REFERO

Г. Я. Зверев

ФИЗИКА

без механики Ньютона, без теории Эйнштейна и без принципа наименьшего действия

Платон мне друг, но истина дороже

Аристотель

URSS

REFERO

Г. Я. Зверев

ФИЗИКА без механики Ньютона, без теории Эйнштейна и без принципа наименьшего действия

Издание третье,
переработанное и дополненное

МОСКВА

URSS

ББК 22.21 22.3щ 22.3о 22.313

Зверев Георгий Яковлевич

Физика без механики Ньютона, без теории Эйнштейна и без принципа наименьшего действия. Изд. 3-е, перераб. и доп. — М.: Издательство ЛКИ, 2007. 136 с. (Relata Refero.)

В настоящей работе предложена новая механика, основанная на принципиально новой концепции — концепции ускоряемого тела и тела-ускорителя. Новая механика построена в форме принципов взаимодействия двух тел. Принципы опираются на универсальные законы сохранения энергии и импульса, поэтому распространяются на все виды материи.

Механика Ньютона является общепризнанным фундаментом всей современной физики. Но она представляет собой только упрощенный вариант новой механики, поэтому не может решить некоторые принципиальные задачи естествознания. Новая механика более точно описывает физические явления, поэтому просто и естественно раскрывает природу явлений, имеющих фундаментальное значение, например, резонанса колебательного и поступательного, резонанса в микромире, принципа относительности, принципа наименьшего действия, первого и второго начал термодинамики, основ квантовой механики. Наконец, даже сама механика Ньютона естественно «выводится» из новой механики как ее частный случай.

Настоящая работа предлагается в качестве современного универсального физико-математического инструмента для решения практических задач, неразрешимых в рамках имеющихся сейчас физических представлений.

На обложке:
репродукция картины *М. К. Эшера* «Водопад» (1961)

Издательство ЛКИ. 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, 9.
Формат 60×90/16. Печ. л. 8,5. Зак. № 942.

Отпечатано в ООО «ЛЕНАНД». 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, д. 11А, стр. 11.

ISBN 978–5–382–00124–1

© Г. Я. Зверев, 2001, 2007
© Издательство ЛКИ, 2007

НАУЧНАЯ И УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА
E-mail: URSS@URSS.ru
Каталог изданий в Интернете:
http://URSS.ru
Тел./факс: 7 (495) 135–42–16
URSS Тел./факс: 7 (495) 135–42–46

4961 ID 53635
9 785382 001241 >

Все права защищены. Никакая часть настоящей книги не может быть воспроизведена или передана в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель, а также размещение в Интернете, если на то нет письменного разрешения владельцев.

Оглавление

От издательства 6

Введение 7

§ 1. Природа процесса ускорения тел 12

§ 2. Абстрактная модель взаимодействия двух тел 13

§ 3. Уравнение взаимодействия двух тел 15

§ 4. Резонансный захват энергии 16

§ 5. Физические модели 18

§ 6. Взаимодействие при $m_т \gg m_ч$. Инерция покоя. Равноускоренное движение. Потенциальная энергия 20

§ 7. Взаимодействие тел при $m_т = m_ч$. Принцип суперпозиции. «Волны домино». Температура среды 24

§ 8. Упругость. Колебание. Инерция движения. Осциллятор 26

§ 9. Главный параметр явления взаимодействия двух тел. Что такое «энергия». Чему равна реальная энергия частицы. Машина механическая и машина тепловая 29

§ 10. Физические свойства связки. Упругая связка в механике. Связка переменной длины в микромире. Условие Планка. Постоянная Планка. Динамический принцип взаимодействия. Кинематический принцип взаимодействия 32

§ 11. Силы в механике. Физическая сущность силы. Сила «ветра» частиц. Сила инерции движения. Сила гравитации. Сила упругости. Дальнодействие. Близкодействие 38

§ 12. Продолжительное ускорение тела. Максимально мощное ускорение. Горка Гюйгенса. Оптико-механические аналогии Гамильтона. Теория оптимального управления 41

§ 13. Резонансное ускорение тела с обратной связью. Резонансная следящая система 48

§ 14. Принципы взаимодействия тел 51

§ 15. Принципы взаимодействия тел и механика Ньютона. Новая механика 52

§ 16. Принципы взаимодействия тел и принцип относительности Галилея 59

§ 17. У истоков теории относительности. Принципы взаимодействия тел и теория относительности Лоренца 64

§ 18. Электродинамические уравнения Лоренца в роли уравнений механики 71

§ 19. Принципы взаимодействия тел и специальная теория относительности Эйнштейна 76

§ 20. Термодинамика. Отличие ее от механики 82

§ 21. «Термодинамический» способ захвата энергии частицы $m_ч$ телом $m_т$ 83

§ 22. Реализация термодинамического способа захвата энергии горячих молекул 86

§ 23. Практическое воплощение «тепловых машин» 86

§ 24. Работа, совершаемая при сжатии газа (взаимодействие при $m_ч \gg m_т$) 88

§ 25. Передача теплоты от одного тела к другому. Второе начало термодинамики 89

§ 26. Колебательный тип взаимодействия тел ($m_т = 3m_ч$) 90

§ 27. Классическая термодинамика и принципы взаимодействия двух тел 92

§ 28. Новая механика в атомном мире. Модель абстрактного атомного тела. Кинематика движения атомного тела. Длина шага атомного тела. Корпускулярно-волновой дуализм атомного тела. Ускорения атомного тела силой. Кинетическая энергия атомного тела. Отражение атомного тела от препятствия. Квантование энергии атомного тела . . 94

§ 29. Принципы взаимодействия двух тел и теория канонически сопряженных величин Гамильтона. Основы квантовой механики 102

§ 30. Возмущения в упругой среде Даламбера. Возмущения в несжимаемой, жесткой среде. Возникновение массы 108

§ 31. Волна в упругой среде. Скорость распространения волны в упругой среде. Волна в жесткой цепи. Жесткая волна . . . 111

§ 32. Что такое «механика»? Жесткий мир электричества 113

§ 33. Резонансные явления при колебательном движении тела. Согласованный сигнал 114

§ 34. Колебательные системы 117

§ 35. Резонансные явления в зыбке. Новый тип резонанса — резонанс на собственных арго колебаниях зыбки 118

§ 36. Определение закона собственных колебаний систем со многими степенями свободы 121

§ 37. Способы формирования (генерации) арго 122

§ 38. Резонансное возбуждение атома. Модель атома. Квантовый резонанс. Калиброванный импульс 123

§ 39. Экспериментальная проверка принципов взаимодействия тел 126

§ 40. Аналитическая проверка принципов взаимодействия тел. Закон Ньютона о равноускоренном движении в новой механике 128

§ 41. Живое. Ум 131

Литература **132**

От издательства

Эта книга продолжает серию «Relata Refero» (дословный перевод — рассказываю рассказанное).

Под этим грифом издательство предоставляет трибуну авторам, чтобы высказать публично новые идеи в науке, обосновать новую точку зрения, донести до общества новую интерпретацию известных экспериментальных данных, etc.

В споре разных точек зрения только решение Великого судьи — Времени — может стать решающим и окончательным. Сам же процесс поиска Истины хорошо характеризуется известным высказыванием Аристотеля, вынесенным на обложку настоящей серии: авторитет учителя не должен довлеть над учеником и препятствовать поиску новых путей.

Мы надеемся, что публикуемые в этой серии тексты внесут, несмотря на свое отклонение от установившихся канонов, свой вклад в познание Истины.

Введение

Данное Ньютоном понятие силы, как независимой и элементарной первопричины движения в природе, глубоко укоренилось. Однако существуют явления, ставящие под сомнение и независимость, и элементарность силы. Одним из таких явлений является **РЕЗОНАНС**, традиционно связываемый с колебаниями.

Рассмотрим пример резонанса из области радиотехники. На антенну радиоприемника приходят сигналы от различных радиостанций. Однако колебательный контур радиоприемника раскачивается лишь только от сигнала своей радиостанции, на которую он настроен, игнорируя другие сигналы. При этом чужие сигналы могут превышать свой сигнал в тысячи раз, но колебательный контур неизменно их игнорирует, отдавая предпочтение своему сигналу. В этом проявляется явление резонанса. Есть переменная электрическая сила, которая должна бы в любом случае ускорять заряды в колебательном контуре. Однако это ускорение наступает только а особом случае — при резонансе. Таким образом, сила не всегда вызывает ускорение.

Перечень подобных явлений можно продолжить и в областях, никак не связанных с колебаниями. Например, гребец в лодке явственно ощущает, как именно следует отдавать свою силу, чтобы лодка ускорялась. Не создав условия резонансной передачи своей силы, гребец не ускорит движение лодки и напрасно истратит силы на возмущение воды. Аналогично, для разгона самолета после взлета пилот регулирует шаг воздушного винта для резонансного ускорения тяжелой машины. После трогания автомобиля, переключая передачи, шофер обеспечивает резонансное ускорение массы автомобиля. Если не соблюдать условия резонанса, например, трогаться на высшей передаче, двигатель просто заглохнет, хотя мощность двигателя остается неизменной.

Другим явлением, необъяснимым с позиции неизменной силы Ньютона, является неразличимость механических явлений, протекающих в покоящихся и движущихся системах отсчета (**принцип Галилея**). Несмотря на явную физическую несостоятельность этого принципа, суть явления до сих пор остается загадкой природы и даже послужила причиной создания специальной теории относительности Эйнштейна.

В предлагаемой работе показано, что в упомянутых «загадках природы» повинен сам инструмент исследования природы — механика Ньютона с ее «неизменной силой». Естественно, механика Ньютона с ее «неизменной силой», принципиально не в состоянии объяснить явления природы, где сила переменна.

Силу в механике принято называть ньютоновской. Однако сам Ньютон никогда не призывал верить в реальность силы. Он считал, что выражение для сил есть всего лишь правило, согласующееся с кинематическими опытами. Ньютон не только предложил формулу силы $F = m \cdot a$, но и предупредил, что на этом заканчивается все возможное знание о ней. Говоря о силе тяготения, он писал: «Причину этих свойств тяготения я до сих пор не мог вывести из явлений. Все же, что не выводится из явлений, должно называться гипотезой. Но гипотезам метафизическим, механическим скрытным свойствам не место в экспериментальной философии. Гипотез я не измышляю. Довольно того, что тяготение на самом деле существует и действует согласно изложенным нами законам и вполне достаточно для объяснения движений всех небесных тел».

«Сила Ньютона» — это понятие абстрактно-математическое, без какой-либо физической сущности. Поэтому понятно стремление исследователей вообще исключить такую абстрактную силу из перечня основных понятий физики. Даламбер считал движущиеся свойства «активных» сил сомнительными: «Я отказался от движущихся причин и полностью изгнал из механики силы, представляющие собой туманные понятия, способные распространить мрак в науке, являющейся, по существу, ясной и понятной». Пуанкаре писал: «Когда утверждают, что сила есть причина движения — это метафизика. Есть в учении о движущих силах что-то неприемлемое для ума. Система, которая освободит нас от них, уже этим одним будет лучше нашей». Дело не ограничивалось только пассивным отрицанием существования силы. Г. Герц создал свою новую механику без привлечения понятия силы. Причиной движения тел в механике Герца являются «скрытые массы», субстанция которых та же, что и субстанция ускоряемого ими тела.

Конечно, силу из механики убирали не из «экономии» количества понятий (что в науке приветствуется) и не из-за ее «ложности». Силу «убирали» для того, чтобы понять, раскрыть механизм силы, роль силы как причины ускорения тел. Гамильтон, Кирхгоф, Герц (и другие не упомянутые здесь естествоиспытатели) сущность силы пытались «выудить» из совокупности фундаментальных понятий: пространство, время, масса, объединенных в некий один «основной закон механики (природы)».

Как известно, попытки усовершенствовать механику предпринимались и без «изъятия» из нее ньютоновской силы. Лоренц, Пуанкаре, Эйнштейн предложили свои теории улучшения механики Ньютона. Однако все эти теории были лишь «косметическими», ибо они не затрагивали основу механики Ньютона — ее «неизменную силу». Поэтому все они неизбежно оказывались только формально математическими ухищрениями, вконец запутывали физику упомянутых явлений.

Объективности ради надо отметить, что Эйнштейн, и тем более Лоренц и Пуанкаре, вовсе и не ставили задачу усовершенствования механики Ньютона. Они разрабатывали теорию относительности в механике и электродинамике, оставляя, как им казалось, в неприкосновенности «неизменную силу». Но решить задачу относительности без переменной силы объективно невозможно. Поэтому они невольно и неявно, но неизбежно, приходили к переменной силе, не осознавая этого. Отсюда полная нефизичность («заумность») их усовершенствованной механики.

Многочисленные физические явления показывают, что сила, действующая на тело, сама зависит от скорости ускоряемого ею тела. Более того, опыт показывает, что всегда есть такая резонансная скорость тела, при которой сила будет максимальной, а при другой определенной скорости она будет равна нулю. Но если сила зависит от скорости ускоряемого тела, она сама должна нести в себе эту «скорость». А скорость может иметь только материальное тело. Следовательно, сила образуется только материальными частицами, имеющими определенную скорость. Это может быть поток частиц или продольные колебания в среде.

В современной механике абстрактная, «мифическая» сила Ньютона, как причина ускорения тела, на словах также заменена на материальное «второе тело», ускоряющее первое. Однако, параметры этого второго тела («силы») в уравнение ускорения первого тела не вошли. Уравнения с участием ньютоновской силы остались незыблемыми, и «новая сила» — второе тело — осталась пустой декларацией.

Таким образом, в предлагаемой работе взамен механики Ньютона с ее «неизменной силой», ускоряющую пассивное тело, предложена новая механика, основанная на принципиально новой концепции: концепции ускоряемого тела и тела-ускорителя. Такое разделение функций тел, конечно, условное — здесь тела взаимодействуют как равноправные активные элементы природы. Поэтому новая механика построена в форме **принципов взаимодействия двух тел.** Принципы опираются на универсальные законы сохранения энергии и импульса, поэтому распространяются на все виды материи.

В предлагаемых принципах раскрыт механизм ускорения одного тела другим. Иначе, раскрыт механизм силы — механизм причины ускорения тела: тело ускоряется телом. Поэтому понятие абстрактной ньютоновской силы здесь оказалось невостребованным. Понятие силы в принципах взаимодействия двух тел оказалось ненужным, лишним.

Самой известной силой является сила притяжения планет, Земли. Впервые «обнаружил» ее Ньютон и нашел закон ее действия – закон всемирного тяготения. Кавендиш экспериментально подтвердил, что притяжение масс друг к другу обязано «силе тяготения» Ньютона и определил величину гравитационной постоянной.

Первым внес ясность в физическую сущность силы тяготения Лесаж. Он объяснил, что тела не «притягиваются» друг к другу «тяготением» («гравитацией»), а сталкиваются частицами-лесажонами, летящими со всех сторон. Наконец, Лукин экспериментально подтвердил гипотезу Лесажа. В его приборе для определения природы силы тяготения, массивное кольцо **вращалось** от организованного прибором потоков лесажонов. Силой «притяжения», как известно, вызвать вращение невозможно. Таким образом, **новая механика**, основанная на концепции взаимодействия ускоряемого тела и тела-ускорителя, **выстроена на твердо установленном экспериментальном факте**. По сравнению с механикой Ньютона, принципы взаимодействия тел наиболее полно и точно описывают сущность явления ускорения тел. Это качественно более высокий уровень описания явлений взаимодействия в природе. Поэтому задачи физики, недоступные для механики Ньютона, принципы разрешают просто, наглядно и точно. Упомянутый выше принцип Галилея недоступен для механики Ньютона, поэтому в дополнение к ней понадобилась специальная теория относительности Эйнштейна. Принципы разрешают задачу относительности на элементарном уровне, наглядно, в рамках классической физики, без заумных «изменений пространства—времени». Другая упомянутая выше принципиально важная задача физики — резонанс, также недоступная механике Ньютона, принципами разрешается «походя» — просто как один частный случай общего принципа взаимодействия тел — «резонансное взаимодействие».

Из предельно элементарной модели взаимодействия тел (в ней всего три элемента: ускоряющая частица, ускоряемое тело и связка), описываемая соответственно столь же элементарным математическим аппаратом, вытекают сущности таких фундаментальных понятий, **как инерция покоя, инерция движения, первое и второе начала термодинамики, постоянная Планка, сущность волновой частицы, принципа наименьшего действия.** Принципы дают оценку уравнениям Лоренца, специальной теории относительности Эйнштейна, показывают их ограниченность: они справедливы лишь для узкого круга явлений взаимодействия, а в остальных случаях просто неверны. Принципы поглощают специальную теорию относительности и делают ее ненужной как специфическую (неклассическую) физико-математическую теорию. Принципы также дают оценку первоосновам квантовой механики Шредингера—Гейзенберга, поглощают их и делают их ненужными как специфические (неклассические) математические теории.

Можно сказать, что принципы взаимодействия двух тел классической физике дают «второе дыхание» — она освобождается от несвойственной ей чужеродной специальной теории относительности и лишенной всякой наглядности абстрактно-математических построений квантовой механики. В связи с этим, полагаем, что, как бы

не были интересны переосмысленные и «обновленные» уравнения Лоренца, Эйнштейна и квантовая механика, — все это есть уже только история столетней давности. Мощь принципов целесообразно направить на решение новых задач. Поэтому настоящая работа предлагается в качестве современного универсального физико-математического инструмента для решения практических задач, неразрешимых имеющимися сейчас физическими представлениями, например, таких как:

1. Овладение методами высокоизбирательного воздействия на вещества и живые ткани путем использования колебательного **резонанса сложных систем**. Это подавление раковых клеток в медицине, получение сверхчистых веществ. Избирательное воздействие на раковые клетки позволяет увеличивать мощность подавляющего воздействия на несколько порядков, не опасаясь повредить окружающие ткани и вещества.
2. Резонансное воздействие на сложные вещества путем использования колебательного **резонанса сложных систем**. Это высокоэффективные воздействия на твердые тела, полимеры, живые клетки, молекулы, атомы, ядра, это экологически чистые тепловые двигатели. Сейчас здесь используются воздействия мощные, но «слепые»: высокая температура, импульсы лазера и т. д. Эффективность таких воздействий невысока. Сложные вещества представляют из себя колебательные структуры, поэтому они по самой своей природе не восприимчивы к «неприцельным» воздействиям.
3. Пересмотр с позиций принципов взаимодействия тел используемых сейчас явлений природы с целью полной реализации их возможностей путем использования **поступательного резонанса**, вытекающего из принципов взаимодействия тел. Это повышение эффективности тепловых двигателей, электромашин, приборов и т. д. Несмотря на вековую историю многих из них, разработаны они без учета резонанса, поэтому могут быть улучшены. Например, реально создание газовой турбины с КПД 80 %, по сравнению с достигнутыми в настоящее время 35 %. Возможно создание мощных следящих систем с идеальными характеристиками, принципиально адаптационных и потребляющих минимальное количество энергии.
4. Пересмотр **зонной теории** твердого тела с позиций принципов взаимодействия. Здесь абстрактно-математические построения квантовой механики заменяются наглядными физическими моделями, которые будут стимулировать разработку принципиально новых электронных приборов.

