, $\lambda = d \sin \varphi \approx d \operatorname{tg} \varphi = \frac{dx}{l}$.

5. Результаты опытов и их объяснение на основе теории учебника оформите в виде письменного отчета.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА К ЕГО МАССЕ

Теоретический материал. Доказательства существования отрицательно заряженных частиц в составе любого нейтрального атома были получены при определении отношения заряда электрона к его массе.

Это отношение можно установить и в школьных условиях с использованием прибора для демонстрации свойств электронных пучков (рис. 78, а).

Прибор состоит из газоразрядной трубки и катушек Гельмгольца. Газоразрядная трубка, имеющая форму шара, с накаливаемым катодом служит для получения видимого электронного пучка. Излучаемые катодом трубки электроны собираются электрическим полем в электронный пучок за счет особой формы этого поля между системой электродов (катода, модулятора и анода). Для получения видимого электронного пучка и дальнейшей фокусировки электронов служит водород. Он поступает из водородного генератора, находящегося рядом с системой электродов. Водородный генератор представляет собой полый цилиндр, сделанный из гидрида титана, внутри которого расположена нить накала. При нормальной температуре водородный генератор поглощает большое количество водорода, а при нагревании выделяет его в трубку. В зависимости от температуры накала катода водородный генератор выделяет в трубку такое количество водорода, которое способствует газовой фокусировке электронов. Суть этой фокусировки состоит в следующем: электроны, вылетевшие с катода и ускоренные анодным напряжением, ионизируют атомы водорода. Образовавшийся положительный заряд ионов за счет кулоновских сил притяжения компенсирует силы отталкивания между электронами, удерживая их в узком пучке. Одновременно с ионизацией атомов водорода происходит их возбуждение, которое и обеспечивает свечение водорода на пути движения электронного пучка (рис. 78, б).

Прибор настроен так, что электронный пучок направлен параллельно виткам катушек Гельмгольца. По-

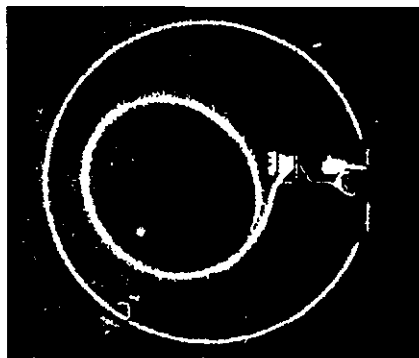
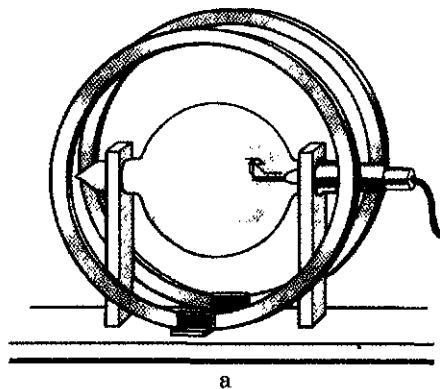


Рис. 78

сле подачи напряжения на катушки вектор магнитной индукции их магнитного поля составит с направлением электронного пучка угол 90° . При увеличении силы тока в катушках электронный пучок искривляется, а затем замыкается в кольцо. Так происходит потому, что на электроны, движущиеся перпендикулярно вектору магнитной индукции, действует сила Лоренца: $F = Bev$, где B — индукция магнитного поля; e — заряд электрона; v — скорость движения электрона.

Сила Лоренца перпендикулярна вектору скорости электрона и является центростремительной силой. Поэтому можно записать: $Bev = mv^2/r$, где r — радиус окружности движения электрона, а m — масса электрона. Так как электроны движутся под действием анодного напряжения, то их кинетическая энергия равна $mv^2/2 = eU$.

Решая два последних уравнения совместно, получаем

$$e/m = 2U/r^2 B^2.$$

Магнитную индукцию катушек Гельмгольца определяют по формуле

$$B = 0,71\mu_0 JN/R,$$

где J — сила тока в катушках; $N = 445$ (число витков в катушках); R — радиус катушек; $\mu_0 = 4 \cdot 10^{-7}$ Гн/м.

Цель работы: определить отношение заряда электрона к его массе, т. е. удельный заряд электрона.

Приборы и материалы: прибор для демонстрации свойств электронных пучков, выпрямитель ВУП-2, выпрямитель В-24, амперметр (мультиметр), миллиметровая линейка, провода соединительные.

Указания к работе

1. Подайте напряжение питания от ВУП-2 на трубку. Через время 4—5 мин прогрева катода появляется электронный луч, хорошо видимый в затемненном помещении.

2. Изменяя напряжение на модуляторе и аноде трубки ручками «Фокус» и «Анод», добейтесь сходимости электронного пучка.

3. Подайте напряжение питания на катушку Гельмгольца от выпрямителя В-24 через амперметр постоянного тока. Во время проведения опытов сила тока в катушках не должна превышать 1 А. При увеличении тока в катушках наблюдайте за искривлением луча, а затем и замыканием его в кольцо.

4. С помощью миллиметровой линейки определите радиус окружности электронного пучка. Для этого линейку расположите у самой газоразрядной трубки по диаметру окружности электронного пучка, а затем визуально проецируйте ее деления на противоположные участки электронного пучка, проведите измерения несколько раз по разным направлениям и найдите их среднее значение.

5. Результаты измерений и вычислений, проведенных при разных напряжениях на аноде, занесите в таблицу 13.

№ п/п	Напряжение на аноде U , В	Магнитная индукция B , Тл	Радиус электронного пучка r , м	Удельный заряд электрона e/m
1				
2				
3				
4				

6. Результаты опытов и их объяснение на основе теории учебника оформите в виде письменного отчета.

Лабораторная работа 14

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА

Теоретический материал. Удельный заряд электрона — одна из важнейших характеристик дискретности строения вещества. Его можно определить с помощью электронно-оптического индикатора, который ранее устанавливался в ламповых радиоприемниках и магнитофонах в качестве сигнализатора громкости звука.

Зависимость радиуса кривизны электронного потока в лампе 6Е1П универсального индикатора (см. рис. 48) от магнитной индукции электромагнита позволяет экспериментальным путем определить удельный заряд электрона, т. е. отношение заряда электрона e к его массе m . Это важнейшая характеристика материальности мира, фигурирующая во многих формулах, связанных с расчетом движения электрона в электрическом и магнитном полях.

Рассмотрим движение электрона в однородном магнитном поле, когда он влетает в это поле с начальной скоростью v_0 , направленной перпендикулярно магнитным силовым линиям (рис. 79). Поле действует на электрон с силой F , перпендикулярной вектору \vec{v}_0 и вектору индукции магнитного поля \vec{B} . Применяя правило левой руки (направление тока считаем противоположным направлению движения электрона), можно определить направление силы F .

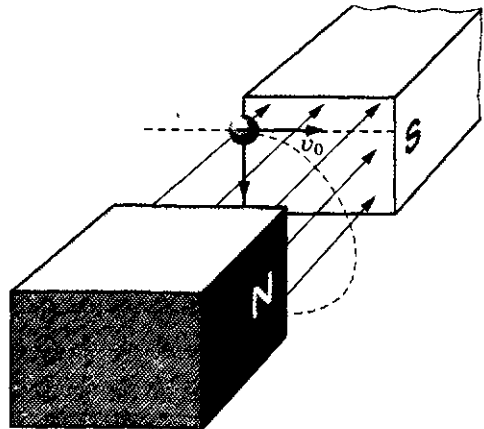


Рис. 79

Для случая, изображенного на рисунке 79, в начальной точке траектории она направлена вниз.

Силу, действующую на электрон, можно найти, опираясь на следующие рассуждения. Пусть электрон за время Δt проходит путь Δl . Движение электрона эквивалентно некоторому току, равному $i = e/\Delta t$, Δl можно принять за длину проводника с током i . Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле, определяется формулой $F = B \cdot I \cdot l \sin \alpha$. Учитывая, что $l = \Delta l$, $I = e/\Delta t$, $\alpha = 90^\circ$, получаем $F = B \Delta l \frac{e}{\Delta t}$.

А так как $\Delta l/\Delta t$ есть скорость электрона v_0 , то $F = Bv_0e$. Из этой формулы видно, что при $v_0 = 0$ сила $F = 0$, т. е. на неподвижный электрон магнитное поле не действует.

Поскольку сила F действует под прямым углом к скорости v_0 , то она искривляет траекторию электрона в дугу окружности. Скорость электрона не изменяется. Происходит только изменение ее направления.

Известно, что движение тела по окружности происходит под действием центробежной силы, которой в данном случае и является сила F , т. е.

$$mv_0^2/r^2 = Bv_0e. \quad (1)$$

Скорость электрона определяется разностью потенциалов U . Если считать, что электрон начинает разгон из состояния покоя, то по закону сохранения энергии на выходе из электрического поля (кратер лампы БИП представляет собой эквипотенциальную поверхность) он будет обладать энергией

$$mv_0^2/2 = eU. \quad (2)$$

Выразив из уравнения (1) скорость v_0 и подставив ее в уравнение (2), получим выражение для расчета удельного заряда электрона:

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{B^2 r^2}. \quad (3)$$

Так как $e/m = \text{const}$, то из этой формулы следует, что с увеличением B возрастает искривление траектории (радиус окружности уменьшается), а с увеличением анодного напряжения U при постоянном B оно уменьшается.

Кроме универсального индикатора (см. рис. 48), для опыта необходима экспериментальная установка, схема которой приведена на рисунке 80. Лампу индикатора подносят вплотную к торцу катушки $L1$, причем так, чтобы плоскость ее экрана была перпендикулярна оси катушки. По светящемуся сектору индикатора нетрудно обнаружить искривление потока электронов в

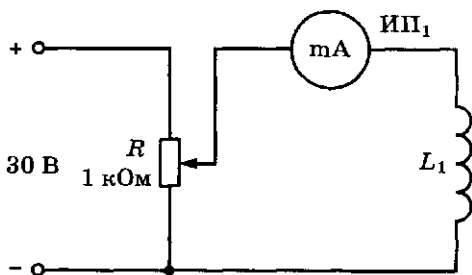


Рис. 80

лампе. Опытным путем легко убедиться и в том, что радиус его кривизны зависит от тока в катушке и, следовательно, от магнитной индукции, а также от напряжения, подаваемого на лампу.

Данные, необходимые для вычисления e/m по формуле (3), получают следующим образом.

Индукцию магнитного поля B цилиндрической многослойной катушки вдоль оси на ее концах определяют из выражения

$$B = \mu_0 0,2\pi I n N,$$

где N — число слоев в катушке; n — число витков в слое, приходящихся на длину l см; μ_0 — относительная магнитная проницаемость воздуха.

В экспериментальной установке в качестве многослойной цилиндрической катушки предпочтительнее использовать сетевую обмотку школьного универсального трансформатора, рассчитанную на напряжение 220 В. У нее примерно 15 витков на длину 1 см и обмотка составляет 9 слоев. Ток I , протекающий через соленоид, измеряют миллиамперметром, включенным в экспериментальную установку.

Измерение радиуса кривизны r^2 электронного потока в лампе можно произвести с помощью шаблона (рис. 81), вырезанного из чертежной бумаги. Шаблон прикладывают к лампе так, чтобы левая сторона совпала с вертикальной осью ее экрана, и изменением тока в катушке добиваются совмещения кривизны электронного потока и шаблона. Записывают значения силы тока в цепи и измеряют анодное напряжение.

Цель работы: определить удельный заряд электрона.

Приборы и материалы: универсальный индикатор (см. рис. 48), сетевая катушка школьного универсального трансформатора, мультиметр, источник электропитания, провода соединительные.

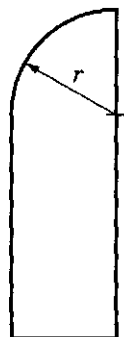


Рис. 81

Указания к работе

1. Подключите индикатор к источнику питания (см. рис. 20) и с помощью регулировки катодного сопротивления установите на экране узкую светящуюся полоску.

2. Расположите лампу индикатора горизонтально над осью катушки, подключенной к источнику питания (см. рис. 18). С помощью регулятора напряжения установите в катушке силу тока, такую, чтобы траектория электронного пучка совпала с кривизной шаблона.

3. Запишите показания прибора (напряжение, радиус кривизны электронного пучка), рассчитайте магнитную индукцию и удельный заряд электрона.

4. Результаты опытов и их объяснение на основе теории учебника оформите в виде письменного отчета.

КАЧЕСТВЕННЫЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Теоретический материал. Все атомы какого-либо одного химического элемента обладают одинаковым зарядом атомного ядра, их электронные оболочки имеют одинаковое строение. Поэтому набор частот испускаемых квантов или длин волн излучаемого света у всех атомов этого элемента так же одинаков.

У каждого химического элемента свой заряд атомного ядра и свое особое строение электронной оболочки. Возбужденные атомы каждого химического элемента испускают световые кванты таких частот, какие не испускают атомы ни одного другого химического элемента. Состав излучения по длинам волн можно определить, пропустив узкий пучок света через стеклянную призму. Получающийся при разложении линейчатый спектр служит точным «паспортом», по которому можно узнать химический элемент.

Прибор для разложения сложного света и наблюдения за спектрами называется спектроскопом. Школьный спектроскоп (рис. 82) состоит из двух труб — зрительной 2 и коллиматорной 4 с объективами 3, между которыми размещена стеклянная призма. На одном конце коллиматорной трубы имеется щель 5 для выделения узкого пучка света, на другом конце — линза для превращения расходящегося пучка света в параллельный пучок, который падает на грань стеклянной призмы (рис. 83). В призме этот пучок отклоняется к ее основанию

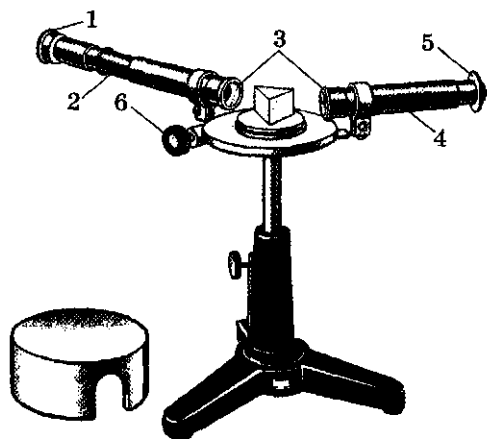


Рис. 82

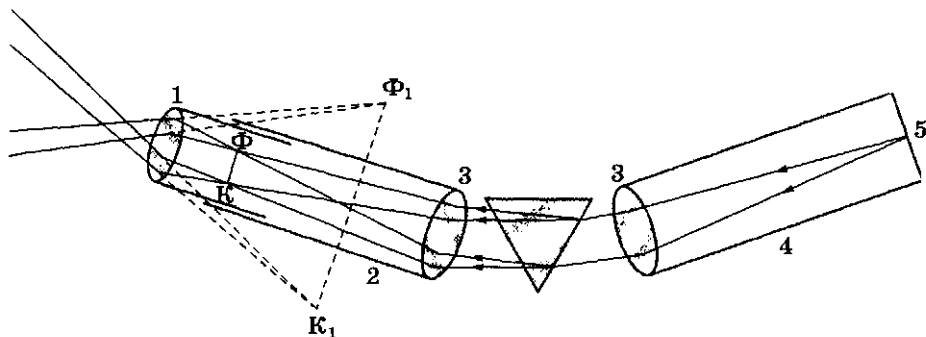


Рис. 83

и разлагается на составные цветные пучки, так как разным частотам соответствуют различные показатели преломления. По выходе из призмы эти пучки еще раз отклоняются к основанию призмы и направляются в объектив *З* зрительной трубы.

Пройдя объектив, каждый пучок одноцветных лучей образует в фокальной плоскости объектива действительное цветное изображение щели коллиматора. Из множества таких изображений получается спектр, красная область которого обращена в сторону вершины призмы, а фиолетовая — в сторону ее основания.

Для фиксации зрительной трубы на определенной линии спектра служит тонкая вертикальная нить, натянутая внутри трубы, в той же плоскости, в которой образуется спектр.

При рассматривании действительного изображения спектра (и нити) через окуляр *1*, как через лупу, видна только часть спектра. Для наблюдения за отдельными участками спектра зрительную трубу поворачивают. Для этого служит микрометрический винт *б*, устроенный подобно микрометру.

Чтобы определить по расположению линий в спектре наличие в источнике излучения тех или иных химических элементов, спектроскоп градуируют.

Градуировку производят, наблюдая за уже известным спектром какого-либо светящегося газа. Длину волны, соответствующую каждой из наблюдаемых линий, можно взять из справочника. Затем совмещают нить зрительной трубы с каждой из спектральных линий, снимают показания с микрометрического устройства и строят график. На вертикальной оси откладывают известные длины волн, а на горизонтальной — соответствующие им показания микрометра, снятые во время опыта (рис. 84).

После градуировки, наблюдая за линейчатым спектром неизвестного вещества и нанеся на график (см. рис. 84) показания микрометра, для каждой новой спектральной линии по графику определяют длину волны, а затем по справочнику узнают, спектру какого элемента принадлежат эти линии.

Цель работы: сверить соответствие показаний микрометрического винта спектральным линиям гелия (см. рис. 84); по градуировочной кривой определить длины волн спектральных линий неизвестного газа (трубка с водородом) и установить, какому химическому элементу принадлежит этот спектр.

Приборы и материалы: школьный спектроскоп двухтрубный, набор спектральных трубок, прибор для зажигания спектральных трубок, источник электропитания.

Указания к работе

1. В держатель прибора для зажигания спектральных трубок (см. рис. 16) вставьте трубку с гелием и присоедините прибор к источнику

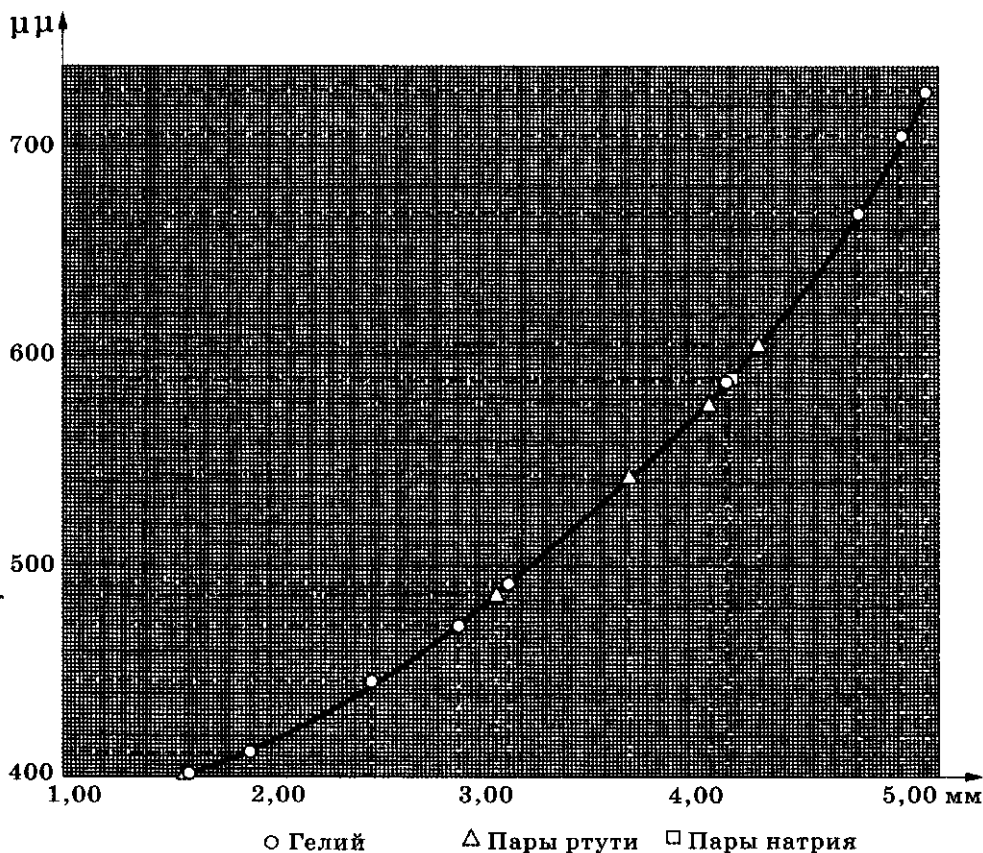


Рис. 84

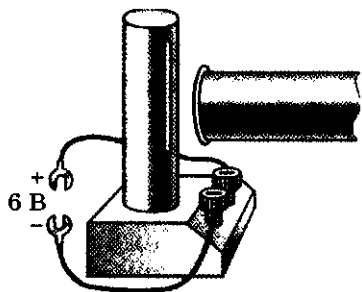


Рис. 85

электропитания (см. рис. 17). Щель коллиматора (рис. 85) спектроскопа вплотную подведите к спектральной трубке и включите источник питания.

2. Ведите наблюдение через окуляр зрительной трубы спектроскопа. Вращайте микрометрический винт так, чтобы последовательно увидеть все спектральные линии гелия. При этом каждый раз совмещайте изображение вертикальной нити со спектральной линией и соотносите ее цвет с показаниями микрометрического винта, т. е. идентифицируйте график.

Примечание. Микрометрический винт имеет шаг 1 мм, а головка его разделена на 50 равных частей. Это значит, что цена деления шкалы на

головке равна 0,02 мм. Отсчет целых миллиметров производят по неподвижной шкале на цилиндре, а сотых долей — по шкале на головке винта.

3. В приборе для зажигания спектральных трубок замените трубку с гелием на трубку с водородом. С помощью спектроскопа идентифицируйте спектральные линии и их расположение с помощью микрометрического винта. По графику (см. рис. 84) установите длины волн спектральных линий, а затем с помощью специальных спектральных таблиц (табл. 14) определите химический элемент, которому принадлежат спектральные линии.

4. Результаты опытов и их объяснение на основе теории учебника оформите в виде письменного отчета.

Таблица 14

Цвет линий	Показания микрометра, мм	Длина волны (по справочнику), нм
Красный		728
Красный		668
Желтый		588
Зеленый		502
Зеленый		492
Голубой		471
Синий		447

Лабораторная работа 16

НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ЛИНЕЙЧАТЫМ СПЕКТРОМ ИСПУСКАНИЯ И ПОГЛОЩЕНИЯ

Теоретический материал. Еще до открытия строения атома по Резерфорду физиками были установлены следующие спектральные закономерности:

1. Атомы данного химического элемента излучают волны строго определенного набора частот. Вследствие этого линейчатый спектр излучения у каждого химического элемента свой, не совпадающий со спектром ни одного другого химического элемента.

2. Атомы данного химического элемента поглощают волны тех частот, которые они сами могут излучать. Вот почему темные линии в спектре поглощения этого химического элемента оказываются расположенными в тех же местах спектра, что и линии в спектре его излучения.

Эти экспериментальные закономерности с открытием строения атома объясняет второй постулат Бора: при переходе атома из одного стационарного состояния с энергией E_n в другое состояние с энергией E_m излучается

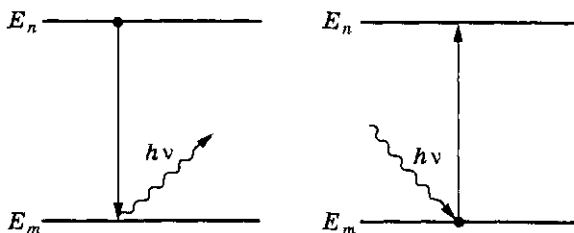


Рис. 86

или поглощается квант света, частота которого определяется уравнением $h\nu = E_n - E_m$, где $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж \cdot с (постоянная Планка).

Каждое значение энергии, которой обладает атом в том или ином стационарном состоянии, называется энергетическим уровнем.

Энергетические уровни атома принято изображать горизонтальными линиями (рис. 86), а переходы атома из одного стационарного состояния в другое — стрелками.

Все стационарные состояния, кроме одного, являются стационарными лишь условно. Бесконечно долго каждый атом может находиться лишь в стационарном состоянии с минимальной энергией E_1 . Это состояние называется *основным* или *нормальным состоянием*. Все остальные стационарные состояния атома с энергиями E_2, E_3, \dots, E_n называются возбужденными состояниями. В нормальном состоянии энергия атома минимальна.

Когда атом переходит с более высокого энергетического уровня на более низкий, то происходит излучение кванта света. А при поглощении падающий на атом квант переводит атом в состояние с большей энергией. Сам фотон при этом исчезает, а поглотивший его электрон оказывается на более дальней от ядра орбите, и атом находится в возбужденном состоянии. Период возбуждения атома 10^{-8} с, а затем он переходит в стационарное состояние (сразу или поэтапно, уровень за уровнем), излучая при этом кванты света. Набор квантов разных частот образует линейчатый спектр излучения. Обратные же переходы дают линейчатый спектр поглощения. Поскольку в каждом атоме прямые и обратные переходы электрона совершаются между одними и теми же энергетическими уровнями, то спектры испускания и спектры поглощения по расположению линий совпадают. Такое совпадение показано на цветных вклейках «Спектры излучения и спектры поглощения» в учебниках.