Принципы взаимодействия тел прошли экспериментальную проверку на реальных моделях и устройствах.

§ 1. Природа процесса ускорения тел

Рассмотрим изученное еще Ньютоном явление ускорения тела силой неизменной величины. Тело здесь двигается равноускоренно. Выпишем, в зависимости от течения времени, величины скорости тела, приращения скорости, приобретенную телом энергию, приращения приобретаемой телом энергии:

t	0	1	2	3	4	5
V	0	1	2	3	4	5
ΔV	0	1	1	1	1	1
$E = mV^2/2$	0	0,5	2	4,5	8	12,5
ΔE	0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5
dE	0	0,5	1	1	1	1

Под действием неизменной силы с течением времени тело увеличивает свою скорость, приобретая в каждую следующую единицу времени одинаковое приращение скорости (строка 3). Но отсюда неизбежно следует, что тело в каждую следующую единицу времени приобретает все увеличивающиеся порции энергии (строка 5). Порции приобретаемой телом энергии линейно растут, хотя сила остается неизменной во времени.

Сила должна бы ускорять тело независимо от поведения тела. Между тем, величина приобретаемой телом порции энергии непосредственно зависит от величины скорости тела. Сила, как видим, вовсе не является элементарной и независимой первопричиной движения. Тело само управляет силой, от которой оно и ускоряется. В результате, рассматриваемая здесь система **сила—ускоряемое тело** идет в направлении к состоянию, где вся энергия будет использована для ускорения тела.

Как видим, уже в рассматриваемом элементарном явлении равноускоренного движения явно видна несостоятельность механики Ньютона, выстроенная на концепции ускорения тела неизменной силой. Необходимо изменить саму концепцию ускорения тела, другими словами, отказаться от механики Ньютона.

Понятие «сила» прямо связано с понятием «ускорение». Сила — это то, что ускоряет тело. Что же ускоряет тело? — Только второе тело за счет своего торможения. Тело ускоряется за счет торможения второго тела, будучи определенным образом связанным с ним. Сила создается тормозящим телом. Такова концепция новой механики, где абстрактная сила Ньютона заменена действием реального второго тела. Заметим, что в современной механике сила также определяется

как «мера действия одного тела на другое». Однако параметры этого «действующего тела» в уравнения механики никак не вошли, и рациональное по сути определение силы, осталось пустой декларацией. Мы параметры второго тела ввели непосредственно в уравнения механики, тем самым на деле реализовали рациональное определение силы, принятой в современной механике, как причины ускорения тела.

Таким образом, концепцию, описываемую как $F = ma$, мы заменили на концепцию, описываемую как

$$m_1 a_1 = m_2 a_2.$$

В настоящей работе далее будем рассматривать именно такое **взаимодействие двух тел.**

Далее последовательно рассмотрим основы новой механики — принципов взаимодействия двух тел.

§ 2. Абстрактная модель взаимодействия двух тел

Абстрактная модель взаимодействия двух тел не является ни механической моделью, ни электрической. Назначением абстрактной модели является рассмотрение только явления взаимодействия двух абстрактных тел, независимо от реальной природы этих тел. Абстрактные тела отождествляются с реальными телами с «механической» массой (механика) и с реальными телами с «электромагнитной» массой (электричество).

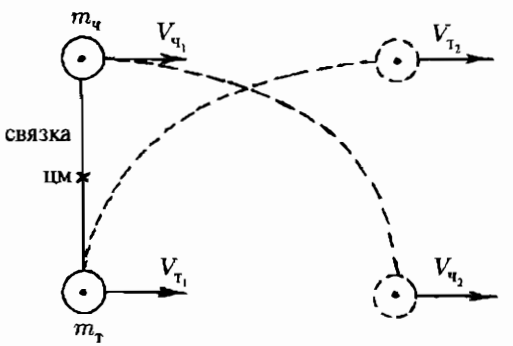

Рис. 2.1

Модель представлена на рис. 2.1. Ускоряющее тело назовем «частицей», а ускоряемое будем по-прежнему называть «телом». Частица и тело имеют одинаковые свойства, являются абсолютно твердыми телами и имеют соответственно массы $m_ч$ и $m_т$. Ускорение тела частицей на прямой линии, естественно, невозможно, поскольку оба

они являются абсолютно твердыми телами. В процессе ускорения тела на прямой линии более быстрая частица неминуемо проникла бы в более медленное тело, чего не допускают абсолютно твердые тела. Поэтому примем, что частица ускоряет тело с помощью «связки», представляющей собой некую невесомую и нерастяжимую нить. Ускорение тела частицей, таким образом, происходит не на прямой линии, а в плоскости. Скорости $V_ч$ и $V_т$ параллельны. Скорость $V_т$ по направлению может совпадать с $V_ч$ или иметь противоположное направление. Связка сцепляет частицу с телом в момент нахождения частицы «над» телом и расцепляет их после окончания взаимодействия, когда частица окажется «под» телом. Во время взаимодействия частица и тело, таким образом, оказываются взаимно сцепленными и совершают кувырок вокруг центра масс частицы и тела. Сам центр масс при этом совершает поступательное движение. В результате такого сложного движения взаимодействие частицы с телом происходит во взаимно фиксированном положении, при этом и частица, и тело двигаются по циклоидам. И у частицы, и у тела появляются элементы поперечного движения, которых у них не было до взаимодействия. Характер совместного движения частицы и тела, таким образом, всецело определяется их начальными скоростями и массами.

При большом превышении массы тела над массой частицы частица практически будет вращаться вокруг тела. При близких значениях масс тела и частицы они будут вращаться, подобно гантели, вокруг центра их масс, описывая циклоиды. При встречном направлении начальных скоростей частицы и тела «гантель» совершит быстрый кувырок, а при попутном начальном движении кувырок будет замедленным (рис. 2.2).

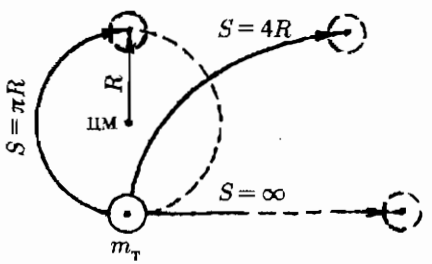

Рис. 2.2

Как всякая физическая модель, абстрактная модель взаимодействия тел содержит в себе все **три сущности явления**: перечень действующих элементов, кинематическую связь элементов между собой, энергетические зависимости между элементами. Рассмотрение абстрактной модели взаимодействия начнем с энергетических зависимостей.

§ 3. Уравнение взаимодействия двух тел

До взаимодействия частица и тело имели скорости $V_{ч_1}$ и $V_{т_1}$, после взаимодействия они будут иметь скорости $V_{ч_2}$ и $V_{т_2}$, следовательно, энергии частицы и тела до и после взаимодействия будут:

$$E_{ч_1} = \frac{m_ч V_{ч_1}^2}{2}, \quad E_{ч_2} = \frac{m_ч V_{ч_2}^2}{2}; \quad E_{т_1} = \frac{m_т V_{т_1}^2}{2}, \quad E_{т_2} = \frac{m_т V_{т_2}^2}{2}.$$

Очевидно, что $E_{ч_1} + E_{т_1} = E_{ч_2} + E_{т_2}$.

При взаимодействии частица $m_ч$ тормозится, ускоряя тем самым тело $m_т$, передавая ему свою энергию. Таким образом, основной чертой взаимодействия частицы с телом является отдача энергии частицы телу.

В качестве *меры* величины обмена энергией примем относительное уменьшение энергии частицы после взаимодействия. Назовем ее коэффициентом захвата энергии $Z_ч$:

$$Z_ч = \frac{E_{ч_2} - E_{ч_1}}{E_{ч_1}}.$$

Коэффициент захвата энергии безразмерен и нормирован, потому удобен. Например, если $E_{ч_2} = E_{ч_1}$, то частица свою энергию сохранила, взаимодействия с телом не состоялось, т. е. $Z_ч = 0$. При $E_{ч_2} = 0$ частица всю энергию полностью отдала телу, т. е. $Z_ч = -1$.

Найдем зависимость коэффициента захвата энергии $Z_ч$ от начальных скоростей $V_{т_1}$, $V_{ч_1}$ и масс $m_т$ и $m_ч$. Следуя методу Лагранжа, динамическую задачу обмена энергией сведем к кинематической задаче нахождения конечной скорости частицы в конце взаимодействия $V_{ч_2}$. Из скорости $V_{ч_2}$ затем найдем относительное уменьшение энергии частицы $Z_ч$ (рис. 3.1).

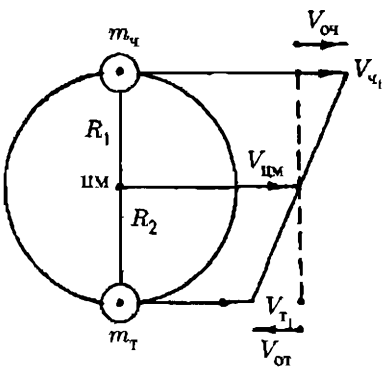

Рис. 3.1

Гантель из $m_ч$ и $m_т$ совершает вращательное движение вокруг центра масс. Окружная скорость частицы здесь $V_{оч}$, а тела $V_{от}$. Центр масс двигается со скоростью $V_{цм}$. Тогда скорость частицы $V_{ч_2}$ будет равна разности между окружной скоростью и скоростью центра масс:

$$V_{ч_2} = V_{цм} - V_{оч}.$$

Найдем $V_{цм}$:

$$V_{цм} = V_{т_1} + (V_{ч_1} - V_{т_1})\frac{R_2}{R_1 + R_2},$$

где

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{m_т}{m_ч}, \qquad \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{m_ч}{m_ч + m_т} = Y;$$

$$V_{цм} = V_{т_1} + (V_{ч_1} - V_{т_1})Y.$$

Найдем $V_{оч}$:

$$V_{оч} = (V_{ч_1} - V_{т_1})\frac{R_1}{R_1 + R_2} = (V_{ч_1} - V_{т_1})(1 - Y).$$

Отметим, что

$$V_{от} = (V_{ч_1} - V_{т_1})\frac{R_2}{R_1 + R_2} = (V_{ч_1} - V_{т_1})Y.$$

Таким образом,

$$V_{ч_2} = V_{цм} - V_{оч} = V_{т_1} + (V_{ч_1} - V_{т_1})Y - (V_{ч_1} - V_{т_1})(1 - Y) =$$
$$= V_{т_1}(2 - 2Y) + V_{ч_1}(2Y - 1).$$

Коэффициент захвата энергии частицы

$$Z_ч = \frac{E_{ч_2} - E_{ч_1}}{E_{ч_1}} = \frac{E_{ч_2}}{E_{ч_1}} - 1 = \frac{V_{ч_2}^2}{V_{ч_1}^2} - 1,$$

$$\frac{V_{ч_2}}{V_{ч_1}} = \frac{V_{т_1}(2 - 2Y) + V_{ч_1}(2Y - 1)}{V_{ч_1}} = \frac{V_{т_1}}{V_{ч_1}}(2 - 2Y) + 2Y - 1.$$

Окончательное уравнение взаимодействия двух тел:

$$\boxed{Z_ч = \left\{\frac{V_{т_1}}{V_{ч_1}}(2 - 2Y) + 2Y - 1\right\}^2 - 1.}$$

§ 4. Резонансный захват энергии

Из уравнения взаимодействия тел следует, что величина обмена энергией между частицей и телом есть функция отношений скоростей $G = \frac{V_{т_1}}{V_{ч_1}}$ и отношения их масс Y.

График функции взаимодействия $Z_ч = f\left(\frac{V_{т_1}}{V_{ч_1}}\right)$ для различных Y приведен на рис. 4.1.

Из графика функции взаимодействия $Z_ч$ непосредственно следуют следующие важные выводы.

1. Для любого отношения масс Y всегда существует одна величина отношения скоростей G, при которой частица полностью отдает свою энергию телу (условие резонанса).

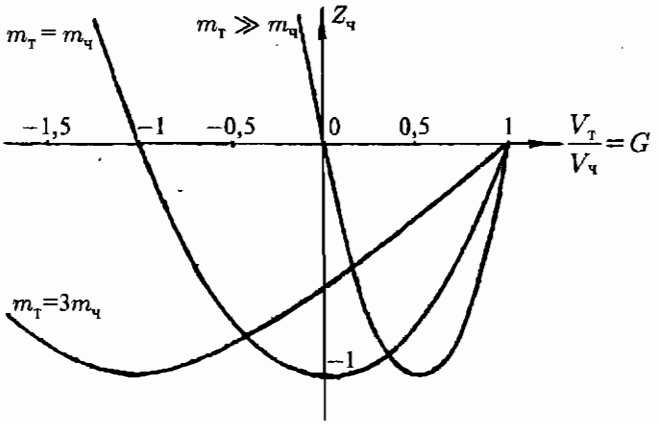

Рис. 4.1

Для того чтобы $Z_ч = -1$, необходимо

$$\left\{\frac{V_{т_1}}{V_{ч_1}}(2-2Y)+2Y-1\right\}^2 = 0.$$

Для этого достаточно выполнить условие

$$G = \frac{V_{т_1}}{V_{ч_1}} = \frac{1-2Y}{2-2Y}.$$

В частности, для $m_т \gg m_ч$ $Z_ч = -1$ при $V_{т_1} = \frac{1}{2}V_{ч_1}$. Для $m_т = m_ч$ $Z_ч = -1$ при $V_{т_1} = 0$.

2. Для любого отношения масс Y всегда существуют два значения отношения скоростей G, при которых частица не отдает своей энергии телу (условие пассивности).

Для того, чтобы $Z_ч = 0$, необходимо

$$\left\{\frac{V_{т_1}}{V_{ч_1}}(2-2Y)+2Y-1\right\}^2 = 1.$$

Для этого достаточно выполнить условие

$$\frac{V_{т_1}}{V_{ч_1}}(2-2Y)+2Y-1 = \pm\sqrt{1} = \pm 1.$$

В частности, для $m_т \gg m_ч$ $Z_ч = 0$ при $G_1 = \frac{V_{т_1}}{V_{ч_1}} = 0$ и $G_2 = 1$. Для $m_т = m_ч$ $G_1 = 1$ и $G_2 = -1$.

Полученные выводы утверждают, что скорость ускоряемого тела оказывает решающее влияние на ход взаимодействия, изменяя

величину приобретаемой им энергии от нуля (пассивность) до максимальной величины (резонанс). Это открывает возможность для ускорения (или замедления) физических и химических процессов в природе на несколько порядков при неизменной величине подводимой энергии.

Обратим внимание на альтернативный характер достижения условия резонанса. Если телу необходимо получить энергию извне, оно должно двигаться относительно ее с необходимой скоростью. Произойдет принудительный **захват** энергии частицы. Если частице необходимо вкачать энергию в тело, то она, аналогично, должна двигаться относительно тела с необходимой скоростью. Произойдет принудительное **вкачивание** энергии в тело.

Обнаруженное во взаимодействиях любого вида **обязательное присутствие одного резонанса и двух антирезонансов** является важным результатом данной работы.

§ 5. Физические модели

Причиной недостаточного уделения внимания к резонансам в актах взаимодействия тел следует считать недооценку роли физических представлений, природу явлений. Выведенное нами из физической модели динамическое уравнение взаимодействия формально может быть выведено и из условия совместного сохранения энергии и импульса.

Покажем это.

Из закона сохранения импульса следует:

$$m_ч V_{ч_1} + m_т V_{т_1} = m_ч V_{ч_2} + m_т V_{т_2}.$$

Из закона сохранения энергии получаем:

$$\frac{m_ч V_{ч_1}^2}{2} + \frac{m_т V_{т_1}^2}{2} = \frac{m_ч V_{ч_2}^2}{2} + \frac{m_т V_{т_2}^2}{2},$$

или

$$m_ч\left(V_{ч_1}^2 - V_{ч_2}^2\right) = m_т\left(V_{т_2}^2 - V_{т_1}^2\right),$$

откуда

$$m_ч(V_{ч_1} - V_{ч_2})(V_{ч_1} + V_{ч_2}) = m_т(V_{т_2} - V_{т_1})(V_{т_2} + V_{т_1});$$

воспользовавшись данными сохранения импульса, находим

$$V_{ч_1} + V_{ч_2} = V_{т_1} + V_{т_2},$$
$$V_{т_2} = V_{ч_1} + V_{ч_2} - V_{т_1}.$$

Подставив эти выражения в видоизмененный закон сохранения импульса, получим:

$$m_ч(V_{ч_1} - V_{ч_2}) = m_т(V_{ч_1} + V_{ч_2} - V_{т_1} - V_{т_1}),$$

откуда, разрешив относительно $V_{ч_2}$, найдем

$$V_{ч_2} = \frac{(m_ч - m_т)V_{ч_1} + 2m_т V_{т_1}}{m_ч + m_т},$$

$$\frac{V_{ч_2}}{V_{ч_1}} = \frac{m_ч}{m_ч + m_т} - \frac{m_т}{m_ч + m_т} + \frac{V_{т_1}}{V_{ч_1}} \frac{2m_т}{m_ч + m_т}$$

или, обозначив $\frac{m_ч}{m_ч+m_т} = Y$, $\frac{m_т}{m_ч+m_т} = 1 - Y$,

$$\frac{V_{ч_2}}{V_{ч_1}} = Y - (1 - Y) + \frac{V_{т_1}}{V_{ч_1}} 2(1 - Y) = \frac{V_{т_1}}{V_{ч_1}}(2 - 2Y) + 2Y - 1.$$

Так как

$$Z_ч = \frac{E_{ч_2} - E_{ч_1}}{E_{ч_1}} = \frac{V_{ч_2}^2 - V_{ч_1}^2}{V_{ч_1}^2} = \left(\frac{V_{ч_2}}{V_{ч_1}}\right)^2 - 1,$$

то, подставив выражение для $\frac{V_{ч_2}}{V_{ч_1}}$, окончательно получаем

$$Z_ч = \left\{\frac{V_{т_1}}{V_{ч_1}}(2 - 2Y) + 2Y - 1\right\}^2 - 1.$$

Таким образом, уравнение взаимодействия двух тел, выведенное из физической модели, полностью совпадает с формально-математическим уравнением взаимодействия, выведенным из фундаментальных законов сохранения энергии и импульса. Однако здесь видим и ограниченность самого формально-математического подхода. Действительно, чтобы ответить на вопрос — есть ли в акте взаимодействия тел резонанс? — нужно, чтобы вопрос о резонансе возник. А законы сохранения энергии и импульса о резонансе, естественно, ничего не говорят. И тем более из этих законов не может автоматически «вытечь», возникнуть заново кинематическая «конструкция», модель взаимодействия частицы и тела со связкой.

В основе понимания природного явления всегда лежит ясная и непротиворечивая физическая модель этого явления. Модель должна содержать в себе все три сущности явления: перечень действующих элементов, кинематическую связь элементов между собой, энергетические зависимости между элементами. Или, на языке классической физики, должна содержать в себе статику, кинематику и динамику явления. Количественная сторона явления описывается адекватным математическим аппаратом.

Предлагаемая физическая модель взаимодействия, состоящая из частицы, тела и связки, будучи построенной наиболее элементарно, полно отражает акт взаимодействия, независимо от физической сущности частицы, тела и связки. Она отражает принцип взаимодействия двух тел в наиболее общей форме, ибо опирается на универсальные фундаментальные законы сохранения энергии и импульса.

* * *

До сих пор мы рассматривали абстрактную модель взаимодействия в самом общем виде. Но от соотношения массы частицы $m_ч$ и массы тела $m_т$ существенно изменяется характер их взаимодействия. Поэтому рассмотрим раздельно взаимодействие тел при $m_т \gg m_ч$ и при $m_т = m_ч$.

§ 6. Взаимодействие при $m_т \gg m_ч$. Инерция покоя. Равноускоренное движение. Потенциальная энергия

Уравнение взаимодействия

$$Z_ч = \left\{ \frac{V_{т_1}}{V_{ч_1}}(2 - 2Y) + 2Y - 1 \right\}^2 - 1$$

для $m_т \gg m_ч$ будет иметь вид

$$Z_ч = \frac{4V_{т_1}}{V_{ч_1}} \left(\frac{V_{т_1}}{V_{ч_1}} - 1 \right).$$

График функции взаимодействия при $m_т \gg m_ч$ приведен на рис. 6.1.

Из графика видно, что взаимодействие максимально при $V_{т_1} = \frac{1}{2}V_{ч_1}$, при этом происходит резонансное вкачивание энергии в тело. Источник энергии полностью отдает свою энергию телу.

В точках $V_{т_1} = 0$ и $V_{т_1} = V_{ч_1}$, напротив, взаимодействие равно нулю, хотя источник энергии продолжает работать в неизменном режиме. Отсутствие захвата энергии и, следовательно, отсутствие ускорения тела в точке $V_{т_1} = V_{ч_1}$ очевидно: частица не настигает тела и взаимодействие отсутствует. В точке $V_{т_1} = 0$ отсутствие ускорения вызвано другой причиной: здесь частица, не тормозясь, возвращается обратно, $Z_ч = 0$. Отдача энергии телу не происходит. Феноменально это воспринимается как «неподатливость массы силе», как инерция тела. С ростом скорости $V_{т_1}$ создаются условия для лучшего захвата энергии, $Z_ч$ растет, тело все больше ускоряется, инерция постепенно преодолевается. Таким образом, явление

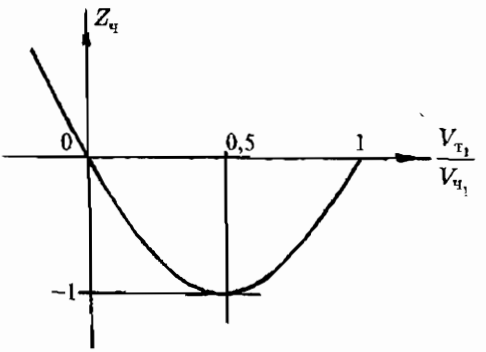

Рис. 6.1

инерции тела вызвано слабым взаимодействием тела с частицей при малых отношениях их скоростей.

Рассматривая взаимодействие при $m_т \gg m_ч$, мы приняли

$$Y = \frac{m_ч}{m_ч + m_т} = 0.$$

Отсюда, в частности, должно бы следовать, что при $V_{т_1} = 0$ $Z_ч = 0$ и «трогание с места» покоящегося тела невозможно. Это неточно. Возведя в квадрат выражение в фигурных скобках уравнения взаимодействия, получим развернутое его выражение:

$$Z_ч = \frac{4V_{т_1}}{V_{ч_1}}\left\{\frac{V_{т_1}}{V_{ч_1}}\left(1 + Y^2 - 2Y\right) + 3Y - 2Y^2 - 1\right\} + 4Y(Y-1).$$

Это выражение можно представить в виде следующих трех членов:

$\frac{4V_{т_1}}{V_{ч_1}}$ — коэффициент захвата энергии Ньютона (§ 14);

$\frac{V_{т_1}}{V_{ч_1}}\left(1 + Y^2 - 2Y\right) + 3Y - 2Y^2 - 1$ — скоростная поправка к коэффициенту Ньютона;

$4Y(Y-1)$ — массовый коэффициент захвата энергии.

Раскрывая значение $Y = \frac{m_ч}{m_ч + m_т}$ и принимая при этом $m_ч + m_т \approx m_т$, получаем развернутое уравнение $Z_ч$ при $m_т \gg m_ч$.

$$(1 + Y^2 - 2Y) = \frac{(m_ч + m_т)^2}{(m_ч + m_т)^2} + \frac{m_ч^2}{(m_ч + m_т)^2} - \frac{2m_ч(m_ч + m_т)}{(m_ч + m_т)^2} =$$

$$= \frac{m_ч^2 + 2m_ч m_т + m_т^2 + m_ч - 2m_ч^2 - 2m_ч m_т}{(m_ч + m_т)^2} \approx \frac{m_т^2}{m_т^2} \approx 1;$$

$$3Y - 2Y^2 - 1 = \frac{3m_ч(m_ч + m_т)}{(m_ч + m_т)^2} - \frac{2m_ч^2}{(m_ч + m_т)^2} - \frac{(m_ч + m_т)^2}{(m_ч + m_т)^2} =$$

$$= \frac{3m_ч^2 + 3m_ч m_т - 2m_ч^2 - m_ч^2 - 2m_ч m_т - m_т^2}{(m_ч + m_т)^2} =$$

$$= \frac{m_т(m_ч - m_т)}{(m_ч + m_т)^2} \approx \frac{-m_т m_т}{m_т^2} \approx -1;$$

$$4Y(Y-1) = \frac{4m_ч}{m_ч + m_т} \cdot \left\{\frac{m_ч}{m_ч + m_т} - \frac{m_ч + m_т}{m_ч + m_т}\right\} =$$

$$= \frac{4m_ч}{m_ч + m_т} \cdot \frac{m_ч - m_ч + m_т}{m_ч + m_т} = -\frac{4m_ч m_т}{(m_ч + m_т)^2}.$$

$$\boxed{Z_ч = \frac{4V_т}{V_ч} \cdot \left\{\frac{V_т}{V_ч} - 1\right\} - \frac{4m_ч m_т}{(m_ч + m_т)^2}.}$$

Начальное ускорение покоящегося тела всегда возможно, ибо независимо от величины $V_{т_1}$, в т. ч. и при $V_{т_1} = 0$,

$$\text{минимальное } Z_ч = -\frac{4m_ч m_т}{(m_ч + m_т)^2}.$$

Отметим, что частицы и тело не взаимодействуют ($Z_ч = 0$) при $\frac{-V_{т_1}}{V_{ч_1}} = \frac{m_ч}{m_т}$. Действительно, при малых скоростях $V_{т_1}$ скоростная поправка пренебрежимо мало отличается от -1, а массовый коэффициент приближенно равен

$$Z_{масс} = -\frac{4m_ч m_т}{(m_ч + m_т)^2} \approx -\frac{4m_ч}{m_т}.$$

Отсюда

$$Z_ч = -\frac{4V_{т_1}}{V_{ч_1}} - \frac{4m_ч}{m_т}.$$

$$Z_ч = 0 \quad \text{при} \quad -\frac{V_{т_1}}{V_{ч_1}} = \frac{m_ч}{m_т}.$$

Обратимся к таблице скоростей тела, ускоряемого «неизменной силой» (см. § 1). В пятой строке приведены величины прироста энергии тела, величины порции энергии, захватываемых телом. Замечаем, что первая порция меньше остальных, она не вписывается в общую закономерность прироста остальных порций. Здесь проявляется рассмотренная закономерность ускорения тела $m_т \gg m_ч$

$$Z_ч = \frac{4V_{т_1}}{V_{ч_1}}\left\{\frac{V_{т_1}}{V_{ч_1}} - 1\right\} - \frac{4m_ч m_т}{(m_ч + m_т)^2}.$$

Величина первой порции энергии обязана только массовому коэффициенту захвата энергии. Величина второй и следующих порций определяются еще и коэффициентом захвата энергии Ньютона. Скоростная поправка при малых $V_{т_1}$ еще пренебрежимо мала.

Эти закономерности представлены графически на рис. 6.2. Здесь $\Delta E'_т$ — энергия, определяемая массовым коэффициентом, а $\Delta E''_т$ — энергия, определяемая коэффициентом Ньютона. Принципы взаимодействия тел верно описывают явление ускорения тел силой тяготения Земли.

При малых $V_{т_1}$ скоростная поправка мала и не проявляется в эксперименте. Но при искусственно созданной большой начальной скорости $V_{т_1}$, возможно обнаружить уменьшение прироста скорости тела, и отсюда экспериментально определить скорость лесажонов $V_{ч_1}$, создающих силу тяготения Земли.

Модель взаимодействия тел при $m_т > m_ч$ раскрывает физическую сущность явления природы «потенциальная энергия тела в поле сил», например, в поле сил тяготения Земли. Считается, что при подъеме

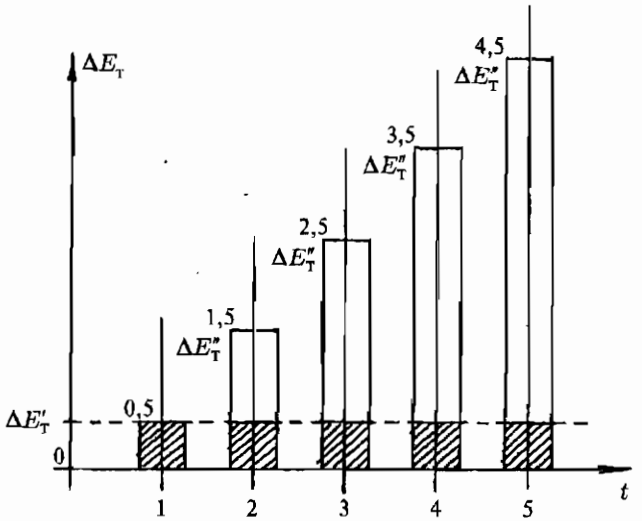

Рис. 6.2

тела на высоту h производится работа против действия сил поля тяготения Земли и тело «запасает» энергию, равную

$$E = mgh.$$

Фактически, тело при его подъеме никакой энергии в себе не запасает. При подъеме тела оно ускоряет вверх частицы (гравитоны или лесажоны), прилетающие сверху вниз и энергия поднимающего тела безвозвратно уходит вовне тела. Но тело при подъеме приобретает возможность ускориться от действия частиц на дистанции h, заново приобрести кинетическую энергию — способность ускорить «внизу» второе тело. И величина этой приобретаемой телом энергии от потока частиц при падении на дистанции h как раз равна величине $E = \frac{mV^2}{2}$. Учитывая, что $V = gt$, $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$, $V = g\sqrt{\frac{2h}{g}}$,

$$E = \frac{m}{2} \cdot \frac{g^2 \cdot 2hg}{g} = mgh.$$

Как видим, здесь поднятое тело выступает только в качестве посредника между ускоряющими частицами и вторым ускоряемым телом.

«Потенциальная энергия», как особый вид энергии в природе не существует. Есть только один вид энергии — кинетическая энергия движущегося тела — способность движущегося тела ускорить второе тело путем своего торможения.

Взаимодействие типа $m_т \gg m_ч$ характерно для явления ускорения тел в «поле сил»: ускорение массивного тела в поле тяготения земли (механика), ускорение электрического заряда в линейном ускорителе (электричество).

§ 7. Взаимодействие тел при $m_т = m_ч$. Принцип суперпозиции. «Волны домино». Температура среды

Уравнение взаимодействия

$$Z_ч = \left\{ \frac{V_{т_1}}{V_{ч_1}}(2 - 2Y) + 2Y - 1 \right\}^2 - 1$$

для

$$m_т = m_ч \quad \left(Y = \frac{m_т}{m_ч + m_т} \approx \frac{1}{2} \right),$$

будет иметь вид

$$Z_ч = \frac{V_{т_1}^2}{V_{ч_1}^2} - 1.$$

График функции взаимодействия при $m_т = m_ч$ приведен на рис. 7.1.

Из графика видно, что взаимодействие типа $m_т = m_ч$ существенно отличается от «ньютоновского» взаимодействия (типа $m_т \gg m_ч$).

Взаимодействие максимально при $V_{т_1} = 0$ (резонанс). Здесь частица резонансно отдает всю свою энергию телу, а сама останавливается.

При появлении у тела первоначальной скорости $V_{т_1}$ взаимодействие ослабляется. При этом безразлично, в каком направлении движется тело: от частицы или навстречу частице. При $+V_{т_1} = V_{ч_1}$ частица не настигает тело, взаимодействие невозможно. При $-V_{т_1} = V_{ч_1}$ частица и тело отражаются друг друга и разлетаются в противоположные стороны, не изменив своих скоростей, следовательно, сохранив свои энергии. Здесь взаимодействие также отсутствует, $Z_ч = 0$.

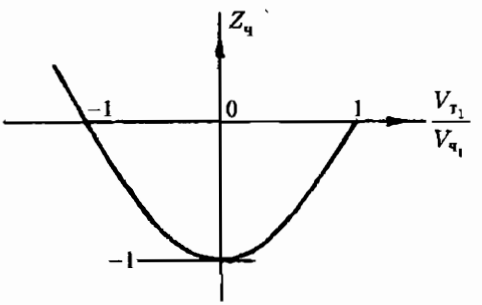

Рис. 7.1

Рассмотрим скорость тела после взаимодействия с частицей. Энергия тела после взаимодействия, очевидно, будет равна энергии тела до взаимодействия плюс захваченная от частицы энергия

$$\frac{mV_{т_2}^2}{2} = \frac{mV_{т_1}^2}{2} + \frac{mV_{ч_1}^2}{2} Z_ч.$$

Коэффициент захвата энергии телом $Z_ч$ выражается через отданную частицей энергию, она величина отрицательная

$$Z_ч = \frac{V_{т_1}^2}{V_{ч_1}^2} - 1.$$

Поэтому захваченная телом энергия от частицы запишется с заменой знака перед $Z_ч$:

$$\Delta E_т = \frac{mV_{ч_1}^2}{2}\left(1 - \frac{V_{т_1}^2}{V_{ч_1}^2}\right).$$

Отсюда

$$\frac{mV_{т_2}^2}{2} = \frac{mV_{т_1}^2}{2} + \frac{mV_{ч_1}^2}{2}\left(1 - \frac{V_{т_1}^2}{V_{ч_1}^2}\right),$$

учитывая, что $m_т = m_ч$, получаем $V_{т_2} = V_{ч_1}$. Скорость тела после взаимодействия с частицей не зависит от того, какую скорость имело тело до взаимодействия.

Скорость тела до взаимодействия с частицей является результатом предшествующего взаимодействия с другой, с предыдущей частицей. Таким образом, новое взаимодействие никак не зависит от результата предыдущего. Эта закономерность взаимодействия тел при $m_т = m_ч$ лежит в основе закона природы — **принципа суперпозиции.**

В типе взаимодействия $m_т \gg m_ч$ тело приобретало максимальную скорость после серии взаимодействий с частицами. Здесь же тело ускоряется за один акт взаимодействия, т. е. здесь нет явления инерции.

Такие энергичные акты взаимодействия тел могут быть многократно повторены, если тел будет больше двух, если будет ансамбль тел, образующих некую среду. В результате в этой среде пробежит «волна» взаимодействий, «волна» возмущения (по принципу домино). Несколько таких возмущений могут распространяться в среде, пересекая пути друг другу, но никак не влияя друг на друга. При этом тела в ансамбле не образуют каких-либо сгущений, уплотнений, потоков, вихрей и иных новообразований из тел, характерных для «настоящих» волн, здесь тела взаимодействуют только попарно. При соударении тел линии, соединяющие их центры масс, ориентированы случайным образом. Поэтому, после столкновения тела разлетаются

по случайным направлениям. Такое возмущение в среде распространяется по хаотичной траектории.

«Волна домино» характерна для теплового движения, это тепловые волны. Квадрат скорости тел образует «температуру» среды.

§ 8. Упругость. Колебание. Инерция движения. Осциллятор

Модель явления природы **упругость** приведена на рис. 8.1. Частица $m_ч$, циркулирующая между двумя «тяжелыми» телами $m_т$ и m_0, представляет собой идеальную «пружину». При сжатии пружины телом $m_т$ дистанция между ними сокращается на величину x, попытки частицы ускорить тело учащаются («давление» на тело растет). В модели выполняется закон Гука.

Идеальной пружине («упругости») приписывается наличие в ней потенциальной энергии. Модель раскрывает физическое содержание этой «потенциальной энергии» — энергия пружины представляет собой кинетическую энергию частицы, циркулирующей между телами со скоростью $V_ч$.

Добавление к модели **упругости** второй подобной частицы и третьего тела превращает ее в модель колебательной системы — **осциллятора** (рис. 8.2). Тело $m_т$, отведенное от среднего положения, будет колебаться, обмениваясь энергией с частицами.

Рассмотрим фазу колебания, когда тело $m_т$ проходит среднее положение со скоростью $V_т$ вправо. Величины коэффициента захвата энергии для этого момента приведены на рис. 8.3. По отношению

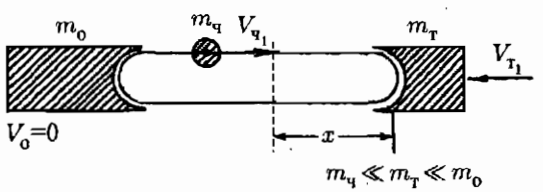

Рис. 8.1

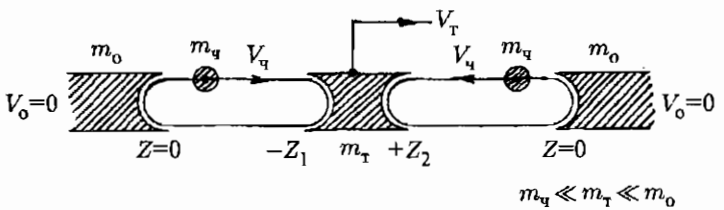

Рис. 8.2

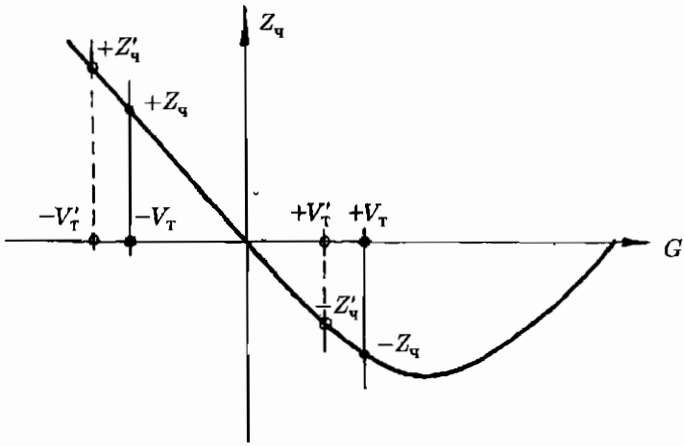

Рис. 8.3

к левой частице скорость тела есть $+V_т$, а по отношению к правой частице есть $-V_т$. В этих условиях левая частица (левая «пружина») продолжает ускорять тело (здесь $-Z_ч$), а правая частица захватывает энергию от тела — правая «пружина» сжимается от энергии тела (здесь $+Z_ч$). Таким образом, хотя тело находится в среднем положении и обе пружины встречно сжаты на одинаковую величину, условия обмена энергией тела с левой и правой пружинами существенно различны. Энергию телу отдает левая пружина, а правая ее от тела потребляет (захватывает). В результате, хотя тело находится между двумя одинаково сжатыми пружинами, тело двигается именно этими пружинами. Феноменально, это явление воспринимается как «инерция движения» тела. Тело двигается как бы само, «по инерции», между двумя одинаково сжатыми пружинами, поскольку силы Гука пружин равны и противоположны по знаку. В этом заключается физическая сущность «таинственного» явления движения тела по инерции — «само собой».