Цель работы: наблюдать линейчатые спектры испускания и поглощения.

Приборы и материалы: спектроскоп прямого зрения, набор спектральных трубок, прибор для зажигания спектральных трубок, стеклянная пластинка со скошенными гранями, источник электропитания, лампы (см. рис. 10—13), дифракционная решетка.

Указания к работе (1-й вариант)

1. Наблюдение проведите с помощью спектроскопа прямого зрения (рис. 87), состоящего из металлической трубки 1, в которой помещены сложная призма 2 и собирающая линза 3, закрепленная в подвижном

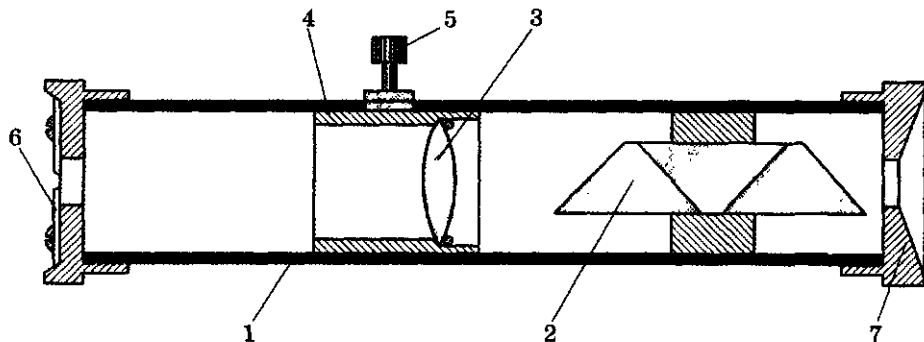


Рис. 87

держателе 4 с винтом 5, коллиматорной щели 6, крышки 7 с окулярным отверстием.

2. Закрепите спектроскоп в лапке штатива так, чтобы коллиматорная щель была расположена вертикально. Перед щелью на расстоянии нескольких сантиметров установите электрическую лампу (см. рис. 10), подключенную к источнику питания с регулируемым напряжением.

3. Зажгите лампу и при ее полном накале наблюдайте сплошной спектр излучения спирали лампы. Уменьшите накал спирали, наблюдайте уменьшение яркости спектра и постепенное исчезновение его спектральных цветов, начиная с фиолетового.

4. В прибор для зажигания спектральных трубок поочередно вставляйте разные трубки и с помощью спектроскопа (см. рис. 85) рассмотрите линейчатые спектры излучения водорода, гелия, неона. Сравните полученные спектры излучения со спектрами излучения соответствующих газов, изображенными на цветной вклейке учебника.

Указания к работе (2-й вариант — при отсутствии спектроскопа)

1. Расположите горизонтально стеклянную плоскопараллельную пластинку со скошенными гранями и смотрите через боковую грань (призму) на средний узкий канал светящейся спектральной трубки.

2. Для каждой спектральной трубки наблюдайте ряд отдельных узких полос, расположенных на некоторых расстояниях одна от другой и окрашенных в различные цвета.

3. Запишите цвет и очередность линий спектра для каждого газа, сравните записи со спектрами излучения соответствующих газов, изображенными на цветной вклейке учебника.

4. Поместите между стеклянной пластинкой и глазом светофильтр от осветителя (см. рис. 59) и наблюдайте исчезновение тех линий в спектре, в цвет которых окрашен светофильтр.

Примечание. При отсутствии спектроскопа и стеклянной плоскопараллельной пластинки для наблюдения за спектрами можно воспользоваться дифракционной решеткой.

5. Результаты опытов и их объяснение на основе теории учебника оформите в виде письменного отчета.

СБОРКА И ИСПЫТАНИЕ ФОТОРЕЛЕ

Теоретический материал. Фотореле может быть контактным и бесконтактным. В контактном реле в качестве исполнительного устройства используют электромагнитное реле, а в бесконтактном — лампочки накаливания или светодиоды. Датчиком в фотореле может быть фоторезистор или фотодиод.

Полупроводниковый прибор, с помощью которого наблюдается эффект изменения электрического сопротивления под действием света в результате внутреннего фотоэффекта, называют фоторезистором. При включении фоторезистора последовательно с источником тока и электромагнитным реле изменение освещения фоторезистора может приводить к включению или выключению контактов реле, а следовательно, и включенной последовательно с ними нагрузки. Схема такого реле показана на рисунке 88. В ней используется поляризованное реле, внешний вид которого изображен на рисунке 89. Это чувствительное реле получило название поляризованного потому, что направление отклонения его якоря зависит от направления тока в обмотке. Внутреннее устройство поляризованного реле показано на рисунке 90. Плоские латунные выводы поляризованного реле имеют следующие обозначения контактов: якорь — *Я*, левый контакт — *Л*, правый контакт — *П*. Рядом с другими выводами, соединенными с обмотками реле (их может быть несколько), проставлены цифры, обозначающие начала и концы обмоток.

Конструктивной особенностью поляризованного реле (см. рис. 90) является также использование разъемного соединения *1*. Для увеличения чувствительности обмотки 2 реле соединяют последовательно. Если обмотки соединены неправильно, то чувствительность реле не увеличивается, а уменьшается. Правильное соединение обмоток определяют экспериментально.

Последовательное соединение фоторезистора (рис. 91), поляризованного реле (см. рис. 89), источника тока (см. рис. 25) по схеме (см. рис. 88) позволяет получить экспериментальную установку действующего фотореле.

При отсутствии поляризованного реле можно воспользоваться менее чувствительным, но широко применяемым герконовым реле (рис. 92). Геркон состоит из контактов, заключенных в стеклянный баллон с откачан-

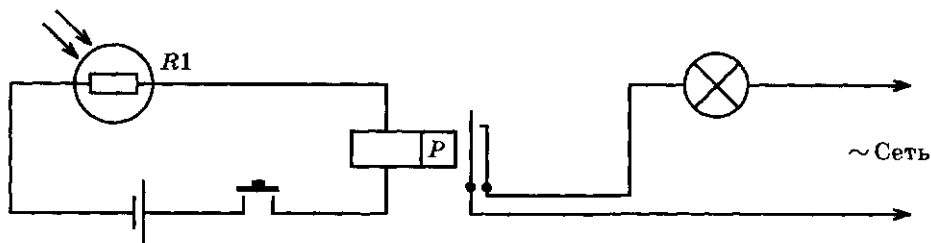


Рис. 88

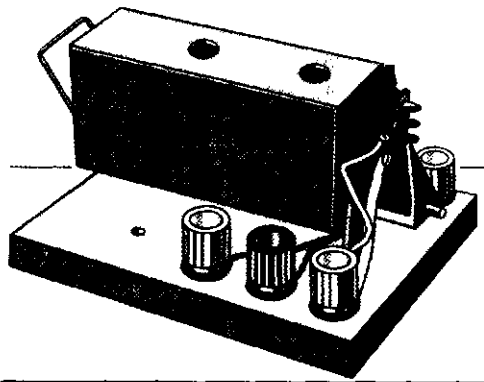


Рис. 89

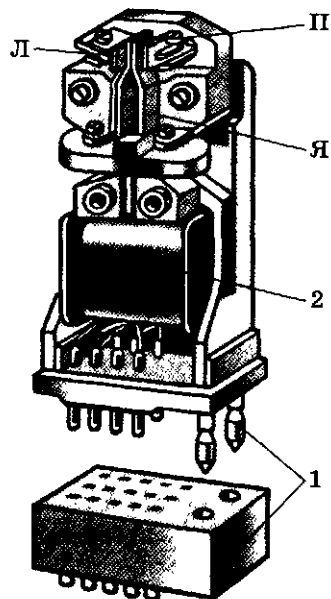


Рис. 90

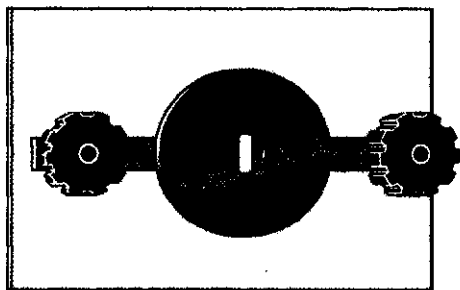


Рис. 91

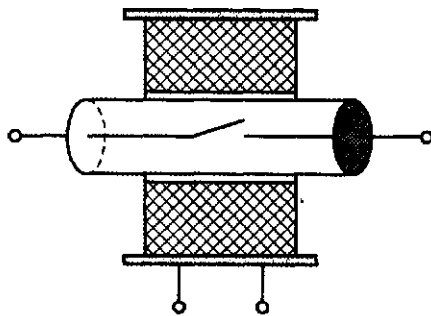


Рис. 92

ным воздухом или заполненным инертным газом. Он находится в поле катушки электромагнита. В отличие от электромагнитного реле в герконовом реле между электромагнитом и контактами нет не только электрической, но и механической связи. Эта связь осуществляется магнитным полем.

Введение герконового реле в конструкцию фотореле требует усиления электрического сигнала датчика, которое осуществляется с помощью транзистора. Схема такого фотореле показана на рисунке 93. При освещении фоторезистора реле срабатывает и включает лампочку. Для того чтобы реле срабатывало на затемнение фоторезистора, необходимо поменять местами резисторы $R1$ и $R2$.

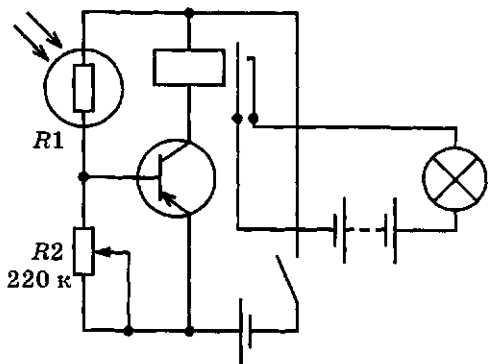


Рис. 93

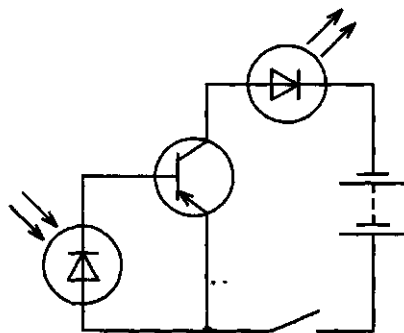


Рис. 94

Цель работы: собрать и настроить несколько схем фотореле, понять функцию и работу каждого компонента.

Приборы и материалы: поляризованное или герконовое реле, фоторезистор на панели, транзистор на панели, лампочка накаливания, ключ, фотодиод, провода соединительные.

Указания к работе

1. С помощью омметра мультиметра (см. рис. 41 и 42) измерьте сопротивление обмотки электромагнитного реле и фоторезистора в затемненном и освещенном состоянии.

2. Подключите к источнику постоянного тока последовательную цепь, состоящую из фоторезистора (см. рис. 91) и электромагнитного реле (см. рис. 89). Плавно увеличивая напряжение на выходе источника, добейтесь срабатывания реле при освещенном фоторезисторе. Индикатором срабатывания может служить омметр мультиметра, подключенный к нормально замкнутым или нормально разомкнутым контактам.

3. Соберите электрическую цепь фотореле по схеме (см. рис. 93) и проверьте его работоспособность для следующих случаев: а) при освещении фоторезистора электрическая лампа в исполнительной цепи должна гаснуть, а при отсутствии освещения — загораться; б) при освещении фоторезистора электрическая лампа в исполнительной цепи должна загораться, а при отсутствии освещения — гаснуть.

4. Соберите электрическую цепь бесконтактного фотореле (рис. 94), где в качестве датчика освещенности используют фотодиод, а в качестве исполнительного устройства — лампочку накаливания или светодиод. После подачи напряжения питания на эту конструкцию проведите исследование ее работы.

Примечание. При сборке схем фотореле можно использовать как устаревшие типа ПМ41, так и современные типа КТ361 транзисторы.

5. Результаты опытов и их объяснение на основе теории учебника оформите в виде письменного отчета.