Проследим за развитием условий взаимодействия тела $m_т$ с частицами после прохода телом среднего положения. Здесь тело начинает замедляться (скорость $V_т$ падает), скорость правой частицы увеличивается (правая «пружина» сжимается), скорость левой частицы падает (левая «пружина» разжимается). В этих условиях коэффициент захвата энергии с левой частицей еще более увеличивается и от уже ослабленной частицы тело продолжает захватывать энергию в еще большей мере. Частица же по-прежнему продолжает ускорять тело вправо. А коэффициент захвата энергии с правой частицей, куда свою энергию тело отдает (и тормозится), еще более падает, ибо $V_ч$ растет, а $V_т$ падает. Сопротивление телу от правой пружины еще более падает. В результате, условия для движения тела неуклонно улуч-

шаются и тело продолжает двигаться дальше «по инерции». Лишь при остановке тела и смене направления движения условия захвата энергии меняются на противоположные и тело начинает ускоряться в противоположном направлении.

Движение тела по инерции является составной частью всякого явления колебания тела. Без инерции движения невозможно само «колебание» — **преодоление** телом нулевого положения. Раскрытие физической сущности инерции движения нашими принципами взаимодействия позволяет целенаправленно управлять этим явлением, увеличивая его в автогенераторах или уменьшая в демпферах («гасителях»).

Отметим известное замечательное свойство осциллятора, имеющее важное и теоретическое, и практическое значение. При «большой» скорости тела в среднем положении тело переместится (отклонится) также на «большую» величину. То есть, амплитуда колебания тела может быть произвольной, в зависимости от произвольной скорости тела $V_т$. Но **время** движения до «края» траектории **будет всегда одинаковым. Период** колебания осциллятора не зависит от величины **амплитуды** колебания. Период колебания определяется только величиной массы тела $m_т$ и упругостью «пружины Гука», составленной из частиц $m_ч$, и является «метрикой» осциллятора.

Возвращаясь от осциллятора к модели упругости на рис. 8.1, заметим, что «прогиб» пружины на величину «x» соответствует амплитуде колебания в осцилляторе. Соответственно, и **время «прогиба» пружины есть величина постоянная**, определяемая только ее жесткостью и величиной массы $m_т$, и не зависит от скорости тела $V_т$. Очевидно, что время прогиба равно $1/4$ периода колебания осциллятора.

В модели осциллятора принято, что захват энергии частиц корпусом осциллятора m_0 равен нулю, поскольку $m_0 \gg m_ч$. Практически это условие не выполняется. Для часов это недопустимо, ибо захват энергии маятника корпусом ухудшает точность. Поэтому левая и правая массы m_0 должны быть объединены в один массивный узел и свободно качаться относительно маятника $m_т$, возвращая ему обратно захваченную энергию (часы Ф. М. Федченко).

В заключение отметим, что, заменив частицы-«пружины» на частицы-лесажоны, приходим ко всеобщей модели **инерции движения** тела. Тело, получившее однажды некую скорость движения, будет двигаться дальше «по инерции» — за счет взаимодействия с лесажонами.

Как видим из рис. 8.3, коэффициент захвата энергии ускоряющего лесажона $-Z_ч$ всегда меньше, чем коэффициент тормозящего лесажона $+Z_ч$. В результате тело, движущееся по инерции, постепенно **замедляется, вопреки постулату, принятому в механике Ньютона.** Очевидно, что при малых $\frac{V_т}{V_ч}$ это замедление мало ([$-Z_ч \approx +Z_ч$]). Так-

же очевидно, что тело не может двигаться (оно движется лесажонами) быстрее скорости лесажонов.

§ 9. Главный параметр явления взаимодействия двух тел. Что такое «энергия». Чему равна реальная энергия частицы. Машина механическая и машина тепловая

В предыдущих параграфах мы рассмотрели различные физические явления с позиций принципов взаимодействия двух тел. В анализе явлений неизменно присутствует энергия частицы $E_ч$ и коэффициент захвата энергии частицы $Z_ч$. На первый взгляд роль коэффициента $Z_ч$ представляется скромной — это всего лишь «коэффициент полезного действия» частицы во взаимодействии с телом. На самом деле, физический смысл коэффициента $Z_ч$ гораздо глубже и имеет фундаментальное значение. $Z_ч$ — это основной параметр взаимодействия двух тел. Покажем это.

Принято, что энергия частицы с массой $m_ч$, движущейся со скоростью $V_ч$, определяется выражением

$$E_ч = \frac{m_ч V_ч^2}{2}.$$

Как известно, одно иностранное слово «энергия» заменяет три русских слова: «способность производить работу». Таким образом, фраза «летящее пушечное ядро имеет энергию 1000 кГм» может звучать и по-русски: «летящее пушечное ядро способно произвести работу в 1000 кГм». И ничего более того.

Слово «энергия» (способность произвести работу), естественно, всегда привязано к объекту, имеющему эту способность (здесь — к пушечному ядру). «Энергия» без объекта — физическая бессмыслица (вроде «манны небесной»), широко распространенная среди шарлатанов в науке.

В приведенном выше уравнении для энергии частицы $E_ч = \frac{m_ч V_ч^2}{2}$ присутствуют только параметры частицы. Параметров тела, которое ускоряется частицей, здесь нет. Значит, здесь нет взаимодействия, следовательно, нет работы, и, естественно, нет у частицы и «способности произвести работу». Уравнение $E_ч = \frac{m_ч V_ч^2}{2}$ не характеризует способность частицы произвести работу над телом, не характеризует величину энергии частицы. Это не «уравнение энергии частицы», а абстрактная математическая величина, описывающая частицу $m_ч$, состояние частицы в некотором абстрактном пространстве.

Способность частицы произвести работу может характеризовать только полное уравнение взаимодействия двух тел

$$RE_ч = E_ч \cdot [-Z_ч],$$

где $RE_ч$ — «реальная энергия» частицы, $E_ч$ — «абстрактная (математическая) энергия» частицы (или просто «энергия» частицы), $Z_ч$ — коэффициент захвата энергии частицы.

Таким образом, наличие одной частицы с массой $m_ч$ и со скоростью $V_ч$ вовсе не говорит о безусловной возможности частицы произвести работу над телом $m_ч$.

Разумеется, что варьирование величины $Z_ч$ увеличивает или уменьшает долю захваченной от частицы абстрактной энергии, ее реальную способность произвести работу (реальную энергию). Здесь $Z_ч$ выступает как «КПД частицы».

Но в конкретной ситуации $Z_ч$ может временно оказаться равной нулю, и тогда будет $RE_ч = 0$. У частицы реальная энергия окажется равной нулю, и никакая работа над телом будет невозможна. Этим, как мы видим, объясняется, в частности, инерция покоя тела.

Наконец, и это важно, конкретная модель условия взаимодействия частицы с телом может оказаться такой, что для нее $Z_ч$ сможет быть всегда только равной нулю. Никогда не может стать отличной от нуля.

Складывается, казалось бы, парадоксальная ситуация: абстрактная энергия частицы есть, а ее реальная энергия — способность произвести реальную работу — равна нулю. Таким образом, коэффициент $Z_ч$ — основной параметр взаимодействия — «разрешает» или «запрещает» определенные физические явления в принципе, действует в качестве физического закона.

Выражения для реальной энергии частицы, то есть для ее реальной возможности произвести работу в развернутом виде выглядит так:

$$RE_ч = E_ч \cdot [-Z_ч] = \\ = \frac{m_ч V_ч^2}{2} \cdot \left[\frac{4V_т}{V_ч}\left(1 - \frac{V_т}{V_ч}\right) + \frac{4m_т m_ч}{(m_т + m_ч)^2}\right].$$

Вот сколько нужно учесть и выполнить «условий», для того чтобы «очень понятная» и «ясная» абстрактная энергия $E_ч = \frac{m_ч V_ч^2}{2}$ стала реальной энергией, чтобы частица реально заработала.

Бесчисленные наивные попытки использовать тепловую энергию океанов и тому подобное проистекают от непонимания того, что при определенной организации взаимодействия частицы с телом, где $Z_ч = 0$, неизбежно окажется равной нулю и реальная энергия ($RE_ч = 0$), несмотря на «заманчивую» громадную и дармовую абстрактную энергию $E_ч = \frac{m_ч V_ч^2}{2}$, вполне очевидно не равную нулю.

Попытки уяснить и начать использовать явления природы, видя в них «энергию» в виде $E_ч = \frac{m_ч V_ч^2}{2}$, без учета параметра взаимодействия $Z_ч$, неизбежно бесплодны.

Как будет показано далее, действию основного параметра взаимодействия двух тел $Z_ч$ обязаны своим существованием такие фундаментальные явления природы, как инерция покоя, резонансное взаимодействие, принцип относительности, принцип наименьшего действия, равноускоренное движение, закон ускорения силой тяжести, инерция движения, I и II начала термодинамики.

В заключение, дадим выражения для реальной энергии частицы при $m_ч \ll m_т$ и $m_т = m_ч$.

$$\underline{m_ч \ll m_т}: \quad RE_ч = E_ч \cdot [-Z_ч] = \frac{m_ч V_ч^2}{2} \cdot \left[\frac{4V_т}{V_ч}\left(1 - \frac{V_т}{V_ч}\right) + \frac{4m_т m_ч}{(m_т + m_ч)^2}\right],$$

$$\boxed{RE_ч = 2m_ч V_т (V_ч - V_т) + \frac{2m_т m_ч^2 V_ч^2}{(m_т + m_ч)^2}.}$$

$$\underline{m_ч = m_т}: \quad RE_ч = E_ч \cdot [-Z_ч] = \frac{m_ч V_ч^2}{2} \cdot \left(1 - \frac{V_т^2}{V_ч^2}\right),$$

$$\boxed{RE_ч = \frac{m_ч (V_ч^2 - V_т^2)}{2}.}$$

Заметим, что они существенно отличаются от привычной абстрактной энергии $E_ч = \frac{m_ч V_ч^2}{2}$.

При резонансе в обоих случаях выражение для $RE_ч$ принимает одинаковый вид $RE_ч = \frac{m_ч V_ч^2}{2}$, что тривиально, ибо «исходная» величина абстрактной энергии у них одна и та же и равна $E_ч = \frac{m_ч V_ч^2}{2}$, а $[-Z_ч] = 1$.

Величина $E_ч = \frac{m_ч V_ч^2}{2}$, как мы видели, вовсе не «энергия» — не способность произвести работу. Но в таком виде («названии») она глубоко укоренилась в научной литературе. Поэтому пытаться «развенчивать ее статус», а «энергией» называть вышеприведенные реальные энергии $RE_ч$ вряд ли целесообразно. По-видимому, достаточно принять по умолчанию, что фактической, реальной способностью произвести работу является только реальная («настоящая») энергия $RE_ч$.

Взглянем на главный параметр взаимодействия двух тел $Z_ч$ глазами физика. Видим, что это не просто «коэффициент» полезного действия, а сжатое описание «способа и устройства» преобразования (реализации) абстрактной энергии частицы $E_ч$ в реальную энергию (работу) — описание некой «механической машины». Абстрактная энергия частицы может реализоваться в реальную работу только «внутри» такой машины. Обойтись без нее принципиально

невозможно. Вне машины, без машины «голая» абстрактная энергия частицы не имеет никакого физического смысла.

«Механическая машина» проста (элементарна) и как таковая мало чего добавляет к пониманию явления взаимодействия частицы с телом. Но в теплотехнике (термодинамике) роль «теоретической тепловой машины» — машины также для реализации абстрактной энергии горячей молекулы в реальную работу — для понимания явления существенно важнее.

«Машина Джоуля», «машина Карно» (Отто, Дизеля, Ренкина и т. д.) — все они являются «материализованным» параметром взаимодействия двух тел $Z_ч$, поэтому анализ «тепловых машин» также целесообразно проводить с позиций принципов взаимодействия двух тел.

§ 10. Физические свойства связки. Упругая связка в механике. Связка переменной длины в микромире. Условие Планка. Постоянная Планка. Динамический принцип взаимодействия. Кинематический принцип взаимодействия

До сих пор мы в абстрактной модели взаимодействия двух тел связку между телом и частицей принимали в виде абстрактной невесомой и нерастяжимой нити произвольной, но неизменной длины. Это было оправдано тем, что длина связки никак не влияет на величину энергии, захваченной телом от частицы. В этом процессе (вычислении $Z_ч$) участвуют только $m_т$, $m_ч$, $V_т$, $V_ч$. Время же акта взаимодействия и дистанция взаимодействия, очевидно, прямо зависят и от длины связки. Связка также играет активную роль во взаимодействии тел.

Очевидно, что физическое содержание связки определяется видом той материи, где совершается взаимодействие.

В механике взаимодействие частицы с телом осуществляется посредством некой «упругости». Так взаимодействуют два массивных тела посредством упругого элемента — пружины. Так упруго взаимодействуют молекулы газа. Взаимодействие здесь происходит на прямой линии.

В микромире (электричестве) взаимодействие «гидродинамическое». Так взаимодействуют вихри в жидкости, в газах, в эфире. Взаимодействие здесь происходит между ансамблями тел, объединенных их общим, групповым движением — вихрями. Взаимодействие происходит в объеме среды.

Рассмотрим механическую модель взаимодействия (рис. 10.1). Между массивным неподвижным телом $m_т$ и подвижным телом $m_ч$

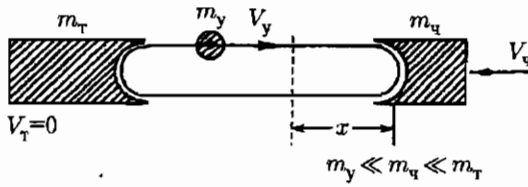

Рис. 10.1

расположена «упругость» (пружина) — «циркулирующая частица упругости» $m_у$, движущаяся со скоростью $V_у$. При нажиме телом $m_ч$ дистанция между $m_ч$ и $m_т$ сокращается на величину x (пружина **прогибается**), следовательно, частота циркуляции $m_у$ увеличивается, от этого увеличивается частота ударов $m_у$ по телу $m_т$ (так же, как и по $m_ч$) — давление («сила упругости») на тело $m_т$ линейно растет: происходит явление сжатия пружины по закону Гука. Сжатая пружина давит на частицу $m_ч$ и ускоряет ее. Торможение тела $m_т$, сжатие пружины, ускорение частицы $m_ч$ происходит, конечно, одновременно, в едином процессе. Так происходит механическое взаимодействие двух тел. Таким образом, в механической модели роль связки играет упругость, пружина.

В приведенном анализе механической модели упругости сделано одно существенное допущение: принято, что скорость тела $m_ч$ пренебрежительно мала по сравнению со скоростью циркулирующей частицы, $V_ч \ll V_у$. Вследствие этого при нажатии телом $m_ч$ высокая скорость частицы $V_у$ нисколько не увеличивается, частица $m_у$ не ускоряется телом $m_ч$. Линейность закона Гука следует именно из этого допущения.

Фактически, при взаимодействии тела $m_ч$ с частицей $m_у$ частица будет также неизбежно ускоряться и, следовательно, будет увеличивать свою скорость. От этого дополнительно увеличится частота ударов частицы $m_у$ по телу $m_ч$. Кроме этого, неизбежно увеличится энергия каждого удара частицы $m_у$ по телу $m_ч$ — пружина неизбежно становится «жестче». Пружина становится тем более жестче, чем быстрее ее сжимают. Это приводит к тому, что величина прогиба «x» пружины тем меньше, чем больше скорость тела $V_т$ и наоборот.

В реальных явлениях взаимодействия тел сжатие пружины по закону Гука характерно для **«чисто механических» устройств**. Здесь принимается, что закон Гука выполняется с высокой степенью точности. В устройствах, где происходит **сжатие газов** (тепловые машины), явление «ужесточения пружины» ярко выражено, и с ним приходится считаться (§ 24).

Перенесем модель «пружинного» взаимодействия рис. 10.1 в абстрактную модель (рис. 10.2). Найдем время взаимодействия двух тел. Во время акта взаимодействия тел частица $m_ч$ движется относительно центра масс по кругу с радиусом R_1 с постоянной окружной

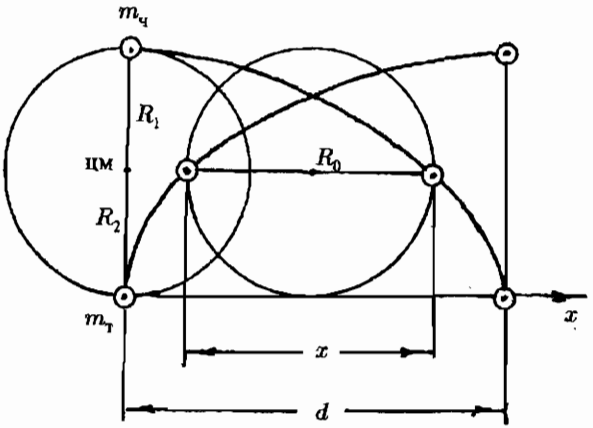

Рис. 10.2

скоростью $V_{оч}$, отсюда

$$t = \frac{\pi R_1}{V_{оч}}.$$

Однако, это уравнение «неверно»: t вовсе не определяется величинами R_1 и $V_{оч}$. Дело в том, что прогиб пружины «x» в модели рис. 10.1, очевидно, есть $^1/_4$ пути движения тела $m_т$ в осцилляторе за один период колебания (§ 8, рис. 8.2). А период колебания осциллятора определяется жесткостью пружины и массой колеблющегося тела, но не $V_{оч}$. Поэтому здесь уместно говорить о длине связки, зависящей от $V_{оч}$ и времени акта взаимодействия, где величина t выступает в качестве константы для этой пары $m_т - m_ч$:

$$R_1 = t \cdot \frac{V_{оч}}{\pi}.$$

В общем случае, для всех соотношений $m_т$ и $m_ч$, время взаимодействия двух тел связано соотношением

$$t = \frac{\pi R_1}{(V_ч - V_т)(1 - \gamma)}.$$

Отметим, что время акта при резонансе одинаково и для типа $m_т = m_ч$ и для типа $m_т \gg m_ч$:

$$t = \frac{2\pi R_1}{V_ч}.$$

Из рис. 10.2 видим, что величина максимального прогиба «x» реальной пружины в рис. 10.1 равна длине связки в абстрактной модели $x = R_0 = R_1 + R_2$.

Также видим, что взаимодействие двух тел происходит на **дистанции взаимодействия** $d = \pi R_0(1-\gamma)$.

Рассмотрим модель взаимодействия в микромире, «электричестве» (рис. 10.2). Здесь связка существенно отличается от «механической связки» — упругой пружины. Это, прежде всего, жесткая, нерастяжимая «нить». Во-вторых, существенно, что, если в механике длина связки R определялась жесткостью пружины, то здесь длина связки каждый раз **формируется заново**, в зависимости от величины скорости ускоряющей частицы $V_ч$ согласно гидродинамическим законам вихрей: $R \equiv \frac{1}{V_{уч}}$. Длина связки обратно пропорциональна скорости частицы.