Глава III

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ФИЗИКЕ АТОМНОГО ЯДРА

§ 1. ДОЗИМЕТРИЯ

Дозиметрия — отрасль ядерной физики, занимающаяся измерением ионизирующих излучений, а также теоретическим исследованием радиационных эффектов, вызванных этими излучениями. В компетенцию этой отрасли входят и радиационные нормы.

В СССР были приняты две радиационные нормы: одна из них (60 мкбэр/ч) названа допустимым уровнем, другая (120 мкбэр/ч) — уровнем реагирования. Бэр — биологический эквивалент рентгена.

Излучение до 60 мкбэр/ч, т. е. превышающее естественный фон не более чем в 4—5 раз, было признано считать допустимым и не наносящим вреда организму человека. Признано потому, что естественный фон гамма-излучения на территории Российской Федерации изменяется в широких пределах: от 5 до 60 мкР/ч. Если же интенсивность ионизирующего излучения достигает 120 мкбэр/ч, то в таких случаях рекомендуется обращаться к специалистам санэпидемстанции или Центра ИДК (Центра индивидуального дозиметрического контроля) Министерства здравоохранения РФ для принятия тех или иных мер.

В этих нормах нашла свое отражение так называемая пороговая концепция ионизирующего излучения на биологические объекты, принятая Национальной комиссией по радиационной защите (НКРЗ) в апреле 1989 г. Концепция предполагает, что воздействие некоторого не слишком большого ионизирующего излучения может быть компенсировано защитными ресурсами организма.

Возникает вопрос: является ли опасным воздействие ионизирующей радиации на живой организм? Воздействие ядерных излучений на живой организм вызывает ионизацию атомов и молекул в клетках. Живые организмы, в том числе и человек, появились на Земле в результате эволюции живой природы. Но на Земле всегда существовали естественные радиоактивные изотопы, следовательно, всегда был и остается естественный фон радиации. Живые организмы постоянно подвергались и подвергаются радиоактивному облучению. Следствием таких процессов может быть нарушение функции клетки, в том числе и функции ее деления. А это может вызвать мутацию генов с соответствующими последствиями. Значит, естественная радиация способствует естественному отбору. Все зависит от дозы облучения.

Поглощенная доза излучения — это отношение энергии (E), переданной ионизирующим излучением веществу, к массе (m) вещества: $D = E/m$. Она выражается в *греях*: 1 Гр = 1 Дж/кг (СИ).

В случае наличия лишь природного фона радиации поглощенная доза за один год составляет примерно 2 мГр (миллигрей). Практика показала, что при однократном кратковременном облучении всего тела, когда поглощенная доза равна 1 Гр, в большинстве случаев не возникает серьезных отклонений в состоянии здоровья человека. Эта доза и есть тот порог, выше которого проявляются эффекты радиоактивного облучения:

— при дозах 1—2,5 Гр организм человека становится перед выбором: «заболеть — не заболеть»;

— при дозах 2,5—6 Гр: «выздороветь — умереть»;

— при дозе 3 Гр достигается предел индивидуальных отличий людей и шанс «заболеть» одинаков для всех облученных.

Необходимо заметить, что доза 1 Гр от альфа-излучения оказывает на организм такое же действие, как доза 20 Гр рентгеновского или гамма-излучения. Неодинаковость биологического действия разных видов излучений характеризуется *коэффициентом относительной биологической эффективности* (ОБЭ).

Биологическое действие поглощенной дозы характеризуется *эквивалентной дозой* (ДЭ), которая в СИ выражается в *зивертах* (Зв): 1 Зв = 1 Гр.

В литературных источниках можно получить информацию о поглощенной дозе в разных единицах измерения. Например:

— острое поражение: 0,5—1,0 Зв (50—100 бэр), ведет к нарушениям в кроветворной системе;

— лучевая болезнь: 3—5 Зв (300—500 бэр), вызывает поражение костного мозга;

— смертельное поражение: 10—50 Зв (1000—5000 бэр), вызывает кровоизлияния и гибель человека через один-два месяца.

Наиболее чувствительны к радиации репродуктивные органы и глаза. Например, облучение семенников дозой 0,1 Зв ведет к временной стерильности, а дозой 2 Зв — к постоянной стерильности. Доза 0,3—2 Зв вызывает помутнение хрусталика глаза.

Опасность радиоактивных облучений в том, что они не фиксируются органами чувств человека, не вызывают болевых ощущений даже при смертельных дозах.

§ 2. ИСТОЧНИКИ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Для проведения лабораторных работ ранее предназначались радиоактивные препараты от спинтарископа и камеры Вильсона. При отсутствии возможности обновления^{*} этих препаратов и исчерпания ресурсов имею-

щихся встала проблема поиска подобного рода препаратов. В настоящем руководстве приведены методические рекомендации по использованию в лабораторных работах естественных источников радиоактивных излучений. Они дают фоновую активность, и ее можно измерить дозиметром, лежащим на столе.

Различают два источника радиоактивных излучений: естественные и техногенные (например, взрыв реактора Чернобыльской АЭС).

В естественном радиоактивном фоне выделяют два компонента: космическое излучение и излучение изотопов, находящихся в земной коре.

Космическое излучение на уровне моря принято разделять на мягкую и жесткую компоненты в зависимости от степени их поглощения в свинце. Часть космического излучения, полностью поглощаемая слоем свинца толщиной 10 см, называют мягкой компонентой, а часть, проходящую этот слой, — жесткой. На уровне моря интенсивность мягкой компоненты составляет около 1/3 полной интенсивности космического излучения.

Доказано, что разделение космического излучения на компоненты обусловлено физическими причинами, а именно проникающая способность компонент излучения определяется природой входящих в их состав частиц. Мягкая компонента в основном состоит из электронов, позитронов и электромагнитных квантов, а жесткая практически представлена релятивистскими μ -мезонами.

Излучение радиоактивных изотопов, находящихся в земной коре, — это излучение естественных радиоактивных аэрозолей солей урана и тория с большим периодом полураспада. В ряду превращений уранового семейства (см. рис. 9) возникает радиоактивный газ радон, а ториевого — торон. Эти радиоактивные газы частично поступают в приземные слои атмосферы, присоединяются к частицам пыли и образуют естественный радиоактивный аэрозоль.

Любой живой организм ежедневно и ежечасно подвергается не только внешнему, но и внутреннему облучению через воздух и пищу. С водой и воздухом, продуктами питания в организм попадают различные химические элементы (углерод, калий, уран, торий, радий, радон и др.), обладающие естественной радиоактивностью.

С учетом всех факторов среднее значение дозы облучения человека за счет естественной радиоактивности составляет примерно 2 МэВ за один год или $2 \cdot 10^{-3}$ Зв/год = $2 \cdot 10^{-7}$ Зв/ч = 20 мкР/ч (Зв/ч — зиверт в час; мкР/ч — микрорентген в час).

В естественных условиях до 70% облучения природными источниками радиации человек получает от радона, находящегося в воздухе, 4% — от строительных материалов и 3% — от воды, которые также выделяют радон. Газ радон поступает из почвы и скапливается в подвалах и нежилых помещениях. Любое проветривание резко понижает концентрацию этого газа в воздухе.

Значительное влияние на естественный фон радиоактивности оказывают техногенные катастрофы. За годы, прошедшие после трагедии на Чернобыльской электростанции, многое изменилось. Приборы, фиксировавшие тогда (1986 г.) излучение, многократно превышающее естественный радиационный фон, сегодня выдают почти нормальные показатели. Но так ли это? Ведь за все эти годы активность стронция-90 и цезия-137 (двух из знаменитой тройки чернобыльских изотопов) уменьшилась лишь на четверть, а снижения активности третьего изотопа — плутония-239 мы не увидим никогда, так как его период полураспада превышает 24 000 лет.

Причина нынешнего видимого благополучия проста. Дожди, грунтовые воды, ветры, пожары, различные биологические процессы, эрозия почвы сильно снизили концентрацию радиоизотопов пораженных территорий. Разнесенные по большим площадям, они стали малозаметными на фоне естественной радиации Земли и космоса.

Как источники внешнего облучения они уже не представляют для человека прежней опасности. Но, попадая в его организм по пищевому тракту и дыхательным путям, т. е. предельно сближаясь с жизненно важными тканями, радиоизотопы способны на них оставить такой след, который не мог бы возникнуть даже при самом сильном внешнем облучении. Поэтому проверке на загрязненность воздуха и пищи следует уделять особое внимание.

§ 3. ДОЗИМЕТРЫ

Для оценки на радиоактивность участка местности, строительных материалов, продуктов питания или окружающих предметов люди пользуются дозиметрами.

В 1989 г. Национальная комиссия по радиационной защите при Минздраве СССР приняла «Концепцию системы радиационного контроля, осуществляемого населением (СРКН)», которая позволяет проводить:

- измерение индивидуальных доз внешнего гамма-излучения;
- оценивание мощности дозы внешнего гамма-излучения;
- контролирование радиационного загрязнения продуктов питания и кормов по внешнему гамма-излучению.

В соответствии с этой концепцией в стране были разработаны и освоены промышленностью бытовые дозиметры, которые в связи со значительной погрешностью измерения (до 30%) не могут использоваться для официальных заключений о радиационной обстановке, но вполне могут служить сигналом для обращения в органы Госсанэпиднадзора.

На рынке товаров имеются дозиметры разных марок, основные характеристики которых приведены в таблице 15.

Тип дозиметра	Страна-производитель	Диапазон измерений	
		мощности эквивалентной дозы, мкЗв/ч	энергии гамма-излучения, МэВ
«Сосна» (Анри-0,1)	Белоруссия	0,1—100	0,06—1,25
РКСБ-104	—	0,1—100	0,06—1,25
«Белла»	Россия	0,2—100	0,05—1,25
«Квартекс»	—	0,1—100	0,05—1,25
«Синтекс-М»	Украина	0,2—100	0,05—1,25

Во всех этих приборах регистрация ионизирующих излучений производится счетной трубкой Гейгера. Она представляет собой тонкостенный металлический баллон (может быть стеклянный баллон, в котором имеется изготовленный в форме цилиндра металлический электрод — катод), по оси которого натянута тонкая металлическая нить. Металлический корпус является катодом, а тонкая нить — анодом. Баллон заполнен инертным газом аргоном с примесью паров этилового спирта, т. е. рабочим веществом, к которому подано электрическое напряжение. Из-за наличия резкой асимметрии электродов электрическое поле велико в небольшой области вокруг анодной нити и мало в остальном внутреннем пространстве газоразрядной трубки. Если заряженная частица пролетает через газовое пространство счетчика, то вдоль своей траектории она производит первичную ионизацию газа. Образованные при этом электроны и положительные ионы разгоняются электрическим полем и начинают двигаться к соответствующим электродам. Электроны попадают в область все более сильного поля, а у самой нити резко ускоряются. В результате возникает вторичная ударная ионизация. Поле в области анода столь велико, что выбитые электроны успевают разогнаться и, в свою очередь, произвести новую, вторичную ионизацию и т. д. Этот процесс носит лавинный характер. Ток в газе резко возрастает и, проходя через высокоомный резистор R (рис. 95), включенный в цепь электропитания трубки, создает на нем импульс напряжения. Этот импульс через разделительный конденсатор C поступает на вход усилителя низкой частоты (УНЧ). После усиления импульс воспроизводится громкоговорителем резким щелчком или сменой цифр на дисплее дозиметра.

В результате специального подбора состава газа возникший само-

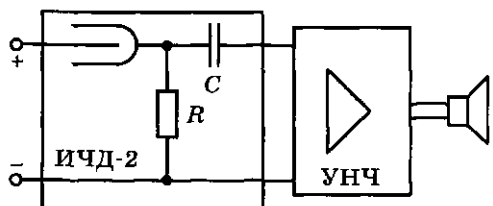


Рис. 95



Рис. 96

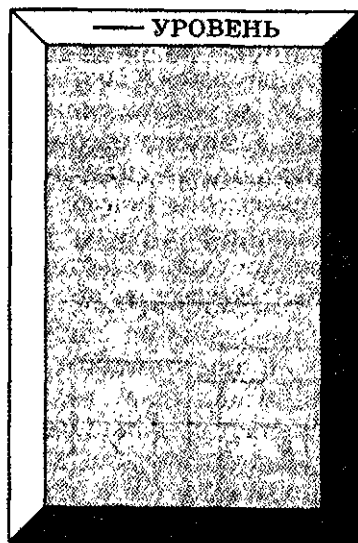


Рис. 97

стоятельный разряд гасится. Образовавшиеся ионы в течение очень короткого времени (порядка 10^{-3} — 10^{-4} с) нейтрализуются на электродах, и индикатор оказывается готовым к регистрации новой частицы.