В «механике» время акта взаимодействия неизменно и зависит от неизменной жесткости пружины k и неизменной массы тела $m_т$. В микромире время акта взаимодействия определяется совершенно по-иному. Время акта пропорционально длине связки. Следовательно, чем больше скорость частицы, тем короче связка и тем кратковременнее время акта взаимодействия.

Энергия частицы определяется скоростью $V_ч$, а время акта взаимодействия определяется длиной связки R_0. Но в модели взаимодействия скорость частицы и длина связки сами жестко связаны функциональным соотношением $R_0 = \frac{1}{V_ч}$. В результате величину энергии частицы $E_ч$ и время акта взаимодействия t оказывается возможным связать единым уравнением. Покажем это.

Из модели рис. 10.2 видим, что при увеличении скорости частицы $V_ч$, например, в два раза, энергия частицы увеличится в четыре раза, длина пути d уменьшится в два раза, и время акта сократится в четыре раза, в результате чего произведение энергии частицы на время акта остается постоянным. Произведение $E_ч t$ является **инвариантом** процесса взаимодействия тел:

$$E_ч t = h = \text{const} \quad \text{(условие Планка)}.$$

Впервые эту зависимость установил Планк, исследуя излучение абсолютно черным телом «тепловой» электромагнитной волны. Обычно ее пишут в форме

$$E = h\nu, \quad \text{где} \quad \nu = \frac{1}{t},$$

откуда $Et = h$. Заметим, что условие Планка является только одним из двух возможных здесь следствий фундаментального соотношения

$$R_0 = \frac{1}{V_ч}.$$

Поэтому с физической точки зрения было бы неверным утверждать, что время акта и длина пути взаимодействия изменяются вследствие **изменения энергии** ускоряющей частицы. Просто изменение энергии частицы **сопровождается** параллельным **изменением времени**

акта и величины пути, из-за укорочения связки. Подчеркнем, что здесь мы рассматриваем не сами закономерности **взаимодействия** тел, а закономерности **образования (формирования) «связки»** в модели взаимодействия тел.

Таким образом, элементы модели взаимодействия тел, в том числе длина связки, связаны уравнением инварианта $E_ч t = h$. Из него находим длину плеча связки R_1. Сначала найдем значение константы h.

В общем случае реальная энергия частицы $m_ч$ равна абстрактной энергии частицы, умноженной на коэффициент захвата энергии частицы, взятый с обратным знаком (см. § 9):

$$RE_ч = E_ч \cdot [-Z_ч] = \frac{m_ч V_ч^2}{2} \cdot \frac{4V_т}{V_ч}\left[\frac{V_т}{V_ч}(1-\gamma^2-2\gamma)+3\gamma-2\gamma^2-1\right]+4\gamma(\gamma-1).$$

Это выражение громоздко и лишено наглядности. Поэтому значения h найдем отдельно для случаев $m_т \gg m_ч$ и $m_т = m_ч$.

$$\underline{m_т \gg m_ч}: \quad RE_ч = \frac{m_ч V_ч^2}{2} \cdot \left[\frac{4V_т}{V_ч}\left(1-\frac{V_т}{V_ч}\right)\right] = 2m_ч V_т(V_ч - V_т).$$

Найдем время взаимодействия тел. Во время акта взаимодействия тел частица двигается относительно центра масс по кругу с радиусом R_1 с постоянной окружной скоростью $V_{оч}$, отсюда

$$t = \frac{\pi R_1}{V_{оч}}.$$

Учитывая, что $V_{оч} = (V_ч - V_т)(1-\gamma)$, находим

$$t = \frac{\pi R_1}{(V_ч - V_т)(1-\gamma)}.$$

Для $m_т \gg m_ч$ время t будет равно: $t = \frac{\pi R_1}{(V_ч - V_т)}$. Таким образом,

$$h = RE_ч \cdot t = 2m_ч V_т(V_ч - V_т)\frac{\pi R_1}{(V_ч - V_т)} = 2\pi R_1 m_ч V_т,$$

$$\boxed{h = 2\pi R_1 m_ч V_т.}$$

$$\underline{m_т = m_ч}: \quad RE_ч = \frac{m_ч V_ч^2}{2} \cdot \left(1-\frac{V_т^2}{V_ч^2}\right) = \frac{m_ч(V_ч^2 - V_т^2)}{2}.$$

Для $m_т = m_ч$ время t будет равно: $t = \frac{2\pi R_1}{(V_ч - V_т)}$. Таким образом,

$$h = RE_ч \cdot t = \pi R_1 m_ч(V_ч + V_т),$$

$$\boxed{h = \pi R_1 m_ч(V_ч + V_т).}$$

Полученные значения h для $m_т \gg m_ч$ и $m_т = m_ч$ естественно отличаются. Однако, из общих физических соображений следует, что при резонансном взаимодействии значения h будут одинаковыми. Действительно, для $m_т \gg m_ч$ при резонансе $V_т = \frac{V_ч}{2}$, поэто-

му $h = \pi R_1 m_ч V_ч$. Для $m_т = m_ч$ при резонансе $V_ч = 0$, поэтому $h = \pi R_1 m_ч V_ч$. Таким образом, константа h для обоих случаев при резонансе равняется одной величине

$$\boxed{h = \pi R_1 m_ч V_ч.}$$

Из значения h находим искомую длину связки R_1.

$$\text{Для } m_т \gg m_ч \quad R_1 = \frac{h}{2\pi m_ч V_т}.$$

$$\text{Для } m_т = m_ч \quad R_1 = \frac{h}{\pi m_ч (V_ч + V_т)}.$$

При резонансе величина R_1 одинакова для обоих случаев и равна:

$$R_1 = \frac{h}{\pi m_ч (V_ч + V_т)}.$$

Выше из условия Планка мы нашли время взаимодействия частицы с телом

$$t = \frac{2\pi R_1}{(V_ч - V_т)(1 - \gamma)}.$$

При резонансе время t оказывается также одинаковым для обоих случаев $m_т \gg m_ч$ и $m_т = m_ч$ и равно

$$\boxed{t = \frac{2h}{m_ч V_ч}.}$$

Величина реальной энергии частицы при $m_т \gg m_ч$ и $m_т = m_ч$ неодинакова и может варьировать в зависимости от величины $Z_ч$. Но при резонансе, поскольку $Z_ч = -1$, в обоих случаях величина реальной энергии всегда будет равна величине

$$RE_ч = E_ч = \frac{m_ч V_ч^2}{2}.$$

Поэтому при резонансе произведение величины реальной энергии частицы на величину времени акта взаимодействия всегда будет равна величине постоянной Планка:

$$\boxed{E_ч t = h.}$$

Чем больше энергия у частицы, тем кратковременнее акт передачи ее телу (**динамический принцип взаимодействия тел**).

Выше мы отметили, что условие Планка $E_ч t = h$ является только одним из двух возможных инвариантов закономерности укорочения связки — инвариантом фундаментального соотношения

$$R_0 = \frac{1}{V_ч}.$$

Вторым инвариантом является выражение $p_ч d = h$, где $p_ч$ — есть импульс частицы, а d — тормозной путь частицы. Покажем это.

Примем для простоты изложения $m_т = m_ч$ и $V_т = 0$. Величина импульса частицы равна

$$p_ч = m_ч V_ч.$$

Величина дистанции взаимодействия — тормозной путь частицы — равна

$$d = \pi R_1.$$

Учитывая, что

$$R_1 = \frac{h}{2\pi m_ч V_{оч}} \quad \text{и} \quad V_{оч} = \frac{V_ч}{2},$$

$$d = \frac{h}{m_ч V_ч}.$$

Отсюда

$$p_ч d = (m_ч V_ч) \cdot \frac{h}{m_ч V_ч} = h,$$

$$\boxed{p_ч d = h.}$$

Чем больше импульс у частицы, тем короче дистанция взаимодействия ее с телом (**кинематический принцип взаимодействия**). Инвариант сохраняется для любых соотношений масс частицы и тела и при $m_т \neq m_ч$ и $V_т \neq 0$.

Разумеется, что оба инварианта $E_ч t = h$ и $p_ч d = h$ являются двумя частными формами (блоками) «настоящего» инварианта закономерности поведения связки переменной длины (или пружины с переменной жесткостью) $h = \pi m_ч R_1 V_ч$. Им воедино связаны параметры всех элементов модели взаимодействия тел. Все параметры модели увязаны с длиной связки одной константой h.

§ 11. Силы в механике. Физическая сущность силы. Сила «ветра» частиц. Сила инерции движения. Сила гравитации. Сила упругости. Дальнодействие. Близкодействие

В принципах раскрыт механизм ускорения одного тела другим. Другими словами, раскрыт механизм силы — механизм причины ускорения тел: тело ускоряется телом. Тем самым реализована декларация современной механики. Понятие силы в принципах взаимодействия двух тел оказалось ненужным, лишним. Однако есть специфические типы кинематик модели взаимодействия двух тел,

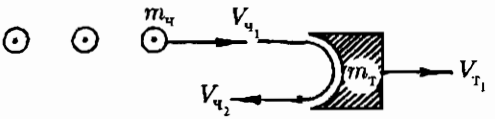

Рис. 11.1

где условно можно говорить о «действии силы», или короче — о «силе». Конечно, «независимого действия силы» на тело быть не может, всегда есть только взаимодействие двух тел. Употребление здесь понятия «сила» — это всего лишь дань общепринятой терминологии классической физики.

Специфика «силового» взаимодействия тел заключается в многократном последовательном воздействии потока неограничено большого количества частиц на одно ускоряемое тело. Природа этих частиц определяется тем видом материи, где совершается процесс взаимодействия тел. В механике это частицы с «механической» массой. В электричестве это частицы с «электромагнитной» массой. Оба типа частиц обладают энергией и импульсом, следовательно, обладают массой, свойственной данной материи. Действующими на тела «частицами» могут быть реальные частицы (например, поток электронов). Ими могут быть и продольные (звуковые) волны, например, в эфире, ответственные за гравитационное притяжение масс. Максвелл показал, что «ни теория оптики, ни электромагнитная теория не могут ни допустить, ни опровергнуть наличие продольных волн в эфире».

Сила «ветра» частиц (рис. 11.1). Поток частиц $m_ч$, излучаемый неким источником энергии, образует «поле силы ветра». Тело $V_т$, находящееся в этом поле сил, ускоряется. Величина ускорения зависит от двух причин. Первая причина —допплеровское изменение частоты воздействия частиц на тело от движения тела (двигаться может, кроме тела, и сам источник, изменяя частоту излучения частиц по закону Допплера для излучателя). При «убегании» тела частота воздействия частиц на тело понижается, уменьшается количество вкачиваемой в тело энергии, и ускорение тела уменьшается. Вторая причина — зависимость величины коэффициента захвата энергии частицы $Z_ч$ телом от скорости тела $V_т$.

Из модели силы ветра следует возможность создания «ветряной мельницы», работающей от потока частиц (машина П. Лукина).

Отметим сходство модели ускорения тела силой Ньютона с моделью ускорения электрического заряда в электрическом поле.

Сила инерции движения (рис. 11.2). Тело $m_т$ находится посреди потоков частиц $m_ч$, действующих на тело с двух противоположных сторон. Тело, движущееся со скоростью $V_{т_1}$, неодинаково взаимодействует с частицами $m_{ч_1}$, приходящими с противоположных

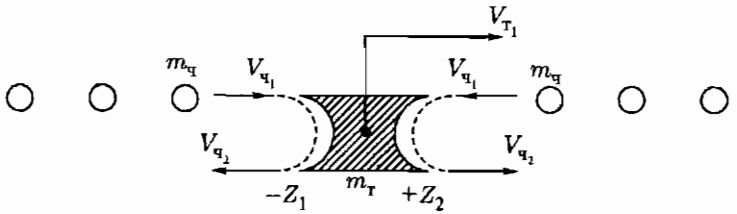

Рис. 11.2

сторон (у них различные коэффициенты захвата энергии: $-Z_ч$ и $+Z_ч$). В результате тело $m_т$ ускоряется только от левых частиц. Полученную от левой частицы $m_ч$ энергию тело тут же отдает правой частице, тем самым не увеличивая (не изменяя) своей начальной скорости $V_{т_1}$. Тело двигается равномерно и прямолинейно «по инерции». Механизм взаимодействия тела $m_т$ с частицами, действующими с двух сторон, рассмотрен в § 8.

Сила гравитации (рис. 11.3). На тело $m_{т_1}$ действуют слева частицы $m_ч$. Частицы $m_ч$, пролетающие справа, экранированы телом $m_{т_2}$, поэтому на тело $m_{т_1}$ не действуют. Аналогичные условия и у тела $m_{т_2}$. В результате «между» телами $m_{т_1}$ и $m_{т_2}$ действует сила гравитации, математически описываемая как

$$F_k = \frac{m_{т_1} m_{т_2}}{R^2}.$$

Отметим полное сходство закона силы гравитации с законом силы Кулона в электричестве.

Сила упругости (рис. 8.1). При движении тела $m_т$ расстояние между телами $m_т$ и m_0 сокращается, отчего частота циркуляции частицы $m_ч$, заключенной между телами, линейно увеличивается. Сила пружины $m_ч$ (упругости) увеличивается. Характер поведения упругости математически описывается законом Гука

$$F = kx.$$

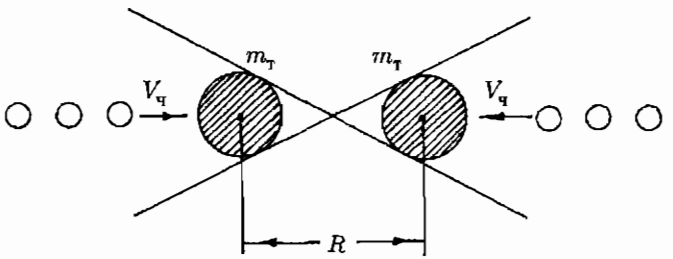

Рис. 11.3

Механизм взаимодействия тел m_0, $m_т$ и частицы $m_ч$ рассмотрен в § 8.

В рассмотренных моделях сил на тела действуют потоки частиц. В моделях силы ветра, силы инерции, силы Кулона, силы гравитации излучатели частиц могут находиться как угодно далеко от тел. Поэтому *эти силы являются* дальнодействующими. Здесь проявляется природа **«дальнодействия»**. В модели силы упругости частицы $m_у$ циркулируют непосредственно между взаимодействующими телами. Тела разделены только «упругостью», которая может принадлежать как одному, так и обоим телам. Здесь проявляется природа **«близкодействия»**.

Однако такое разделение действий частиц на «дальнодействие» и «близкодействие» было бы слишком «очевидным», а потому поверхностным. Между ними есть более глубокое и существенное различие. В дальнодействии отраженные от тела частицы не возвращаются к излучателю частиц. Из-за «большой дальности» частицы рассеиваются, поэтому повторно не участвуют в действии на тело. Поток частиц всецело определяется только излучателем, поэтому стабилен, неизменен.

В близкодействии все частицы возвращаются обратно к излучателю — к телу $m_т$ и активно влияют на величину (интенсивность) самого потока частиц (в излучателе они только дополнительно ускоряются).

Таким образом, в «дальнодействии» величина ускорения тела частицами зависит от скорости самого тела один раз — через величину коэффициента захвата энергии $Z_ч$.

В отличие от этого в «близкодействии» величина ускорения тела от скорости тела зависит дважды: второй раз скорость тела изменяет величину самого потока частиц посредством возвращаемых к излучателю отраженных от тела частиц. Здесь взаимодействие частиц и тела наиболее глубокое (и наиболее далекое от модели Ньютона).

§ 12. Продолжительное ускорение тела. Максимально мощное ускорение. Горка Гюйгенса. Оптико-механические аналогии Гамильтона. Теория оптимального управления

Типичным примером продолжительного ускорения тела является известное равноускоренное движение Ньютона. Оно рассмотрено в § 6. Далее рассмотрим следующий вид продолжительного ускорения, имеющего важное теоретическое и практическое значение.

В равноускоренном движении тело заданную скорость достигает за время t, пройдя путь «разгона» S:

$$V_з = at.$$

Для этого источник энергии производит работу над телом — отдает ему свою энергию, равную $E = A = FS = maS$. Кажется очевидным, что, используя то же количество «выделенной» (ограниченной) энергии, принципиально невозможно выполнить эту работу (ускорить тело до скорости $V_з$) за меньшее время.

Тем не менее, такое необычное (назовем его «максимально мощным») ускорение возможно. Рассмотрим его.

При равноускоренном движении тела неизменной силой резонансное ускорение происходит только в одной точке и только одно мгновение — только при скорости тела $V_т = \frac{1}{2}V_ч$. Отсюда вытекает постановка задачи. Для того, чтобы ускорение происходило более энергично, необходимо условие резонанса искусственно «продлить». Эта задача решаема. Замечаем, что резонансность определяется величиной $Z_ч$, а $Z_ч$ прямо зависит от величины $V_т$, которая, в свою очередь, зависит от величины ускоряющей силы F. Следовательно, если на первой половине дистанции ускорения ускоряющую силу искусственно увеличить «сверх нормы», увеличится сверх нормы $V_т$, от чего увеличится сверх нормы $Z_ч$. Увеличенный $Z_ч$ будет действовать на всей второй половине дистанции. Так как «выделенное» количество энергии на ускорение по условию задачи ограничено и неизменно, на второй половине пути будет действовать сила меньше «нормы». Но увеличенный на первой половине пути $Z_ч$ с лихвой скомпенсирует это уменьшение силы.

Таким образом, искусственно изменяя величину силы, выполняя при этом условие ограничения энергии, возможно увеличивать величину захватываемой энергии источника, то есть искусственно увеличивать ускорение тела. (По сравнению с ускорением от неизменной силы при равноускоренном движении.)

Классическим примером такого ускорения является движение тела («шарика») под действием силы тяжести по циклоидальной наклонной плоскости («горке Гюйгенса»). Рассмотрим ее (рис. 12.1).

В горке Гюйгенса сила тяжести $F_т$ «раскладывается», и на тело действует сила $F_Г = F_т \sin\gamma_ц$, изменяющаяся от величины $F_Г = F_т$ в начале пути до $F_Г = 0$ в конце пути. По сравнению с ней сила, создающая равноускоренное движение по наклонной плоскости, равна $F_н = F_т \sin\gamma_н$ и неизменна. Благодаря переменной кривизне циклоидальной горки, сила $F_Г$ в первой половине горки больше $F_н$ почти в 2 раза, за счет уменьшения ее во второй половине. То есть в горке Гюйгенса выполняется условие для дополнительного увеличения ускорения тела по сравнению с ускорением на неизменной наклонной плоскости (рис. 12.2).

Оценим эффективность ускорения тела на горке Гюйгенса переменной силой.

Путем несложных вычислений находим, что путь, проходимый телом по «кривой» циклоиде, длиннее пути по прямой наклонной

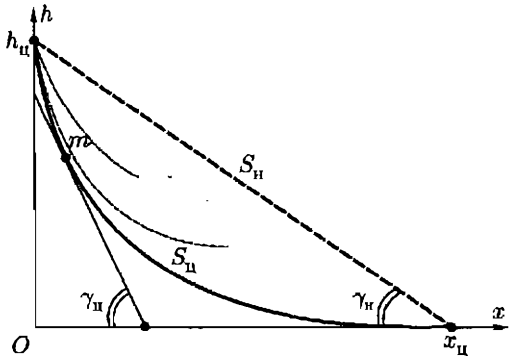

Рис. 12.1

плоскости в 1,07 раза, что потребовало, конечно, дополнительного времени. Время же спуска тела по циклоиде оказалось меньше времени спуска по прямой в 0,845 раза, несмотря на некоторое увеличение пути. Так как в обоих случаях производится одинаковая работа, **мощность** ускорения переменной силой больше в 1,185 раза. Мы получили **максимально мощное ускорение**.

На рис. 12.2 видим, что на тело m, «въезжающее» на горку, действует сила $F_Г$, пропорциональная величине пути по горке $F_Г = kx$, то есть «сила Гука». Действительно, в горке Гюйгенса на тело действует сила Гука. Покажем это.

Как известно, величина скорости тела на горке есть геометрическая сумма скоростей центра образующей окружности $V_ц$ и окружной скорости тела V_0 (рис. 12.3). Она равна

$$V_m = \sqrt{V_ц^2 + V_0^2 + 2V_ц V_0 \cos\alpha}.$$

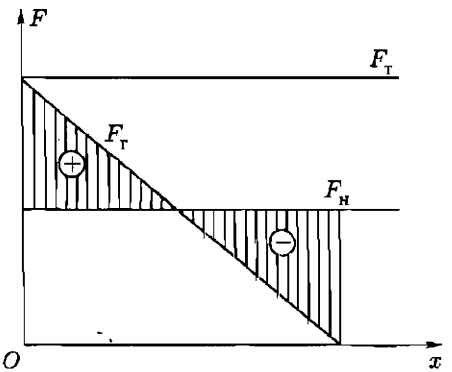

Рис. 12.2

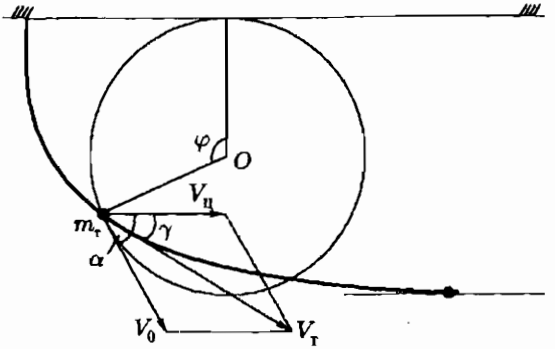

Рис. 12.3

Здесь $V_ц = V_0$, поэтому

$$V_т = \sqrt{2V_ц^2 + 2V_ц^2 \cos\alpha} = \sqrt{2}V_ц\sqrt{1+\cos\alpha}.$$

Учитывая, что $\alpha = 180^\circ - \varphi$, $\cos(180^\circ - \alpha) = -\cos\varphi$ и $1 - \cos\varphi = \sin^2\frac{\varphi}{2}$, находим

$$V_т = \sqrt{2}V_ц \sin\frac{\varphi}{2}.$$

Скорость тела, как известно, направлена по касательной к циклоиде. Поэтому, проинтегрировав величину скорости тела по φ, находим пройденный телом путь x:

$$x = \int_0^\varphi \sqrt{2}V_ц \sin\frac{\varphi}{2}\,d\varphi = x_0 \cos\frac{\varphi}{2}.$$

Сила, действующая на тело, как видели, равна силе тяжести, «разложенной» на касательной к циклоиде $F = F_0 \sin\gamma$ (рис. 12.3). Угол касательной к циклоиде, очевидно, равен

$$\gamma = \frac{\alpha}{2} = 90^\circ - \frac{\varphi}{2}.$$

Замечая, что $\sin(90^\circ - \frac{\varphi}{2}) = \sin 90^\circ \cos\frac{\varphi}{2} - \cos 90^\circ \sin\frac{\varphi}{2}$, получаем $F = F_0 \cos\frac{\varphi}{2}$.

Таким образом, имеем:

$$x = x_0 \cos\frac{\varphi}{2}, \quad F = F_0 \cos\frac{\varphi}{2}.$$

Отсюда $\cos\frac{\varphi}{2} = \frac{x}{x_0}$ и $F = \frac{F_0}{x_0}x$, $F = kx$. В горке Гюйгенса действует сила Гука.

Мы пришли к важному выводу: «секрет» спуска тела по циклоидальной горке Гюйгенса за минимальное время заключается вовсе

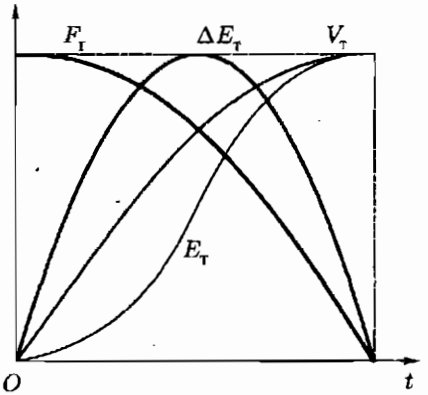

Рис. 12.4

не в **форме траектории** движения тела, а в **переменной силе Гука**. Циклоидальная горка есть всего лишь «техническое средство» для получения силы Гука.

Как известно, пружинный маятник и циклоидальная горка (точнее, две «состыкованные» горки) являются одинаковыми гармоническими осцилляторами. Поэтому в горке процессы протекают так же, как и в синусоидальном маятнике — осцилляторе (рис. 12.4).

Сила Гука изменяется по закону $F_г = 1 \cdot \cos \omega t$. Это «закон Гука во времени».

Скорость тела изменяется по закону

$$V_т = 1 \cdot \sin \omega t.$$

Приращения энергии тела $\Delta E_т$ изменяются по закону

$$\Delta E_т = 1 \cdot \sin 2\omega t.$$

Энергия тела изменяется по закону

$$E_т = V_т \sin^2 \omega t = -\cos 2t.$$

Коэффициент

$$Z_ч = \frac{4V_т}{V_ч}\left(\frac{V_т}{V_ч} - 1\right) \approx \frac{V_т}{V_ч}.$$

Отсюда величина $Z_ч$ изменяется по закону

$$Z_ч = 1 \cdot \sin \omega t.$$

Из сопоставления законов изменения скорости тела на горке и на «прямой» наклонной плоскости ясно видна «технология» уменьшения времени ускорения тела до заданной величины $V_з$ (рис. 12.5).

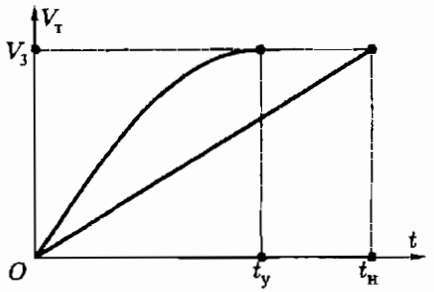

Рис. 12.5

Управлять режимом продолжительного резонансного ускорения (величиной $Z_ч$) возможно не только изменением величины ускоряющей силы с помощью наклонной плоскости с изменением угла наклона по определенной программе, как в горке Гюйгенса. Возможно использовать, например, рычаг Архимеда (рис. 12.6).

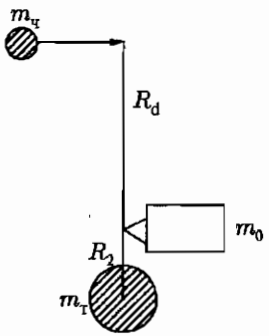

Рис. 12.6

Здесь изменяются величины $m_ч$, $V_ч$ при неизменной силе источника энергии, на тело действуют не сами $m_ч$ и $V_ч$, а «приведенные величины» $m_ч$ и $V_ч$, обеспечивающие максимальное $Z_ч$. Заметим, что в рычаге Архимеда появилось третье тело — m_0.

В заключение рассмотрим еще один способ достижения продолжительного резонансного ускорения, часто встречающегося в практике, особенно в радиотехнике. Можно сказать, что это типично «радиотехнический резонанс».

«Загрузка» тела трением (рис. 12.7)

При ускорении тела неизменной силой в начале пути условие резонанса не выполняется, $V_т < \frac{1}{2} \cdot m_ч$. Резонансное ускорение наступает только в момент $t_р$, здесь $V_т = \frac{1}{2} \cdot m_ч$. Тело, интенсивно ускоряясь, продолжает увеличивать свою скорость и вновь уходит от условия резонанса, $V_т > \frac{1}{2} \cdot m_ч$. Тем не менее, ускорение неуклонно продолжается, хотя и с меньшей величиной. Скорость тела будет *асимптотически приближаться* к скорости частицы $V_ч$, где ускорение тела равно нулю (кривая 1). Так ведет себя тело без трения. **При наличии трения** скорость тела можно **ограничить** на любой величине, в том числе на резонансной скорости $V_т = \frac{1}{2} \cdot m_ч$, устанавливая необходимую величину трения (кривая 2). Так устанавливается, например, резонансный режим при сверлении дрелью, изменяя величину подачи сверла. Мотор дрели не должен перегореть при слишком малых

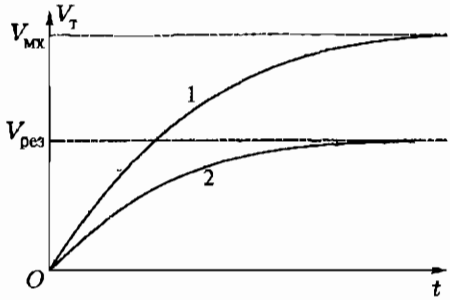

Рис. 12.7

оборотах от сильного нажатия и не должен вхолостую работать при недостаточном нажатии. Другой пример. Авиационные двигатели оптимальны (экономичны) только при строго определенных оборотах вала. Летчик эти обороты «устанавливает» загрузкой двигателя, устанавливая оптимальный шаг воздушного винта. От изменения шага винта изменяется скорость самолета, от чего соответственно изменяется сопротивление воздуха — «трение самолета».

Нетрудно видеть, что в рассмотренном способе достигнутое «резонансное ускорение» весьма условное. Резонанс есть, а ускорения — увеличения скорости — нет. Это «ускорение» без ускорения тела. Поэтому этот способ не универсален, а узкоспецифичен. Интерес представляет реальное, «чистое» ускорение тела силой. В подавляющем большинстве движение тел происходит с минимальным, пренебрежимым трением. А в микромире трения нет вообще.

Особенно ярко представлен этот тип резонанса в радиотехнике, где «трение» — **омическое сопротивление** электрического контура — имеет весьма существенное значение. Благодаря сопротивлению (потери энергии на сопротивлении), амплитуда колебаний **устанавливается** на определенной величине. Говорим «наступил резонанс». Но, как мы видели, резонанс сопровождается (проявляется) **ускорением**, здесь это — непрерывное **увеличение** амплитуды колебаний. Резонансное ускорение — это всегда **переходный процесс** от состояния с «малой» энергией к состоянию с «большой» энергией. В радиотехническом же контуре амплитуда **устанавливается**, резонанс длится якобы «бесконечно». Отсюда пошло совершенно **неверное представление о самой сущности резонанса** — как о процессе **бесконечной** длительности. Или еще шире — как представление о взаимодействии (ускорении тел) **без начала и конца** — «бесконечно», не «порциями» энергии.

Для достижения максимально мощного ускорения необходимо, разумеется, силу изменять по определенной программе, закону. Эта математическая задача решается нахождением максимума

производной функции от функции (функционала) или численным методом (линейным программированием).

Задачу максимально мощного ускорения решали Бернули, Лейбниц, Эйлер, Ньютон, де Лопиталь, ими эта задача ставилась как задача нахождения «хорошей траектории» тела, ускоряемой силой тяжести. На этой основе позднее сформировался принцип наименьшего действия в механике. В наше время задачей максимально мощного действия занимается Понтрягин. Наши принципы позволили перейти от «туманных траекторий» к прозрачной сущности максимально мощного ускорения, **основанной на разумной стратегии использования предоставленной (ограниченной) энергии.** При нашем подходе к задаче отпадает сама необходимость в траекториях и, соответственно, в принципе наименьшего действия.

Принцип наименьшего действия поглощается, в конечном счете, нашими принципами и становится ненужным, как самостоятельное научно-теоретическое построение.

Основы максимально мощного ускорения универсальны и применимы во всех областях естествознания (включая сюда биологию и экономику).

Например, аналогичные задачи **в оптике** (задача Ферма, задачи преломления и отражения света) решаются тем же методом максимально мощного ускорения, ибо **суть этих явлений та же самая.** Именно отсюда следует знаменитое «сходство основных принципов оптики и механики — принципа кратчайшего пути светового луча и принципа наименьшего действия», подмеченное еще Гамильтоном. Если хорошо поискать, то и в преломлении волн света обнаружится своя «сила Гука».

В заключение зададимся вопросом: кому была нужна эта **«разумная»** стратегия использования ограниченной энергии? (Ведь разумная же!) Ответ прост. Во всем «виноват» закон Гука, ибо он и есть **воплощение** этой стратегии. А закон Гука есть проявление сущности «пружины» — **упругости.** Но **наш мир** (исключая атомный мир) как раз весь **построен «на упругости»** (§ 29). И тем самым оказался «разумным».

Принципы взаимодействия двух тел, таким образом, позволили выстроить ясные и продуктивные основы (теорию) **оптимального управления действием (работой) источника энергии.** На его основе стало возможным разрабатывать технические устройства с высокими эксплуатационными свойствами (§ 13).

§ 13. Резонансное ускорение тела с обратной связью. Резонансная следящая система

Очевидно, что полнота продолжительного резонансного ускорения тела зависит от точности соблюдения условия $V_ч = 2V_т$ источ-

ником энергии, непосредственно самим программированным источником или с помощью рычага Архимеда (трансформатора силы). Эта задача в принципе выполнима. Однако возможны случайные, «незапланированные» изменения скорости тела $V_т$. Более того, возможны незапланированные изменения самой величины массы тела $m_т$, изменяющие сам тип продолжительного ускорения тела. В этом случае радикальным решением задачи продолжительного резонансного ускорения тела является введение в процесс ускорения **обратной связи**. Источнику энергии дается информация о текущем значении скорости тела $V_т$ и его массы $m_т$. В результате продолжительное ускорение тела с помощью трансформатора силы будет происходить всегда резонансно при всех произвольных, незапланированных изменениях скорости и массы тела. Система резонансного ускорения с обратной связью приобретает новое качество — **приспосабливаемость к изменяющимся условиям**. Например, электропоезд будет разгоняться от начальной скорости одинаково оптимально и на подъемах, и на уклонах пути.

Если к значениям текущей скорости тела $V_т$ и его массы $m_т$ добавить еще и значение его позиционного положения в пространстве, система ускорения тела становится **следящей системой**. Следящая система при перемещении тела из одной точки в другую сначала должна ускорить тело, а затем тормозить его так, чтобы оно остановилось в заданной точке. Здесь важно отметить, что **процесс торможения тела также должен быть резонансным**. Это резонансный захват энергии тела системой слежения. Другими словами, должен быть **полный возврат энергии** телом системе слежения. Таким образом, видим, что резонансная следящая система перемещает тело из одного положения в другое, в принципе, **без затрат энергии**. (Энергия практически тратится только на трение. Известно, например, что для орудийных башен величина энергии, затрачиваемой на трение, пренебрежимо мала по сравнению с захваченной кинетической энергией самой башни.) Для осуществления такого режима работы следящей системе в ее составе должен быть **реверсивный источник энергии** — электрический (химический) аккумулятор, ротор, сжатый воздух. Структура такой резонансной следящей системы **универсальна** и одинакова для всех мыслимых случаев применения.

Перемещение тела от одной точки к другой есть **переходный процесс**. Переходный процесс здесь резонансный, то есть, протекает строго по определенному — **резонансному закону**. То есть, здесь сам переходный процесс управляемый, параметры следящей системы перестраиваются «на ходу», система сугубо **нелинейная**. Отсюда автоматически следуют **максимально возможные динамические характеристики** резонансной следящей системы.

В качестве примера рассмотрим динамические характеристики следящей системы, построенной на основе использования следящего

источника энергии («горки Гюйгенса», § 12). Отработка сигнала ошибки включает в себя два процесса: **разгон** массы тела системы за минимальное время и **торможение** системы также за минимальное время. Поэтому, динамический процесс отработки сигнала ошибки оказывается просто «составленным» из двух одинаковых, но противоположных по знаку процессов продолжительного резонансного ускорения тела (рис. 13.1).

Обращает внимание «некрасивая» форма силы F: положительный «тычок», плавно спадающий к середине процесса, и плавное нарастание отрицательной силы, заканчивающейся также «скачком» до нуля. Но именно эти две «угловатые» **силы Гука** обеспечивают (делают) идеальным переходный процесс: скорость движения системы $V_т$ изменяется по **гармоническому закону** синуса, нет никакого **перерегулирования** ($E_т$ в конце процесса равна нулю), сигнал ошибки x также убывает по **гармоническому закону** синуса. И все это происходит за **предельно минимальное время**. Расход энергии следящей системы для устранения сигнала ошибки здесь, в принципе, равен нулю.

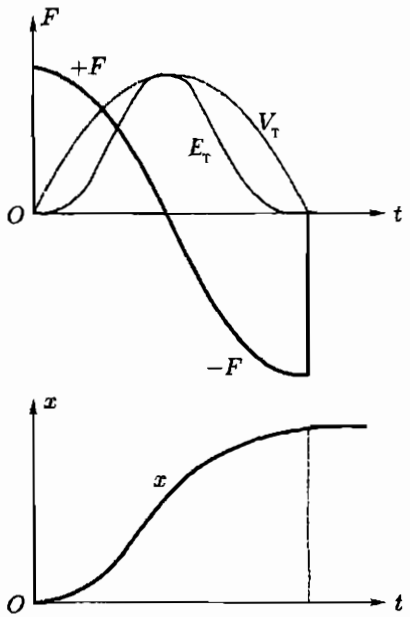

Рис. 13.1

Это позволяет утверждать, что **наши принципы взаимодействия двух тел позволили решить задачу оптимального управления исчерпывающе.**

В заключение отметим любопытный факт. С появлением совершенных (цифровых) авиационных тренажеров оказалось возможным исследовать «стиль» управления самолетом военных летчиков. Обнаружилось, что опытные (высококвалифицированные) летчики «неправильно» двигают ручкой — **не плавно, а «тычками»**.

Никаких разумных доводов в защиту своих действий они привести не смогли. Но и теоретики по управлению самолетами не могут примириться с их «тычками» по ручке. Рисунок 12.1 разрешает эту «загадку»: летчики опытным путем нашли и используют «некрасивую», но **правильную силу Гука** для наибыстрейшего («мгновенного») изменения положения боевого самолета в пространстве, жизненно необходимого в воздушном бою.

§ 14. Принципы взаимодействия тел

Полученные в предыдущих параграфах результаты сжато изложим в виде следующих принципов.

Принцип первый. Взаимодействие тела (обмен энергией и импульсом) возможно только с другим материальным телом (безличных «силовых полей» в природе не существует).

Принцип второй. Взаимодействие двух тел приводит к ускорению одного тела за счет торможения другого тела («сила» — это действие ускоряющего тела.