Из таблицы 15 видно, что все дозиметры имеют примерно одинаковые возможности измерения. Все они снабжены жидкокристаллическим дисплеем для считывания цифровой информации.

Дозиметр «Сосна» (рис. 96) наиболее адаптирован для учебных целей. С помощью этого прибора автор проверял все ниже предлагаемые лабораторные работы.

Этот прибор имеет четыре режима работы.

1. Режим «Поиск» (переключатель режима работы (см. рис. 96) в положении «Т»). В этом режиме прибор оценивает радиационную обстановку по частоте следования звуковых сигналов, которые звучат через каждые десять импульсов в счетчике Гейгера.

2. Режим измерения мощности экспозиционной дозы (переключатель режима работы в положении «МД»). В этом режиме прибор ведет счет импульсов в течение 20 с, которые определяются внутренним таймером. После этого на дисплее прибора появляется число, соответствующее мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в микрорентгенах в час (мкР/ч).

3. Режим измерения плотности потока бета-излучения с загрязненных поверхностей устанавливаются так же, как в предыдущем случае. При этом проводят два измерения исследуемой поверхности с закрытой и открытой задней крышкой прибора. В обоих случаях время измерения задается внутренним таймером.

4. Режим оценки объемной активности радионуклидов в пробах требует проведения двух измерений. Оба измерения проводят с открытой задней крышкой, а прибор устанавливают на кювету (рис. 97). Первое из-

мерение проводят с кюветой (ею снабжен прибор), заполненной чистой питьевой водой. Второе измерение проводят с кюветой, заполненной исследуемым веществом. Время измерения должно быть одинаковым в обоих случаях, оно контролируется по часам.

Дозиметр РКСБ-104. На лицевой панели этого прибора (рис. 98) размещены жидкокристаллический дисплей и тумблеры $S1$, $S2$, $S3$.

Включают тумблер $S1$, а тумблеры $S2$, $S3$ переводят вниз. Прибор начинает регистрировать внешний радиационный фон.

Этот процесс длится время, равное 28 с, поскольку такой промежуток определяется внутренним таймером. Затем в течение времени 14 с в соответствии с программой прибора следует прерывистый звуковой сигнал. Далее осуществляется автоматический сброс показаний и очередной счет ионизирующих частиц.

Для получения результата измерения необходимой физической величины показания прибора умножают на пересчетный коэффициент, который указан для измеряемых физических величин и поддиапазонов измерений на лицевой панели прибора (справа от тумблера $S3$).

Результат получают в единицах, которые помечены под дисплеем прибора маркировочными обозначениями: H — мощность эквивалентной дозы; ϕ — плотность потока; A_m — удельная активность. Эти обозначения даны в разноцветных прямоугольниках.

Перед эксплуатацией прибора необходимо установить режим его работы с помощью кодового переключателя $S4$, установленного под съемной задней крышкой (рис. 99).

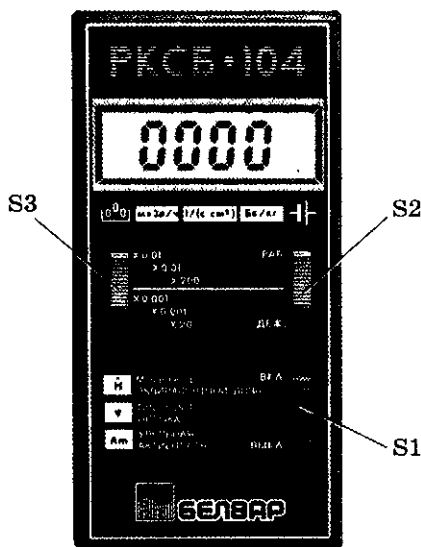


Рис. 98

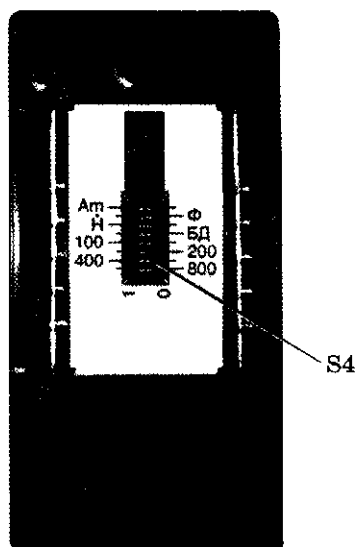
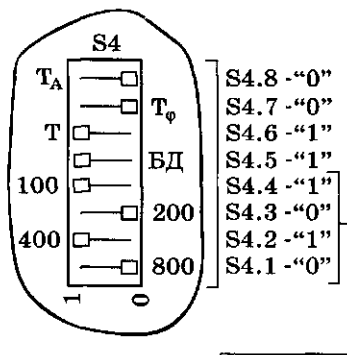


Рис. 99



Положения движков S4.1—S4.4 могут быть произвольными

Рис. 100

Измерение мощности полевой эквивалентной дозы γ -излучения. Сначала снимают заднюю крышку-фильтр, затем движки кодового переключателя устанавливают так, как показано на рисунке 100. Положения же переключателей на передней панели изображены на рисунке 101. После включения переключателя S7 через какой-то промежуток времени, установленный внутренним таймером прибора, на дисплее появляется число — показание прибора в микрорентгенах в час (мкР/ч). Для определения мощности полевой эквивалентной дозы γ -излучения это число умножают

на пересчетный коэффициент, равный 0,01, и получают результат в микрозивертах в час (мкЗв/ч). Эта операция показана на рисунке 101 в верхней части.

Если интенсивность γ -излучения высокая, то переключатель S3 переводят в нижнее положение. При этом время счета частиц увеличивается до 280 с. Рисунок 102 иллюстрирует это измерение.

Измерение β -излучения с поверхности, загрязненной радионуклидами. Данное измерение производят при установке кодового переключателя S4 в положение, показанное на рисунке 103. Сначала прибор размещают на расстоянии 110—120 см от исследуемой поверхности (рис. 104), а затем при закрытой задней крышке на расстоянии 1 см от поверхности (рис. 105). Потом по результатам измерений, приве-

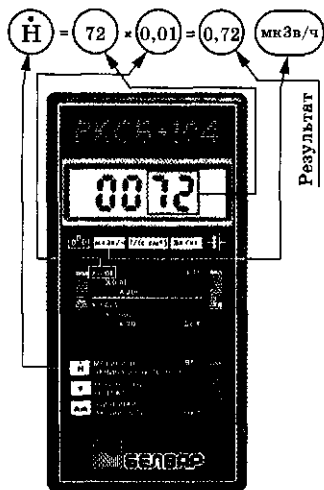


Рис. 101

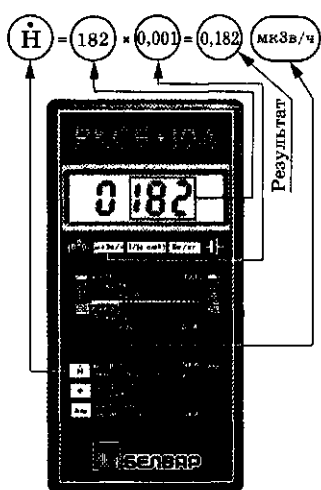


Рис. 102

денным на рисунках 104 и 105, определяют загрязненность поверхности β -излучающими радионуклидами:

$$\varphi = K_1 (\varphi_k - \varphi_\phi),$$

где φ — плотность потока частиц; K_1 — коэффициент, равный 0,01; φ_k — показание прибора со снятой крышкой; φ_ϕ — показание прибора, соответствующее внешнему радиационному фону γ -излучения (задняя крышка закрыта).

Далее определяют плотность потока β -излучения с поверхности, выраженное в частицах за секунду с квадратного сантиметра:

$$\varphi = 0,01 \cdot (243 - 18) = 2,25 \text{ (1/с} \cdot \text{см}^2) = 2,25 \cdot 60 = 135 \text{ (}\beta\text{-частиц/мин} \cdot \text{см}^2\text{)}.$$

При высокой интенсивности излучения измерение производят при нижнем положении переключателя $S3$.

Измерение удельной активности радионуклида цезия-137. На рисунке 106 показаны положения движков кодового переключателя $S4$, при которых начинают измерение. Кювету (ею снабжен прибор) заполняют наполовину чистой (в радиационном отношении) водой. Включают прибор, переведя тумблер $S1$ в положение «Вкл.». После каждого срабатывания таймера и звукового сигнала записывают показания прибора (рис. 107). Они соответствуют естественному радиационному фону. Затем производят расчет среднего арифметического значения фоновых показаний по следующей формуле:

$$A_\phi = \frac{A_{\phi 1} + A_{\phi 2} + A_{\phi 3} + A_{\phi 4} + A_{\phi 5}}{5}.$$

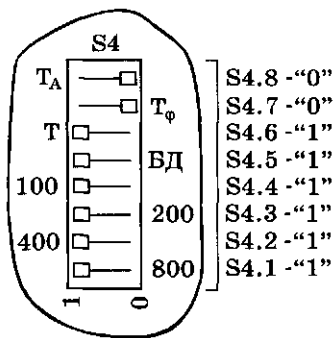


Рис. 103

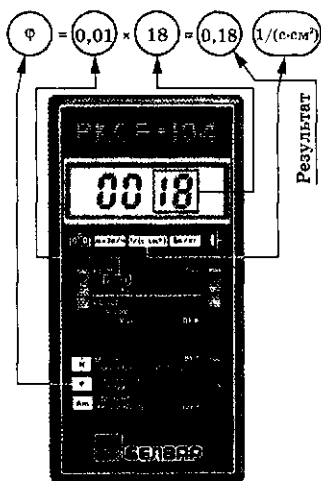


Рис. 104

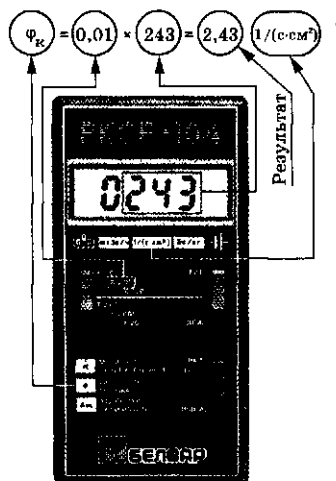
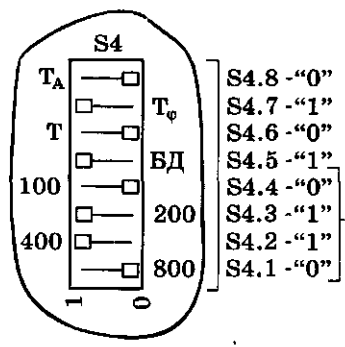


Рис. 105



Положения движков S4.1—S4.4 могут быть произвольными

Рис. 106



Рис. 107

Рис. 108

Далее сухую кювету заполняют исследуемым веществом до той же метки. Вновь устанавливают прибор на кювету, включают его и по сигналу таймера снимают пять показаний, которые показаны на рисунке 108. Находят их среднее арифметическое значение:

$$A_{\text{изм}} = \frac{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5}{5}$$

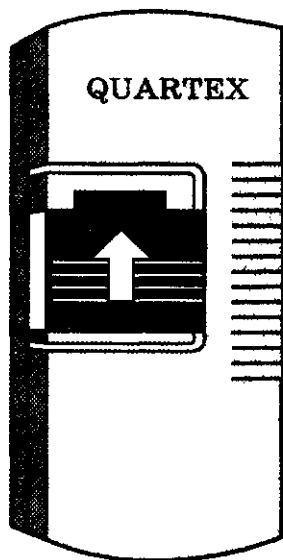


Рис. 109

Потом по формуле $A_{\text{изм}} = K_2 (A_{\text{изм}} - A_{\text{ф}})$, где $K_2 = 20$, рассчитывают удельную активность A_m радионуклида цезия-137 в веществе и выражают ее в беккерелях на килограмм (Бк/кг).

Дисплей дозиметра «Квартекс» (рис. 109) отображает несколько разрядов. В первом разряде появляются три светящихся тире при регистрации каждого зафиксированного кванта. В трех последующих разрядах — цифры, т. е. число зарегистрированных квантов за период, отмеренный внутренним таймером и равный 34 ± 4 с. Регистрация каждого кванта сопровождается звуковым и световым (в первом разряде дисплея) сигналами.