Принцип третий. Величина взаимодействия двух тел определяется только отношениями их масс и скоростей (математические основы взаимодействия двух тел).

Принцип четвертый. Для любого отношения масс тел всегда существует одна величина отношения скоростей тел, при которой одно тело полностью передает свою энергию другому телу (условие резонанса).

Принцип пятый. Для любого отношения масс тел всегда существуют два отношения скоростей тел, при которых тела не обмениваются энергией (явление инерции тела).

Принцип шестой. Взаимодействия двух тел всегда имеет начало и конец, оно дискретно и происходит путем обмена только определенной порцией энергии (в природе обмен энергией происходит всегда только «квантами»).

Принцип седьмой. В мире механики время взаимодействия двух тел не зависит от величины энергии ускоряющего тела, оно минимально и неизменно (условие Гука).

Принцип восьмой. В атомном мире время взаимодействия двух тел тем кратковременнее, чем больше энергии у ускоряющего тела (условие Планка).

Принцип девятый. Преднамеренный захват энергии одного тела другим телом возможен только при знании отношения скоростей и масс обоих тел (необходимость информации в живом мире для существования).

На этом заканчивается изложение собственно самих Принципов взаимодействия двух тел. Мы рассмотрели абстрактные модели взаимодействия при различном отношении их масс и нашли **особые случаи их взаимодействия — резонансные взаимодействия.** Нашли закономерности времени и дистанции взаимодействия тел. Найденные на абстрактной модели закономерности одинаково распространяются на все виды взаимодействия в реальном мире — в мире механики и в мире электричества.

§ 15. Принципы взаимодействия тел и механика Ньютона. Новая механика

Механика Ньютона не точна. В частности, из уравнения равноускоренного движения тела $V_т = at$ следует, что тело в состоянии получить бесконечно большую скорость. Такая «дурная» бесконечность противоречит опыту.

Рассмотрим, в чем законы ускорения тел Ньютона отклоняются от точных принципов взаимодействия тел. На рис. 15.1 касательная к функции взаимодействия, проведенная через точку $Z_ч = 0$, отражает закон ньютоновского «равноускоренного» движения тела $m_т \gg m_ч$. После каждого акта взаимодействия с очередной частицей тело приобретает очередную порцию энергию, значит, приобретает дополнительную скорость. Увеличение скорости тела $V_т$, как видно из графика, ведет к увеличению захватываемой порции энергии и т. д. — тело ускоряется до бесконечности.

Эту закономерность отражает множитель $\frac{(4V_т)}{V_ч}$ в правой части уравнения взаимодействия тел $m_т \gg m_ч$:

$$Z_ч = \frac{4V_т}{V_ч} \cdot \left\{ \frac{V_т}{V_ч} - 1 \right\}.$$

По Ньютону, уравнение взаимодействия тел должно бы выглядеть как

$$Z_{ньютона} = \frac{4V_т}{V_ч}.$$

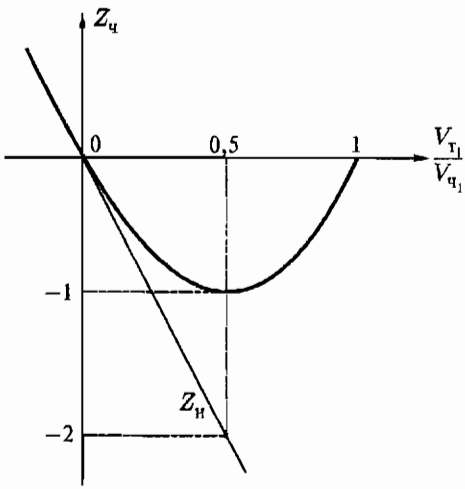

Рис. 15.1

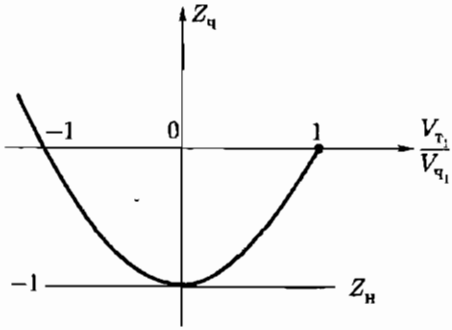

Рис. 15.2

Однако в реальном взаимодействии захват энергии неограниченно не растет. Об этом говорит второй сомножитель $\left(\frac{V_т}{V_ч} - 1\right)$, являющийся скоростной поправкой к закону Ньютона равноускоренного движения. При достижении $V_т = V_ч$ сомножитель равен нулю, тело перестает ускоряться.

Следовательно, тело реально сначала двигается равноускоренно по теории Ньютона, затем резонансно ускоряется согласно предлагаемым принципам и под конец перестает ускоряться согласно скоростной поправке.

На рис. 15.2, аналогично первому случаю, касательная к функции взаимодействия отражает ускорение тела $m_т = m_ч$. Здесь тело, по Ньютону, одинаково ускоряется при всех $V_т$. Уравнение взаимодействия здесь может быть представлено как

$$Z_ч = 1 \cdot \left\{\frac{V_т^2}{V_ч^2} - 1\right\},$$

где $Z_{ньютона} = 1$, а сомножитель $\left\{\frac{V_т^2}{V_ч^2} - 1\right\}$ является скоростной поправкой к закону Ньютона. При $V_т = 0$ ускорение тела максимально, при $\pm V_т = 1$ ускорение равно нулю.

Таким образом, неточность механики Ньютона заключается в допущении независимости величины силы от скорости тела, ускоряемого этой силой. Фактически величина силы «ветра» (потока) частиц $F_в$ непосредственно зависит от скорости ускоряемого ею тела. Сила проявляет себя в виде ускорения тела (§ 11). Проанализируем зависимость величины ускорения тела от величины скорости ускоряемого тела. Используя принципы взаимодействия тел, определим математическую зависимость между приобретенной телом энергией и его ускорением. Сама суть задачи прозрачна. Захват энергии частицы телом — это, другими словами, ускорение тела. Максимальный захват энергии — максимальное ускорение. Меньше захватывается энергия — меньше ускорение. Нет захвата энергии — нет ускорения.

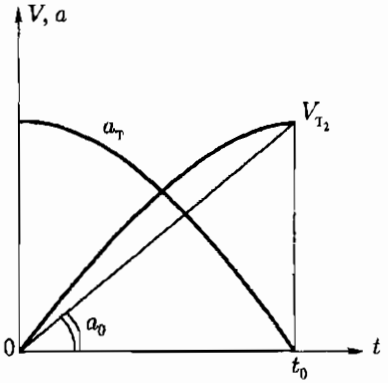

Рис. 15.3

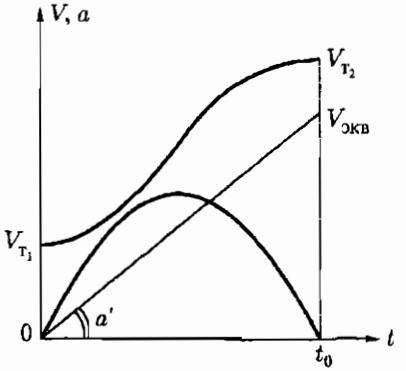

Рис. 15.4

Эту зависимость мы будем искать сначала для случая упругого соударения двух тел равной массы, $m_т = m_ч$, при встречном движении. Для $m_т = m_ч$ величина $V_{т_2}$ всегда равна $V_{ч_1}$, независимо от величины $V_{т_1}$ (§ 7). Тогда величина захваченной телом энергии будет равна

$$\Delta E_{т_0} = \frac{mV_ч^2}{2} \qquad \text{для} \quad V_{т_1} = 0$$

и

$$\Delta E'_т = m \cdot \frac{V_ч^2 - V_т^2}{2} \quad \text{для} \quad V_{т_1} \neq 0.$$

В обоих случаях тело ускоряется не равноускоренно, а ускоряется, двигаясь по циклоиде и трохоиде соответственно (рис. 15.3 и 15.4).

Для возможности сопоставления величин ускорений при $V_т = 0$ и $V_т \neq 0$ заменим их на равноускоренные, сохранив величины эквивалентных энергий тел. Время ускорения t берем произвольным, но одинаковым.

$$\Delta E_{т_0} = \frac{mV_ч^2}{2}, \quad \Delta E'_т = \frac{mV_{экв}^2}{2},$$

где

$$V_{экв} = \sqrt{V_ч^2 - V_т^2}.$$

Величины ускорений тела

$$a_0 = \frac{V_ч}{t}, \quad a' = \frac{V_{экв}}{t} = \frac{\sqrt{V_ч^2 - V_т^2}}{t}.$$

Отношение ускорений тела

$$\frac{a'}{a_0} = \frac{\sqrt{V_ч^2 - V_т^2}}{V_ч}.$$

Так как $F = ma$, $\frac{a'}{a_0} = \frac{F}{F_н} = \frac{\sqrt{V_ч^2 - V_т^2}}{V_ч^2}$,

$$F = F_н \cdot \sqrt{1 - \frac{V_т^2}{V_ч^2}},$$

где F — точная переменная сила «ветра» частиц, из наших принципов; $F_н$ — *приближенная «неизменная»* сила Ньютона. Это уравнение возможно использовать для корректировки величины силы Ньютона при больших скоростях тела для случая $m_т = m_ч$.

Рассмотрим, далее, ускоряющую силу для случая $m_т \gg m_ч$. Сразу отметим существенное различие в процессах ускорения тел при $m_т = m_ч$ и $m_т \gg m_ч$. В случае $m_т = m_ч$ ускорение тела происходит «внутри» одного-единственного цикла взаимодействия, там оно начинается и там же завершается. В случае $m_т \gg m_ч$ ускорение тела происходит в процессе серии циклов взаимодействия. Тело ускоряется постепенно и «долго» (§ 10, «Сила ветра»).

Для случая $m_т \gg m_ч$ выражение для $F_в$ более сложно. В новой механике сила «материализована» — это «ветер» (поток) частиц $m_ч$ со скоростью $V_ч$, излучающийся источником энергии с частотой f и взаимодействующий с телом $m_т$ по принципам взаимодействия двух тел. Поэтому в основном уравнении механики $a_т = \frac{F}{m_т}$ должны быть воедино связаны параметры всех «участников» взаимодействия. Описание «силы», согласно принципам взаимодействия, существенно глубже, информативнее, и, следовательно, существенно «работоспособнее». Ускорение $a_т$ — это прирост скорости тела в интервале времени между двумя смежными актами взаимодействия тела с частицей:

$$a_т = \frac{V_{т_2} - V_{т_1}}{t}.$$

Здесь $V_{т_1}$ — любая первая скорость, «начальная». После взаимодействия тела с частицей тело имеет энергию

$$E_{т_2} = E_{т_1} + E_ч(-Z), \quad \frac{m_т V_{т_2}^2}{2} = \frac{m_т V_{т_1}^2}{2} + \frac{m_ч V_ч^2(-Z)}{2},$$

где $E_ч$ — энергия частицы.

Таким образом,

$$V_{т_2} = \sqrt{\frac{m_т V_{т_1}^2 + m_ч V_ч^2(-Z)}{m_т}},$$

отсюда

$$a_т = \frac{\sqrt{V_{т_1}^2 + \frac{m_ч V_ч^2(-Z)}{m_т}} - V_{т_1}}{t} \cdot \left(\frac{V_ч - V_т}{V_ч}\right),$$

где $\left(\frac{V_ч - V_т}{V_ч}\right)$ есть допплеровское изменение частоты «приема» телом частиц $m_ч$, «настигающих» тело, а сама частота $f = \frac{1}{t}$. (Приняли, что период излучения частиц t больше времени акта взаимодействия.) Поскольку $F = ma$, окончательно получаем для случая $m_т \gg m_ч$

$$F_в = m_т \frac{\sqrt{V_{т_1}^2 + \frac{m_ч}{m_т} V_ч^2(-Z)} - V_{т_1}}{t} \cdot \frac{V_ч - V_{т_1}}{V_ч}, \quad \text{где}$$

$$-Z_ч = \frac{4V_{т_1}}{V_ч}\left(1 - \frac{V_{т_1}}{V_ч}\right) + \frac{4m_ч m_т}{(m_т + m_ч)^2}.$$

Остановимся на роли коэффициента захвата энергии частицы $Z_ч$. Он определяет величину захваченной телом энергии частицы $\Delta E_т = E_ч \cdot Z_ч$. Замечаем, однако, что величина $\Delta E_т$ зависит от той величины $Z_ч$, которая образовалась (сформировалась) в результате предшествующего взаимодействия тела с частицей:

$$\Delta E_{т_n} = E_ч \cdot Z_{n-1}.$$

«Самой предшествующей» $Z_ч$, очевидно, является Z_0 при $V_т = 0$, и где $Z_0 = \frac{4m_т \cdot m_ч}{(m_т + m_ч)^2}$. Роль этого, казалось бы, «довеска» в $Z_ч$, однако, весьма существенна. Именно поэтому мы не стали ее округлять (то есть искажать) на «законном» основании ($m_ч \ll m_т$) до величины $Z_0 \approx \frac{4m_ч}{m_т}$. В процессе первого цикла ускорения тело от Z_0 приобретает первую скорость $V_{т_1}$, что тривиально. Нетривиально то, что эта $V_{т_1}$ затем заново образует первый «полноценный» коэффициент захвата энергии

$$Z_1 = \frac{4V_{т_1}}{V_ч}\left(1 - \frac{V_{т_1}}{V_ч}\right) + \frac{4m_т \cdot m_ч}{(m_т + m_ч)^2}$$

для ускорения тела в следующем цикле. Далее величины $V_т$ в Z_2 наращиваются, но все они являются только следствием самой первой $V_{т_1}$. Таким образом, именно $Z_0 = \frac{4m_т \cdot m_ч}{(m_т + m_ч)^2}$ изначально определяет (задает) величину ускорения тела.

Закономерности механики, например, равноускоренного движения, Ньютон нашел из эксперимента. Это чисто математическая обработка результатов экспериментов. Принципы взаимодействия двух тел позволяют выстроить закон упомянутого равноускоренного движения чисто «из теории». Покажем это.

Упростим уравнения: уберем из них скоростную поправку $1 - \frac{V_{т_1}}{V_ч}$ и допплеровскую поправку $\frac{V_ч - V_{т_1}}{V_ч}$. Подставив в упрощенные уравнения параметры взаимодействующих тел, например, $m_ч = 1$, $m_т = 10\,000$, $V_ч = 100$, $f_ч = 1$, получим ряд линейно возрастающих скоростей тела $V_{т_2н}$: 0,02; 0,04; 0,06; 0,08 и т. д. (рис. 15.5).

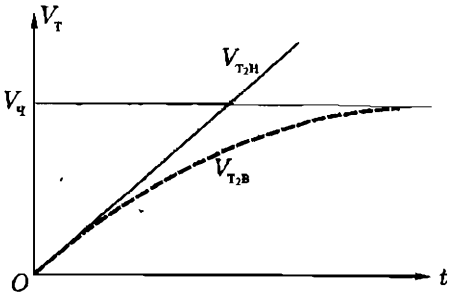

Рис. 15.5

Это есть закон равноускоренного движения Ньютона. Здесь

$$a_т = \frac{\Delta V_т}{t} = \frac{0{,}02}{1} = \text{const}$$

и, соответственно,

$$F_{\text{ньютона}} = m_т a_т = 200 = \text{const}.$$

Мы получили («вывели») его из принципов взаимодействия. Видим, что закон Ньютона есть упрощенная модель ускорения тела «ветром» частиц.

При тех же значениях параметров тела и частиц полные уравнения дают тоже ряд растущих скоростей тела $V_{т_2в}$. Но прирост скорости уменьшается линейно до нуля, и $V_т$ не может превысить $V_ч$ (рис. 15.5).

Здесь ускорение тела $a_т$ линейно уменьшается до нуля по закону $\frac{V_ч - V_т}{V_ч}$. Покажем это. По уравнению $a_т$ вычислим ускорение тела в диапазоне скоростей $V_т$ от 0 до $V_ч$. Выберем скорости $V_т$, где будем вычислять ускорения: $V_{т_0} = 0$, $V_{т_{25}} = 0{,}25V_ч = 25$, $V_{т_{50}} = 0{,}5V_ч = 50$, $V_{т_{75}} = 0{,}75V_ч = 75$, $V_{т_{100}} = V_ч = 100$. Для вычисления величин ускорения, естественно, необходимы смежные величины скоростей тела: $V_{т_1}$, $V_{т_{26}}$, $V_{т_{51}}$, $V_{т_{76}}$, $V_{т_{101}}$. Вычисления дают

$$\begin{array}{lll}
V_{т_1} = 0{,}02 & V_{т_0} = 0 & a_0 = 0{,}02, \\
V_{т_{26}} = 25{,}015 & V_{т_{25}} = 25 & a_{25} = 0{,}015, \\
V_{т_{51}} = 50{,}01 & V_{т_{50}} = 50 & a_{50} = 0{,}01, \\
V_{т_{76}} = 75{,}005 & V_{т_{75}} = 75 & a_{75} = 0{,}005, \\
V_{т_{101}} \approx 100 & V_{т_{100}} = 100 & a_{100} = 0.
\end{array}$$

Видим, что ускорение $a_т$ линейно уменьшается от a_0 до 0. Поскольку $F = ma$, ускоряющая переменная сила также линейно уменьшается до нуля при $V_т = V_ч$ (рис. 15.6).

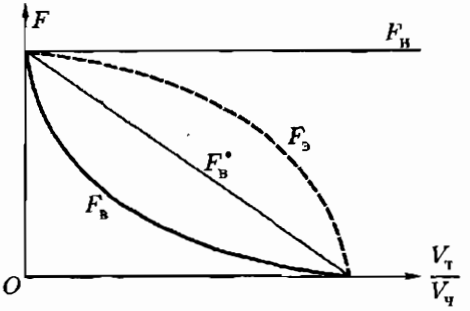

Рис. 15.6

С учетом допплеровского изменения частоты $f_ч$, сила $F_{ньютона}$ и сила $F_в$ для $m_т \gg m_ч$ оказываются связанными соотношением

$$\boxed{F_в = F_{ньютона}\left(\frac{V_ч - V_{т_1}}{V_ч}\right)^2.}$$

Его возможно использовать для **корректировки величины силы Ньютона при больших скоростях тела**. Корректировка возможна, конечно, только в узком интервале $V_т$, где возможно условно принять $F_н \simeq \text{const}$.

Сейчас для корректировки силы при больших скоростях тела используется поправка Эйнштейна (рис. 15.6):

$$F_э = F_{ньютона} \cdot \sqrt{1 - \frac{V_т^2}{V_ч^2}}, \quad \text{обычно в виде} \quad m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{V_т^2}{V_ч^2}}} \quad \text{(см. § 19).}$$

Выше мы показали, что она справедлива только для случая $m_т = m_ч$, и поэтому совершенно неверна для случая $m_т \gg m_ч$.

Мы пришли, таким образом, к важному выводу: поправка Эйнштейна к закону ускорения Ньютона неверна, и ее следует заменить предлагаемой нами поправкой.