Окончание каждого промежутка времени, отмеренного внутренним таймером, сопровождается прерывистым двухтональным звуковым сигналом и числом, зафиксированным на дисплее. Это число — показания прибора в микро рентге-

нах в час (мкР/ч). После дискретного звукового сигнала следует непрерывный звуковой сигнал. Он сопровождается цифрами на дисплее, которые соответствуют усредненному значению излучения (мкР/ч) за предыдущие временные интервалы.

Дозиметр «Квартекс» регистрирует бета- и гамма-излучения с энергией 0,1—1,25 МэВ в диапазоне от 0 до 999 мкР/ч.

Лабораторная работа 18

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ЯДЕРНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Теоретический материал. Для постановки опытов по ядерной физике в школе имеется набор препаратов «Плутон». Набор содержит четыре препарата: $^{238}_{94}\text{Pu}$ — дает альфа-излучение, $^{90}_{38}\text{Sr}$ — испускает бета-лучи, $^{22}_{11}\text{Na}$ — дает бета-излучение, $^{60}_{27}\text{Co}$ — гамма-лучи.

При альфа-распаде из ядра вылетают α -частицы, которые обладают энергией 4—7 МэВ и при движении в любом веществе растрачивают свою энергию на ионизацию и возбуждение атомов среды.

При β -распаде в атомном ядре вещества один нейтрон превращается в протон 1_0n с испусканием электрона e^- и нейтрино ν : $^1_0n \rightarrow ^1_1p + e^- + \nu$. Электрон, вылетающий из ядра при таком превращении, называют β -частицей. Бета-частицы при движении в любом веществе ионизируют и возбуждают встречающиеся на их пути атомы.

Если сравнить пробег частиц при α - и β -распадах, то при α -распаде он практически одинаков для всех частиц, покидающих препарат, а при β -распаде различен и зависит от энергии β -частицы. Так, в воздухе электрон с энергией 0,1 МэВ пролетает 12 см, а электрон с энергией 10 МэВ имеет пробег 4200 см.

Для ориентировочного определения по трекам вида ионизирующей частицы необходимо знать, что при энергии 5 МэВ электрон в воздухе имеет пробег 2100 см, протон — 33 см, альфа-частица — 3,5 см.

Среди естественных радиоактивных веществ не встречаются такие, которые излучали бы только γ -лучи. Гамма-лучи обычно сопровождают α - и β -распады. На основании этого можно заключить, что γ -излучение является вторичным процессом. Опыты показали, что γ -лучи испускаются не самим радиоактивным веществом, а ядрами, образовавшимися в процессе распада. При γ -излучении заряд и масса ядра не изменяются, изменяется только энергия. Это значит, что образовавшееся после реакции ядро имеет избыточную энергию и находится в возбужденном состоянии. Переходя из возбужденного состояния в нормальное, ядро излучает энергию в виде γ -кванта.

Гамма-кванты при распространении в веществе ионизируют или возбуждают встречающиеся на их пути атомы и молекулы.

Способность α -, β - и γ -излучений ионизировать атомы вещества используется для регистрации этих частиц. Наиболее распространенным

прибором, способным регистрировать радиоактивные излучения, является счетчик Гейгера — основной элемент любого дозиметра.

Цель работы: с помощью дозиметра зарегистрировать радиоактивные излучения и исследовать проникающую способность препаратов из набора «Плутон».

Приборы и материалы: дозиметр, радиоактивные препараты из набора «Плутон», пластинки стеклянные.

Указания к работе

1. Переведите дозиметр в режим «Поиск».
2. Проведите дозиметром измерения радиоактивного излучения препаратов из набора «Плутон» вначале с открытой, а затем с закрытой задней крышкой дозиметра. В процессе проведения опытов препараты последовательно размещайте в кювете, на которую установлен дозиметр. По результатам измерений заполните таблицу 16.

Таблица 16

Показания дозиметра	Препарат и вид излучения			
	Pu, α -лучи	Sr, β -лучи	Na, β -лучи	Co, γ -лучи
с открытой крышкой				
с закрытой крышкой				

3. При отсутствии препаратов из набора «Плутон» те же опыты проведите с набором красок «Акрил» (флюоресцентный). Результаты опытов занесите в таблицу 17.

Таблица 17

Цвет краски	Показания дозиметра	
	с открытой крышкой	с закрытой крышкой
Лимонный		
Оранжевый		
Розовый		
Зеленый		
Голубой		
Красный		

4. Результаты опытов и их объяснение на основе теории учебника оформите в виде письменного отчета.

Лабораторная работа 19

ИЗУЧЕНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ БЕТА-ЧАСТИЦ

Теоретический материал. При естественных радиоактивных превращениях фиксируют три вида излучений: α -частицы, β -частицы и γ -лучи. Каждый вид излучения обладает различной способностью проникать через твердые тела. Альфа-частицы обладают очень малой проникающей способностью и счетчиком Гейгера практически не регистрируются. Различие в проникающей способности β -частиц и γ -лучей дает простой способ отделить один вид излучения от другого. Для этого достаточно радиоактивный препарат закрыть свинцовым экраном толщиной 1—2 мм. Экран задержит все β -частицы и пропустит только γ -лучи. У дозиметра «Сосна» экран — это открывающаяся задняя крышка.

Цель работы: исследовать степень поглощения β -частиц стеклом.

Приборы и материалы: дозиметр, радиоактивный препарат $^{90}_{38}\text{Sr}$ из набора «Плутон», набор стеклянных фотопластин или набор стекол из фронтального оборудования по оптике, штангенциркуль.

Указания к работе

1. В кювету, которой снабжен дозиметр, положите препарат $^{90}_{38}\text{Sr}$.
2. На препарат поставьте дозиметр «Сосна» с открытой задней крышкой. На дозиметре установите режим «Поиск», т. е. левый переключатель поставьте в положение «МД». Нажмите на кнопку «Пуск» и по истечении работы таймера снимите показания с дисплея прибора. Показания прибора занесите в таблицу 18.

Примечание. При отсутствии препаратов из набора «Плутон» в качестве радиоактивного препарата можно использовать пакетик с минеральным удобрением «Калий сернокислый» (продается в хозяйственных магазинах). Удобрение высыпают в кювету и разравнивают.

3. На кювету установите дозиметр и произведите измерения, увеличивая каждый раз число стеклянных пластин между кюветой и дозиметром.
4. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 18.

Таблица 18

№ п/п	Число стеклянных пластин	Толщина поглощающего слоя стекла, мм	Число импульсов		
			β -Частицы, γ -лучи и фон	γ -Лучи и фон	β -Частицы
1	0				
2	1				
3	2				
4	3				
5	4				
6	5				

5. По данным таблицы 18 постройте график поглощения β -частиц, откладывая на оси абсцисс значения толщины стекла в миллиметрах, а на оси ординат — число импульсов (β -частиц) за время, отмеренное таймером (примерно 20 с).

6. Результаты опытов и их объяснение на основе теории учебника оформите в виде письменного отчета.

Лабораторная работа 20

ИЗМЕРЕНИЕ ПЕРИОДА ПОЛУРАСПАДА КОРОТКОЖИВУЩИХ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ

Теоретический материал. Период полураспада короткоживущего радиоактивного изотопа определяют по кривой распада. Для ее построения радиоактивный препарат кладут в кювету, на которую ставят дозиметр. Через промежутки времени, отсчитываемые таймером прибора, записывают показания дозиметра. После убывания скорости счета более чем в два раза измерения прекращают и строят кривую распада.

Радиоактивные изотопы с коротким периодом полураспада, необходимые для опыта, содержатся в небольшом количестве в атмосферном воздухе.

В составе земной коры, в любой почве, содержится естественный радиоактивный элемент радий (около 10^{-12} г на 1 г почвы). Вот почему в каждом грамме почвы в среднем за время, равное 1 мин, происходит распад двух ядер радия с испусканием α -частиц: ${}_{88}^{226}\text{Ra} \rightarrow {}_{86}^{222}\text{Rn} + {}_2^4\alpha$, с образованием ${}_{86}^{222}\text{Rn}$ — радона (инертный газ). Он постоянно накапливается в почве и выходит в атмосферу. Ядра атомов радона в результате α -распада превращаются в ядра атомов полония ${}_{84}^{218}\text{Po}$ в процессе следующей реакции: ${}_{86}^{222}\text{Rn} \xrightarrow{\alpha} {}_{84}^{218}\text{Po} \xrightarrow{\alpha} {}_{82}^{214}\text{Pb} \xrightarrow{\beta} {}_{83}^{214}\text{Bi}$.

В результате распада число радиоактивных ядер убывает со временем по закону $N_t = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$, где N_0 — число радиоактивных ядер в момент начала измерения ($t = 0$); N_t — число радиоактивных ядер, не испытавших распада к моменту времени t ; T — период полураспада.

Эти радиоактивные изотопы имеют небольшой период полураспада. Для определения периода полураспада изготавливают фильтр (тонкий слой ваты, завернутый в марлю), размеры которого должны соответствовать размерам кюветы дозиметра.

Цель работы: измерить период полураспада короткоживущих радиоактивных изотопов.

Приборы и материалы: дозиметр, фильтр, фен.

Указания к работе

1. На дозиметре переключатель установите в положение «Т», нажмите на кнопку «Пуск». Через время 10 мин нажмите на кнопку «Стоп».

Снимите показания N_ϕ (число импульсов фона) с дисплея и определите фон установки $A_\phi = \frac{N_\phi}{t}$.

2. На входном отверстии фена с выключенным подогревателем установите самодельный фильтр и закрепите его резиновым колечком. Включите фен и продувайте воздух в течение 5 мин.

3. Снимите с фена фильтр, поместите его в кювету. Поставьте на кювету дозиметр с открытой задней крышкой и фиксируйте показания прибора через каждые 3 мин. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 19.

Таблица 19

Время t , мин	0	3	6	9	12	15
Число импульсов N_i						
Скорость счета $A_i = \frac{N_i}{3}$						

4. Результаты опытов и их объяснение на основе теории учебника оформите в виде письменного отчета.

Лабораторная работа 21

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОАКТИВНОСТИ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИИ

Теоретический материал. Основным источником естественной радиоактивности атмосферы является радиоактивный инертный газ радон, возникающий в результате α -распада радия. Наряду с радоном в атмосфере содержится радиоактивный газ торон (продукт α -распада тория), а также продукты их распада.

Продукты распада урана и тория не являются стабильными изотопами. Они, в свою очередь, испытывают радиоактивный распад. На рисунке 9 приведена цепь радиоактивных превращений урана. Вся совокупность радиоактивных изотопов, возникающих в результате радиоактивных превращений урана, называется **радиоактивным семейством урана**.

Если все радиоактивные ядра сами собой распадаются, то возникают вопросы: почему же на Земле, возраст которой не менее 4–5 млрд лет, до сих пор встречаются радиоактивные изотопы? Почему все радиоактивные ядра не распались? В поисках ответов на эти вопросы среди всех радиоактивных элементов заслуживают особого внимания уран и торий. Содержание их в земной коре составляет соответственно около $2,6 \cdot 10^{-4}$ и $1,2 \cdot 10^{-3}\%$. Знакомство с характеристиками радиоактивных изотопов объ-

ясняет загадку их существования: период полураспада радиоактивного изотопа урана $^{238}_{92}\text{U}$ равен 4,5 млрд лет, а изотопа тория $^{238}_{90}\text{Th}$ — 14 млрд лет. Вот почему за время существования Земли эти изотопы распались лишь частично.

Человек с помощью органов чувств не способен обнаружить не только слабые и потому безвредные ионизирующие излучения, но даже и те, которые представляют для него серьезную опасность. Поэтому важными задачами для практической деятельности являются: изучение свойств ядерных излучений и особенностей их взаимодействия с веществом; выяснение влияния ионизирующих излучений на человеческий организм и создание приборов, способных регистрировать такого вида излучения; умелое использование готовых приборов для измерения ионизирующих излучений и оповещение окружающих о грозящей опасности.

Первоначально практическая радиационная дозиметрия обслуживала главным образом медицину. Измерение ионизации воздуха в рентгеновском кабинете привело к появлению дозиметрической физической величины — *экспозиционной дозы* (Д) как меры ионизационного воздействия излучения на воздух.

Единицей экспозиционной дозы в СИ является Кл/кг (кулон на килограмм). Экспозиционная доза излучения, равная 1 Кл/кг, показывает, сколько ионов, несущих заряд 1 Кл (каждого знака), содержится в сухом воздухе массой 1 кг при нормальных условиях (температура 20 °С, атмосферное давление 760 мм рт. ст.). Единица дозы 1 рентген определяется как экспозиционная доза излучения, при которой в 1 см³ сухого воздуха при нормальных условиях содержатся ионы, несущие заряд каждого знака в одну единицу заряда (1 единица заряда в СГС равна $3,34 \cdot 10^{-10}$ Кл).

Значит, 1 рентген можно представить либо как число пар ионов, содержащихся в единице объема воздуха, либо как заряд, содержащийся в массе единицы объема воздуха. Поэтому дозу излучения 1 рентген определяют следующим образом: $1 \text{ Р} = 2,08 \cdot 10^9$ пар ионов/см³ или $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг.

Первое соотношение получают путем деления электрического заряда (1 ед. СГС = $3,34 \cdot 10^{-10}$ Кл) на заряд одного иона ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл). Второе соотношение получают путем деления этого же заряда $3,34 \cdot 10^{-10}$ Кл на массу воздуха 1 см³, т. е. на $1,29 \cdot 10^{-6}$ кг.

Доза, отнесенная к единице времени, называется *мощностью дозы*. Мощность дозы излучения радиоактивного препарата прямо пропорциональна его активности и обратно пропорциональна квадрату расстояния от него. Мощность дозы зависит от вида излучающего изотопа. Например, препарат радия с интенсивностью излучения 1 кюри на расстоянии 1 м от него имеет мощность дозы 1 Р/ч. Эти сведения необходимы для осознания и понимания тех цифр, которые фиксирует дозиметр на дисплее.

Цель работы: измерить радиоактивность на лестничных площадках школьного здания или многоэтажного дома и проверить гипотезу: излучательная способность радона уменьшается с увеличением высоты.

Приборы и материалы: дозиметр.

Указания к работе

1. Дозиметром «Сосна» с закрытой задней крышкой и настроенным на режим «Поиск» проведите трехкратные измерения на лестничных площадках каждого этажа и результаты занесите в таблицу 20.

Таблица 20

Этаж дома	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Высота подъема											
1-е измерение, мкР/ч											
2-е измерение, мкР/ч											
3-е измерение, мкР/ч											
Среднее значение трех измерений											

2. Постройте график зависимости средних показаний дозиметра от высоты подъема. Анализируя график, сделайте вывод о подтверждении или отрицании выдвинутой гипотезы.

Лабораторная работа 22

ИССЛЕДОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Теоретический материал. Все живые существа на нашей планете находятся под влиянием естественного радиационного фона. Он состоит не только из радиоактивного излучения горных пород и космических лучей, но и радиационного излучения веществ, поступающих вместе с пищей в организм человека.

Естественная радиоактивность продуктов питания сертифицирована Министерством здравоохранения. Ее измеряют в беккерелях на килограмм (Бк/кг). В пищевой промышленности за единицу удельной активности в СИ принята активность препарата, в котором происходит один распад в секунду, отнесенный к единице массы 1 кг. Это и есть 1 Бк/кг. Из-за исключительной малости эта единица измерения используется сравнительно редко. Широко применяется внесистемная единица 1 кюри

(Ки): $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$. Единицей удельной радиоактивности является 1 Ки/кг .

В таблице 21 приведены сертифицированные продукты питания с указанием естественной радиоактивности.

Таблица 21

Продукты питания	Естественная удельная радиоактивность	
	Бк/кг	Ки/кг
Хлеб	20—60	$(5,4—16,2) \cdot 10^{-10}$
Картофель	170	$4,6 \cdot 10^{-9}$
Капуста белокочанная	140	$3,8 \cdot 10^{-9}$
Помидоры	70—90	$(1,9—2,4) \cdot 10^{-9}$
Лук	40—50	$(1,1—1,3) \cdot 10^{-9}$
Чеснок	70—80	$(1,9—2,2) \cdot 10^{-9}$
Пшеница, рис, гречка	60—70	$(1,6—1,9) \cdot 10^{-9}$
Фасоль, бобы	310—330	$(8,3—8,9) \cdot 10^{-8}$
Мясо	60—130	$(1,6—3,5) \cdot 10^{-9}$
Рыба	50—100	$(1,3—2,7) \cdot 10^{-9}$
Масло: подсолнечное	100	$2,7 \cdot 10^{-9}$
соевое	480	$1,3 \cdot 10^{-9}$
сливочное	30	$0,8 \cdot 10^{-9}$
Молоко, кефир, творог	30—60	$(0,8—1,6) \cdot 10^{-9}$
Чай	730—770	$(2,0—2,1) \cdot 10^{-8}$
Какао-порошок	700—1000	$(1,9—2,7) \cdot 10^{-8}$
Кофе растворимый	900	$2,4 \cdot 10^{-8}$
Сухофрукты	170—560	$(4,6—15,1) \cdot 10^{-9}$
Ягоды, яблоки	20—110	$(0,5—2,9) \cdot 10^{-9}$

Кроме естественной радиоактивности, существует радиоактивность техногенная. Обычно техногенное излучение разносится по большим площадям и становится малозаметным на фоне естественной радиации Земли и космоса. Как источники внешнего облучения такие излучатели уже не представляют для человека прежней опасности. Но, попадая в организм человека по пищевому тракту и дыхательным путям, предельно сближаясь с жизненно важными тканями, они способны оставить такой след, который не мог бы возникнуть даже при самом сильном дискретном внешнем облучении. Вот почему санэпидемстанции даже сравнительно слабое радиационное излучение продуктов, продаваемых на рынках, не оставляют без внимания.

Цель работы: исследовать на радиоактивность приобретаемые или хранящиеся дома продукты питания.

Приборы и материалы: дозиметр, сыпучие продукты питания.

Указания к работе

1. Дозиметр настройте на режим оценки объемной активности радионуклидов в пробах.

2. Согласно регламенту этого режима проведите измерения сначала фоновой активности, затем суммарной активности вместе с исследуемым продуктом и по приведенной в таблице 22 формуле рассчитайте активность продукта. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 22.

Таблица 22

№ п/п	Продукты питания	Активность фоновая $A_{\text{фон}}$	Активность измеренная $A_{\text{изм}}$	Активность продукта $A = K(A_{\text{изм}} - A_{\text{фон}})$	
				Бк/кг	Ки/кг
				$K_2 = 20$	$K_1 = 8 \cdot 10^{-9}$
1	Песок сахарный	250	300	1000	$2,7 \cdot 10^{-8}$
2	Гречка	250	385	2700	$7,3 \cdot 10^{-8}$
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Примечание. Две первые строки — это результаты измерений автора (у вас они могут быть другими), они приведены в качестве примера.

K_1 — коэффициент перевода активности продукта из единицы Бк/кг в единицу Ки/кг;

K_2 — коэффициент относительной биологической эффективности для α -частиц; колонка под этим коэффициентом — это вероятностные числа, полученные путем перемножения активности продукта на ОБЭ = 20 (при внутреннем потреблении продукта).

3. Экспериментальные результаты сравните с числами в таблице 21 и сделайте предварительные выводы о наличии радионуклидов в потребляемых вами продуктах. Предварительные потому, что окончательные выводы делают только специалисты СЭС.

ИЗМЕРЕНИЕ РАДИОАКТИВНОСТИ НАПИТКОВ

Теоретический материал. Изучение отдаленных последствий облучения живых тканей показало, что при одинаковых *поглощенных дозах* (D_n) различные виды радиации производят неодинаковое биологическое воздействие на организм человека. Обусловлено это тем, что более тяжелая частица, например протон, производит в ткани большую ионизацию, чем легкая, например электрон.

При одной и той же поглощенной дозе радиобиологический эффект тем выше, чем сильнее ионизация, создаваемая излучением. Для учета этого эффекта введено понятие *эквивалентной дозы* (D_3). Она определяется соотношением $D_3 = K D_n$, где K — безразмерный коэффициент, который называется *относительной биологической эффективностью* (ОБЭ) или *коэффициентом качества* (КК). Для рентгеновского, β - и γ -излучений $K = 1$, для тепловых нейтронов $K = 5$, для быстрых нейтронов $K = 10$, для протонов $K = 10$, для α -частиц $K = 20$.

Поглощенная доза излучения равна отношению энергии, переданной ионизирующим излучением веществу, к массе вещества: $D_n = E/m$. Единицей поглощенной дозы в СИ принят грей (Гр). Один грей равен поглощенной дозе излучения, при которой облученному веществу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения 1 Дж: 1 Гр = 1 Дж/кг.

Воздействию ионизирующего излучения (γ - или рентгеновского излучения) на мягкие ткани человека в 1 рентген (экспозиционная доза) соответствует поглощенная доза 8,8 мГр (миллигрей).

Поскольку дозиметр «Сосна» регистрирует β - и γ -излучения, то коэффициент качества для него равен единице. Это значит, что эквивалентная и поглощенная дозы равны, а потому по показаниям прибора можно оценивать эквивалентную дозу. Например, прибор показал 10 мкР/ч и тем самым зафиксировал экспозиционную дозу. Для мягких тканей тела она является и поглощенной дозой. Учитывая, что 1 Р = 0,88 рад, получаем $D_n = 8,8 \text{ мкрад} = 8,8 \cdot 10^{-2} \text{ мкГр}$.

Цель работы: измерить радиоактивность наиболее употребляемых вами напитков (соков), сопоставить ее с табличными значениями (см. табл. 21) сертифицированных продуктов питания и осмыслить полученные результаты.

Приборы и материалы: дозиметр, различные напитки и соки.

Указания к работе

1. Дозиметр «Сосна» или РКСБ-104 настройте на режим оценки объемной активности радионуклидов в пробах.

2. Согласно регламенту этого режима проведите измерения сначала фоновой активности, затем суммарной активности вместе с исследуемым продуктом и по приведенной в таблице 22 формуле рассчитайте активность продукта. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 23.

№ п/п	Напиток	Активность фоновая $A_{фон}$	Активность измеренная $A_{изм}$	Активность напитка $A = K(A_{изм} - A_{фон})$	
				Бк/кг	Ки/кг
				$K_2 = 20$	$K_1 = 8 \cdot 10^{-9}$
1	Вода сырая				
2	Вода кипяченая				
3	Вода дистиллированная				
4	Молоко				
5					
6					
7					

3. Экспериментальные результаты, полученные вами, сравните с данными таблицы 21 и сделайте предварительные выводы о наличии радионуклидов в потребляемых вами напитках. Предварительные потому, что окончательные выводы делают только специалисты СЭС.

Лабораторная работа 24

ИЗУЧЕНИЕ ТРЕКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ПО ГОТОВЫМ ФОТОГРАФИЯМ

Теоретический материал. Трек — след частицы в среде, где она двигалась. Трек образуют ионы атомов среды. Толщина и длина трека зависят от массы и скорости частицы.

В школьных условиях треки α -частиц наблюдают с помощью камеры Вильсона (рис. 110). Корпус этой камеры представляет собой пластмассовое кольцо 1, заклеенное сверху и снизу прозрачными пластинами из органического стекла 2. В кольцо вмонтирован штучер, который с помощью гибкого шланга 6 с зажимом 5 соединен с резиновой грушей 4. В центре камеры помещен источник α -частиц. Радиоактивное вещество нанесено тонким слоем на конец металлического стержня 3. Для заполнения объема камеры насыщенными парами применяют смесь воздуха с парами ацетона, этилового спирта и воды.

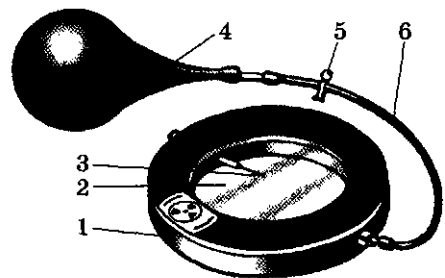


Рис. 110

Перед опытом стенки камеры электризуют суконкой или мехом. Это необходимо для получения четких (неискаженных) следов α -частиц. При помощи пипетки вводят внутрь резиновой трубки 6 две-три капли подготовленной смеси. Надевают трубку на штуцер и путем легких нажатий на грушу заполняют камеру насыщенными парами. При наблюдении за треками α -частиц постепенно сжимают грушу, а затем быстро отпускают. Опыт повторяют несколько раз, так как треки α -частиц наблюдаются лишь в течение 1—1,5 с после расширения воздуха.

Опыты с камерой показывают, что:

1. Треки заряженных частиц представляют собой цепочки микроскопических капелек жидкости, образовавшихся вследствие конденсации пара названной выше жидкости на ионах, расположенных вдоль траектории заряженной частицы.

2. Длина трека зависит от начальной энергии заряженной частицы и плотности окружающей среды: она тем больше, чем больше энергия частицы и чем меньше плотность среды.

3. Толщина трека зависит от заряда и скорости частицы: она тем больше, чем больше заряд частицы и чем меньше ее скорость.

4. При движении заряженной частицы в магнитном поле ее трек получается искривленным. Радиус кривизны трека зависит от массы, заряда, скорости частицы и модуля индукции магнитного поля: он тем больше, чем больше масса и скорость частицы.

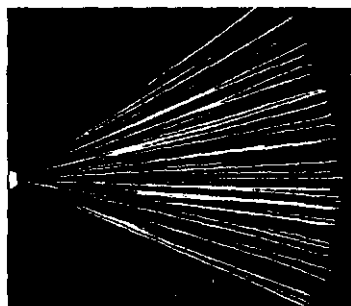


Рис. 111

5. По изменению радиуса кривизны трека определяют направление движения частицы и изменение ее скорости.

Цель работы: по документу (фотографии) треков α -частиц (рис. 111) ответить на вопросы, приведенные в таблице 24.

Приборы и материалы: фотография треков α -частиц.

Указания к работе сформулированы в виде вопросов в таблице 24.

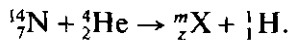
Таблица 24

№ п/п	Вопрос	Ответ
1	Каково направление движения α -частиц?	
2	Длина треков α -частиц примерно одинакова. Почему?	
3	Толщина треков к концу пробега α -частиц немного увеличивается. Почему?	
4	Отдельные α -частицы оставляют треки только в конце пробега. Почему?	

Лабораторная работа 25

ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ПО ИХ ТРЕКАМ

Теоретический материал. На фотографии (рис. 112) запечатлен процесс захвата α -частицы ядром атома азота, т. е. ядерная реакция



Индекс m показывает массу частицы, выраженную в атомных единицах массы; индекс z — заряд частицы, выраженный в элементарных зарядах.

В результате ядерной реакции образуются две частицы, одна из которых — протон ${}^1_1\text{H}$, другая — ядро атома неизвестного элемента. На фотографии взаимодействия α -частицы принадлежит трек 1, протону — тонкий длинный трек 2, ядру атома неизвестного элемента — толстый короткий трек 3.

Цель работы: изучить по фотографии и проанализировать ядерную реакцию, впервые наблюдаемую Э. Резерфордом.

Приборы и материалы: фотография треков заряженных частиц.

Указания к работе содержатся в таблице 25.

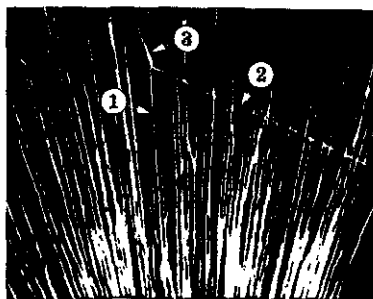


Рис. 112

Таблица 25

№ п/п	Указание	Ответ
1	Руководствуясь текстом, идентифицируйте на фотографии заряженные частицы	
2	На основе законов сохранения электрического заряда и массового числа определите значения индексов m и z	
3	Запишите окончательное уравнение вышеприведенной ядерной реакции	
4	Длина и толщина треков образовавшихся частиц неодинаковы. Объясните почему	
5	По результатам анализа фотографии ответьте на вопрос: как часто происходит взаимодействие α -частиц с ядрами атомов азота?	

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЗАРЯЖЕННОЙ ЧАСТИЦЫ ПО ЕЕ ТРЕКУ

Теоретический материал. В камере Вильсона, помещенной в магнитное поле, были сфотографированы треки двух заряженных частиц: *I* — трек протона, *II* — частицы, которую необходимо идентифицировать (рис. 113). Линии индукции магнитного поля перпендикулярны плоскости фотографии. Начальные скорости обеих частиц одинаковы и перпендикулярны правому краю фотографии.

Идентификацию неизвестной частицы можно осуществить путем сравнения ее удельного заряда q/m с удельным зарядом протона. Это можно сделать, измерив и сравнив радиусы треков частиц на начальном участке треков.

Для заряженной частицы, движущейся перпендикулярно вектору индукции магнитного поля, можно записать:

$$qBv = \frac{mv^2}{R}, \text{ или } \frac{q}{m} = \frac{v}{BR}.$$

Из последней формулы видно, что отношение удельных зарядов частиц равно обратному отношению радиусов их траекторий:

$$\frac{q_1}{m_1} = \frac{v}{BR_1}, \quad \frac{q_2}{m_2} = \frac{v}{BR_2}, \quad \frac{q_1}{m_1} : \frac{q_2}{m_2} = \frac{R_2}{R_1}.$$

Цель работы: идентифицировать (узнать) заряженную частицу.

Приборы и материалы: фотография с треками заряженных частиц, линейка, прозрачная бумага (калька).

Указания к работе

1. Фотографию (см. рис. 113) закройте прозрачной бумагой и переведите на нее треки заряженных частиц.

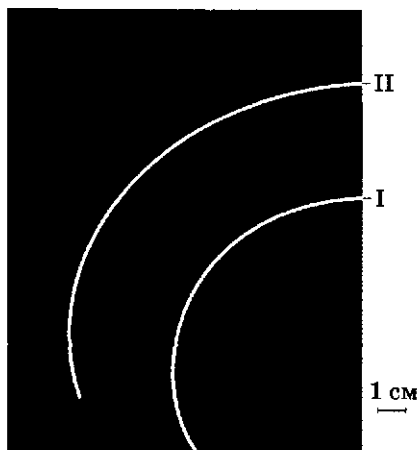


Рис. 113

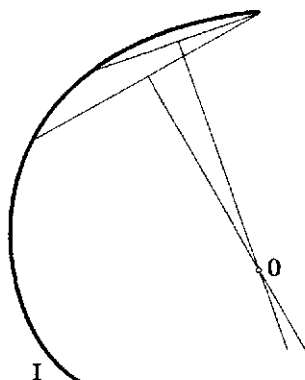


Рис. 114

2. На прозрачной бумаге начертите две хорды (рис. 114) к треку *I* и проведите к серединам этих хорд перпендикуляры. На пересечении перпендикуляров лежит центр окружности. Измерьте радиус окружности линейкой с учетом масштаба, указанного на рисунке 113.

3. Аналогичные действия выполните по отношению к треку *II*. С учетом масштаба измерьте радиус окружности для трека *II*.

4. Найдите отношение радиусов окружностей и по найденному удельному заряду идентифицируйте частицу, имеющую трек *II*.

5. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 26.

Таблица 26

№ п/п	Удельный заряд протона	Радиус R_1	Радиус R_2	Удельный заряд неизвестной частицы q_2/m_2

Лабораторная работа 27

ИЗУЧЕНИЕ ДЕЛЕНИЯ ЯДРА АТОМА УРАНА

Теоретический материал. На рисунке 115 представлена фотография треков двух частиц, образовавшихся в фотоэмульсионном слое при делении ядра атома урана под действием нейтрона. Ядро атома урана на фотографии находилось в точке *I*. После деления ядра его продукты распада двигались в противоположные стороны в соответствии с законом сохранения импульса. По следу на фотографии можно судить, что продукты распада (два осколка) имеют примерно одинаковую длину и толщину треков. Это значит, что заряды и энергии осколков также одинаковы.

Левый трек на фотографии имеет излом, который свидетельствует о столкновении осколка с атомами вещества фотоэмульсии.

На этой же фотографии приведен масштаб: от нулевой точки по обе стороны поставлены штрихи с обозначением « $10\mu = 10$ микрон».

Цель работы: по масштабу фотографии на основе законов сохранения заряда и массового числа идентифицируйте ядро атома второго осколка, если первый осколок — это ядро атома бария Ва.

Приборы и материалы: фотография треков продуктов распада ядра урана (см. рис. 115), линейка миллиметровая.

Указания к работе содержатся в таблице 27.

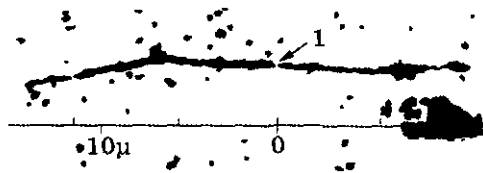


Рис. 115

№ п/п	Указание	Ответ
1	Измерьте и запишите длины треков (с учетом масштаба) продуктов распада ядра урана	
2	Запишите уравнение ядерной реакции	${}_{92}^{238}\text{U} + {}_0^1n \rightarrow {}_{96}^{137}\text{Ba} + {}_z^m\text{X} + 2{}_0^1n$
3	На основе законов сохранения электрического заряда и массового числа идентифицируйте элемент X и запишите окончательное уравнение ядерной реакции	

Приложение

ТАБЛИЦА РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Характеристика	Активность	Экспозиционная доза	Поглощенная доза	Эквивалентная доза
Обозначение	A	E_s	$E_{\text{п}}$	D
Единица в СИ	1 Бк = = 1 распад/с	1 Кл/кг	1 Гр = = 1 Дж/кг	1 Зв
Внесистемная единица	1 Ки	1 Р	1 рад	1 бэр
Взаимосвязь	1 Ки = = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк	1 Кл/кг = = $3,88 \cdot 10^3$ Р 1 Р = = $2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг	1 Гр = = 100 рад	1 Зв = = 100 бэр

Оглавление

Предисловие	3
Глава I. Излучатели и приемники излучения	5
§ 1. Квантовые излучатели различных диапазонов	—
§ 2. Источники электропитания для квантовых излучателей	13
§ 3. Приемники квантовых электромагнитных излучений	16
§ 4. Индикаторы элементарных частиц	23
§ 5. Нетиповые приборы и принадлежности	—
Глава II. Лабораторные работы по атомной физике и световым квантам	29
Лабораторная работа 1. Экспериментальное подтверждение наличия квантов света	—
Лабораторная работа 2. Обнаружение фотоэлектрического эффекта	31
Лабораторная работа 3. Изучение законов фотоэффекта	33
Лабораторная работа 4. Определение работы выхода фотоэлектрона	37
Лабораторная работа 5. Измерение постоянной Планка	39
Лабораторная работа 6. Изучение полупроводниковых фотоэлементов	40
Лабораторная работа 7. Солнечная батарея и ее применение	43
Лабораторная работа 8. Изучение фоторезистора	45
Лабораторная работа 9. Изучение фотодиода и фототранзистора	46
Лабораторная работа 10. Изучение фотохимических явлений	49
Лабораторная работа 11. Изучение светоизлучающего диода	51
Лабораторная работа 12. Определение постоянной Планка с помощью светодиода	53
Лабораторная работа 13. Определение отношения заряда электрона к его массе	55
Лабораторная работа 14. Определение удельного заряда электрона	57
Лабораторная работа 15. Качественный спектральный анализ	60
Лабораторная работа 16. Наблюдение за линейчатым спектром испускания и поглощения	63
Лабораторная работа 17. Сборка и испытание фотореле	66
Глава III. Лабораторные работы по физике атомного ядра	69
§ 1. Дозиметрия	—
§ 2. Источники радиоактивных излучений	70
§ 3. Дозиметры	72
Лабораторная работа 18. Изучение свойств ядерных излучений	79
Лабораторная работа 19. Изучение поглощения бета-частиц	81
Лабораторная работа 20. Измерение периода полураспада короткоживущих радиоактивных изотопов	82
Лабораторная работа 21. Исследование радиоактивности воздуха в помещении	83

Лабораторная работа 22. Исследование естественной радиоактивности продуктов питания	85
Лабораторная работа 23. Измерение радиоактивности напитков	88
Лабораторная работа 24. Изучение треков заряженных частиц по готовым фотографиям	89
Лабораторная работа 25. Изучение взаимодействия заряженных частиц по их трекам	91
Лабораторная работа 26. Идентификация заряженной частицы по ее треку	92
Лабораторная работа 27. Изучение деления ядра атома урана	93
Приложение	94

Физика

Лабораторные работы

в школе и дома

В. Ф. Шилов

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

«Электродинамика»

«Геометрическая и волновая оптика»

**Оригинальная методика известного автора
В. Ф. Шилова позволяет:**

- проводить физические эксперименты с использованием широкодоступных цифровых измерительных приборов
- получить необходимые теоретические сведения об изучаемых физических явлениях
- изучить и понять принципы работы современных технических устройств, используемых в повседневной жизни

ISBN 5-09-014665-9



9 785090 146654


ПРОСВЕЩЕНИЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО

интернет-магазин

OZON.RU



21136644