Очевидно, что концепция переменной силы имеет в физике принципиальное значение и ведет к увеличению ее познавательной ценности. В частности, объяснение явления резонансного воздействия (резонанс) и объяснение неразличимости явлений в относительно движущихся инерциальных системах отсчета (относительность) обязаны именно **переменной силе**. Естественно, что для механики Ньютона с ее неизменной силой раскрытие сущности этих явлений принципиально недоступно. Новая механика, с ее переменной силой, эти явления раскрывает строго, наглядно, в сущности, рутинно, без привлечения революционных теорий, в рамках понятий обычной классической физики.

§ 16. Принципы взаимодействия тел и принцип относительности Галилея

Принцип Галилея несомненно является одним из самых таинственных и неразгаданных явлений природы. Утверждение, что во всех подвижных инерциальных системах механические явления протекают одинаково, противоречит здравому смыслу. Но и никакого объяснения этому до сих пор не было. К качестве «объяснения» обычно ссылаются на специальную теорию относительности Эйнштейна. Но она ничего не объясняет. Она просто декларирует, что «так и должно быть». Поэтому это «объяснение» по сути стало запретом даже думать о физике явления относительности.

Наши принципы взаимодействия тел раскрывают физическую сущность принципа Галилея как рядового явления, ничем не примечательного и не таинственного. Покажем это.

Закономерности явления взаимодействия двух тел мы определили, рассматривая явление в некоторой системе отсчета. В этой системе отсчета скорости $V_ч$ и $V_т$ определяются относительно некоторой неподвижной точки отсчета скоростей.

Энергия тела — это способность тела произвести работу над некоторым вторым телом. Поэтому в системе отсчета должна быть и некоторая неподвижная «масса отсчета». Именно относительно ее определены величины энергий частицы $E_{ч_1}$ и $E_{ч_2}$, $E_{т_1}$ и $E_{т_2}$, — до их взаимодействия и после взаимодействия. Без наличия «масса отсчета» операции над энергиями тел лишены физического смысла.

Существует обычная, ничем не примечательная физическая задача, где система отсчета со своими $m_ч$ и $m_т$ сама двигается относительно другой — «абсолютной» системы отсчета с относительной скоростью V_s (рис. 16.1). Величины скоростей частицы $V_ч$ и тела $V_т$ в новой, «абсолютной системе» отсчета определяется простым алгебраическим сложением скоростей частицы и тела в «своей» системе отсчета со скоростью самой системы в «абсолютной» системе отсчета

$$V'_{ч_1} = V_{ч_1} + V_s, \quad V'_{т_1} = V_{т_1} + V_s.$$

В новой системе, естественно, должна быть и своя новая «масса отсчета». Относительно нее и определяются новые значения величин

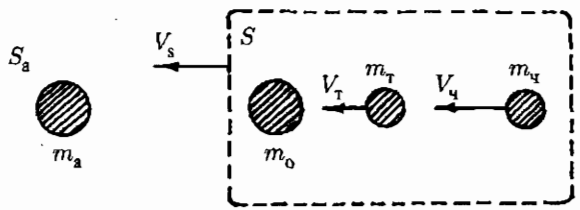

Рис. 16.1

энергий частицы и тела

$$E'_ч = \frac{m_ч(V_{ч_1} + V_s)^2}{2}, \quad E'_т = \frac{m_т(V_{т_1} + V_s)^2}{2}.$$

Пересчет скоростей и энергий частицы и тела, здесь, в сущности, тривиален. Не тривиальным является то, что пересчитать необходимо и сам процесс взаимодействия частицы с телом. В новой системе отсчета изменяется величина захваченной телом энергии. Частица и тело, с «точки зрения» новой массы отсчета, обмениваются энергией иначе, чем в «своей» системе, $Z'_ч \neq Z_ч$. В этом изменении $Z_ч$ и заключается главная и «неожиданная» сущность явления взаимодействия тел в подвижной системе отсчета.

Таким образом, новая подвижная система — это вовсе не бестелесная картонка с нарисованными на ней координатными осями X, Y, Z. Сами по себе координаты не в состоянии изменить энергетические изменения во взаимодействии тел. В новой подвижной системе отсчета совершенно необходима и новая масса отсчета. Именно относительно ее заново пересчитываются все величины энергий тел в системе и величины их взаимодействий.

Изменение $Z_ч$ в сочетании с изменением величин энергий частицы и тела приводит к тому, что во всех подвижных инерциальных системах отсчета механические явления протекают одинаково. Эта закономерность природы и является содержанием **принципа относительности Галилея.**

Рассматривая этот закон физики с позиций принципов взаимодействия, замечаем, что он сводится к следующему утверждению:

от присоединения к скоростям $V_{ч_1}$ и $V_{т_1}$ произвольной скорости V_s результат взаимодействия не изменяется, т. е. значение скоростей $V_{ч_2}$ и $V_{т_2}$ сохраняется.

Таким образом, если $V_{ч_1}$ и $V_{т_1}$ при $V_s = 0$ дают $V_{ч_2}$ и $V_{т_2}$, то при $V_s \neq 0$ скорости $V_{ч_1} + V_s$ и $V_{т_1} + V_s$ дадут $V_{ч_2} + V_s$ и $V_{т_2} + V_s$. Вычтя из $V_{ч_1} + V_s$, $V_{т_1} + V_s$, $V_{ч_2} + V_s$, $V_{т_2} + V_s$ скорость V_s (все измерения ведем относительно движущейся со скоростью V_s системы отсчета), получим те же $V_{ч_1}, V_{т_1}, V_{ч_2}, V_{т_2}$.

Покажем механизм действия этого закона на числовых примерах.

Пример 1. Примем $m_ч = m_т = 1$; $V_{ч_1} = 1$; $V_{т_1} = 0$; $V_s = 0$.
Энергия частицы

$$E_ч = \frac{m_ч V_{ч_1}^2}{2} = \frac{1 \cdot 1}{2} = 0{,}5.$$

Энергия тела $E_т = 0$.

$$Z_ч = \frac{V_{т_1}^2}{V_{ч_1}^2} - 1 = \frac{0}{1} - 1 = -1.$$

Захваченная телом энергия $\Delta E_т = E_ч Z_ч = 0{,}5 \cdot 1 = 0{,}5$.
Сумма энергий тела (захваченной и бывшей)

$$\sum E_т = E_т + \Delta E_т = 0 + 0{,}5 = 0{,}5.$$

Скорость тела после акта взаимодействия

$$V_{т_2} = \sqrt{\frac{2E_т}{m_т}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0{,}5}{1}} = 1.$$

Пример 2. При тех же исходных данных примем $V_в = 0{,}5$.
Энергия частицы

$$E_{ч_1} = \frac{1(1 + 0{,}5)^2}{2} = 1{,}125.$$

Энергия тела

$$E_{т_1} = \frac{1 \cdot 0{,}5^2}{2} = 0{,}125; \quad Z'_ч = \frac{0{,}5^2}{1{,}5^2} - 1 = -0{,}88.$$

Захваченная телом энергия

$$\Delta E_{т_1} = E_{ч_1} Z'_ч = 1{,}125 \cdot 0{,}88 = 1.$$

Сумма энергий тела (захваченной и бывшей)

$$\sum E_{т_1} = E_{т_1} + \Delta E_{т_1} = 0{,}125 + 1 = 1{,}125.$$

Скорость тела после акта взаимодействия

$$V'_{т_2} = \sqrt{\frac{2E_{т_1}}{m_т}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}125}{1}} = 1{,}5.$$

Вычтя из $V'_{т_2}$ скорость $V_в$, находим $V_{т_2}$

$$V_{т_2} = V'_{т_2} - V_в = 1{,}5 - 0{,}5 = 1.$$

От присоединения к $V_{ч_1}$ и $V_{т_1}$ произвольной скорости $V_в$ скорость тела после взаимодействия $V_{т_2}$ не изменилась.

Во втором примере коэффициент захвата энергии $Z'_ч$ уменьшился с 1 до 0,88. Но и энергии частицы и тела выросли с $E_ч = 0{,}5$ до $E_{ч_1} = 1{,}125$ и с $E_т = 0$ до $E_{т_1} = 0{,}125$ соответственно. В результате произошла полная компенсация уменьшения $Z_ч$ ростом $E_ч$ и $E_т$ и величина $V_{т_2}$ осталась неизменной. В этой компенсации изменения $Z_ч$ изменением $E_ч$ и $E_т$ и заключается механизм действия принципа Галилея.

Проведя аналогичные расчеты для взаимодействия типа $m_т \gg m_ч$ при всех $V_в$ (включая $V_в > V_{ч_1}$), убеждаемся в универсальности механизма действия принципа относительности Галилея.

Видим, что величина массы тела $m_т$ и частицы $m_ч$ и в «абсолютной», и в подвижной системе отсчета неизменны. **Масса тел в физических явлениях абсолютна.**

Мы рассмотрели динамические закономерности относительного движения. Рассмотрим теперь кинематические закономерности.

Покажем независимость времени взаимодействия от скорости движения системы отсчета V_s.

$$t = \frac{\pi R_1}{V_{оч}} = \frac{\pi R_1}{V_ч - V_т}(1 - \gamma).$$

Знаменатель в уравнении от присоединения к $V_ч$ и $V_т$ относительной скорости V_s не изменяется. Так как длина связки R_1 также сохраняется, от V_s время воздействия не зависит, $t' = t_0$.

Видим, что время взаимодействия тел и в «абсолютной», и в подвижной системе отсчета одинаково. **Время в физических явлениях абсолютно.**

Покажем независимость величины дистанции взаимодействия тел от скорости относительного движения системы отсчета. Выше мы нашли

$$V'_{т_2} - V_s = V_{т_2}.$$

Умножив эти скорости на время акта взаимодействия t, находим величины дистанций взаимодействия тел

$$V'_{т_2} \cdot t - V_s \cdot t = V_{т_2} \cdot t,$$

или

$$x'_{т_2} \cdot t - V_s \cdot t = x_{т_2},$$

где $x_{т_2}$ — дистанция взаимодействия тела при $V_s = 0$; $x'_{т_2}$ — дистанция взаимодействия тела в системе отсчета, движущейся со скоростью V_s; $V_s \cdot t$ — перемещение системы отсчета за время t.

Увеличение дистанции взаимодействия при относительном движении систем отсчета точно компенсируются перемещением самой системы отсчета.

Независимость дистанции взаимодействия тел и ее формы от скорости относительного движения V_s покажем на численном примере (рис. 16.2 и 16.3). Здесь массы тела и частицы равны, $Y = \frac{1}{2}$.

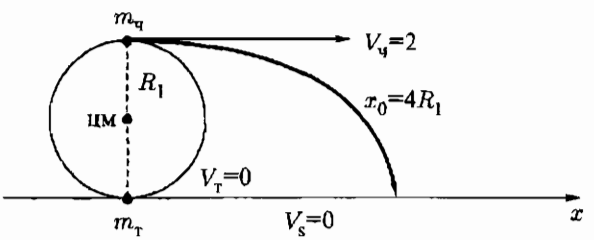

Рис. 16.2

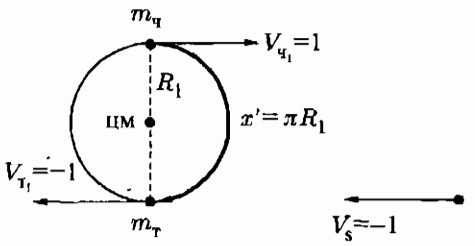

Рис. 16.3

В неподвижной системе отсчета (рис. 16.2) $V_{ч_1} = 2$, $V_{т_1} = 0$, $V_s = 0$. (Здесь резонанс, $Z_ч = 1$.) Траектория частицы — циклоида, длина пути частицы $x_0 = 4R_1$.

Чтобы в подвижной системе отсчета создать те же условия (принцип Галилея), в неподвижной системе необходимо изменить $V_{ч_1}$ и $V_{т_1}$: $V'_{ч_1} = 1$, $V'_{т_1} = -1$, $V_s = -1$ (рис. 16.3). Эти изменения, как видим, автоматически происходят при появлении относительного движения со скоростью V_s. Здесь «гантель» из $m_ч$ и $m_т$ вращается на месте, взаимодействия нет, $Z_ч = 0$. Траектория частицы здесь не циклоида, а круг, длина пути частицы $x' = \pi R_1$. Модель взаимодействия существенно изменилась.

Но в подвижной системе эта модель «выглядит» совершенно аналогично модели на рис. 16.2: вращающаяся на месте гантель на подвижной системе отсчета «нарисует» ту же циклоиду с длиной пути частицы $x' = 4R$. Как и в динамических закономерностях явления, здесь также решающую роль играет изменение коэффициента захвата энергии $Z_ч$ при относительном движении. Именно благодаря изменению $Z_ч$ в подвижной системе получаются «разумные» новые $V'_ч$ и $x'_ч$.

Видим, что метрика пространства, где происходит взаимодействие, остается неизменной. **Пространство в физических явлениях абсолютно.**

Таким образом, решение задачи механики, где система отсчета со своими $m_ч$ и $m_т$ сама двигается относительно другой — «абсолютной» системы отсчета с относительной скоростью V_s, производится, используя правила пересчета координат, скоростей $V_ч$, $V_т$ и коэффициента захвата энергии частицы $Z_ч$. Важным моментом здесь является правильный пересчет величины захвата энергии частицы $Z_ч$ в новой системе отсчета.

В частности, при $V_s \ll V_ч$ можно принять $Z^1_ч = Z_ч$: характер взаимодействия тел от движения их системы отсчета изменяется пренебрежимо мало. Правила пересчета в этом случае упрощаются: остаются лишь пересчет координат и пересчет скоростей частицы и тела. Эти упрощенные правила пересчета и есть уравнения преобразования координат Галилея. Они представляют собой только кинематические

уравнения. Эти правила приемлемы лишь при малой относительной скорости движения подвижной системы отсчета.

При больших скоростях $V_в$, когда $V_в \approx V_{ч_1}$, игнорировать изменение величины захвата энергии частицы телом из-за движения системы отсчета уже недопустимо. Взаимодействие частицы с телом происходит здесь совсем иначе, и тело ускоряется частицей совсем не так, как в неподвижной системе координат. Вся суть «относительности» и заключена в этом изменении характера взаимодействия, в изменении $Z_ч$. В этом случае правила пересчета должны быть использованы в полном объеме, без упрощений, как мы и поступили в вышеприведенных примерах. Кинематические уравнения должны быть дополнены динамическими уравнениями.

Таким образом, физические явления в различных системах отсчета, конечно, различны. Однако, эти различия компенсируются динамическими («энергетическими») явлениями взаимодействия. Эта компенсация и является причиной «таинственной» одинаковости явлений во всех подвижных инерциальных системах отсчета. Принципы просто и наглядно раскрывают сущность этого явления, не раскрытого механикой Ньютона. Относительную скорость двух инерциальных систем отсчета обнаружить и измерить невозможно принципиально. Этим исчерпывается сущность теории относительности.

При попытках осмыслить и объяснить принцип относительности Галилея была неоднократно подвергнута сомнению классическая физика, ее основы. Наши принципы показывают незыблемость классической физики. **Масса, время и пространство в физических явлениях абсолютны.** К пересмотру основ классической физики не существует никаких объективных причин.

§ 17. У истоков теории относительности. Принципы взаимодействия тел и теория относительности Лоренца

В предыдущих параграфах мы рассмотрели с позиций принципов взаимодействия тел механику Ньютона и принципы Галилея. В результате рассмотрения нами предложены новые варианты механики и теории относительности. Ранее аналогичные результаты были получены Лоренцем, Пуанкаре, Эйнштейном. Рассмотрим их с позиций принципов взаимодействия тел с целью оценки полноты соответствия их своему предназначению. Начнем от самых истоков проблемы.

Под названием «теория относительности» существуют описания фактически не одного, а двух существенно отличающихся друг от друга явлений. Первое явление — это неразличимость механических явлений в относительно движущихся системах отсчета (принцип относительности Галилея). Принцип этот распространяется на все

механические явления в природе. Незыблемость принципа Галилея подтверждена многовековым опытом и ни у кого не вызывает сомнения. Второе явление совсем из другой области — из электродинамики и касается только одного конкретного вопроса: различаются или не различаются скорости электромагнитных возмущений (волн) в относительно движущихся системах отсчета. Оно и есть содержание «теории относительности» Лоренца, Пуанкаре, Эйнштейна.

Когда Максвелл установил законы электродинамики, оказалось, что из них вытекает необычное следствие. Оно заключается в том, что электромагнитные возмущения (волны) распространяются во все стороны одинаково и с одинаковой скоростью, независимо от величины скорости источника (генератора) волн. Такое же бывает со звуком: скорость звуковых волн тоже не зависит от скорости источника. Значит, поскольку в различных инерциальных системах отсчета скорости распространения волн различны, системы отсчета возможно отличить друг от друга по этому признаку. Более того, поскольку при измерениях скоростей систем отсчета опираемся на доступную нам скорость волн (мы ее «видим» в системах и знаем ее величину), возможно прямое измерение скорости движения системы отсчета относительно неподвижного эфира. На аналогичном явлении, в частности, построены и успешно эксплуатируются «звуковые» измерители воздушной скорости самолетов.

Нетрудно видеть, что между этими двумя относительностями есть принципиальное отличие: в явление «электрической» относительности тихо и незаметно оказалась внесенной еще одна «незаконная» система отсчета — носитель волн — эфир. Эфир, как система отсчета, от все других «обычных» систем отсчета отличается своей материальностью — ведь именно в нем распространяются волны. Поэтому эфир объективно есть привилегированная («абсолютная») система отсчета. Таким образом, вторая — «электрическая» относительность является «не настоящей» (не галилеевской) относительностью. Точнее, она вовсе и не «относительность»: здесь все явления (электрические) протекают в одной единственной системе отсчета, поэтому к принципу неразличения явлений в относительно движущихся системах отсчета она не имеет отношения.

Майкельсон и Морли поставили опыт по проверке теории Максвелла, попытались обнаружить и измерить скорость «эфирного ветра» Земли с помощью интерферометра. Результат опыта оказался отрицательным, движение Земли относительно эфира не было зафиксировано. Дальнейшее развитие событий развивалось в двух направлениях.

Первое направление. Следовало безоговорочно принять теорию электродинамики Максвелла и найти разумную, не противоречащую здравому смыслу физическую модель «необнаружения» реально существующего явления. Ведь теория Максвелла имеет громадную область применения, а не только в области теории относительности,

и везде она работает безукоризненно. Наконец, следовало разработать другие методы обнаружения эфира, отличные от интерферометра Майкельсона.

Второе направление. Поскольку опыт с интерферометром дал отрицательный результат, объявить теорию электромагнетизма Максвелла ложной (неверной) и силовым приемом внедрить, вопреки здравому смыслу, «постулат» об «одинаковости скоростей электромагнитных волн в относительно движущихся системах отсчета», и на этом построить формальную математическую теорию относительности.

Отношение к этим двум направлениям мысли иллюстрируют следующие два высказывания тех времен. «Математик может говорить все, что ему вздумается, но физик должен сохранять хоть какую-то долю здравого смысла», — Гиббс. «Здравый смысл — это скопление предрассудков, которые в человека закладывают, пока ему еще не исполнилось восемнадцати лет», — Эйнштейн.

Мы полагаем, что первое направление конструктивное, созидательное, а второе есть подмена трудоемкого физического анализа эффектной фантазией математика. По первому пути пошел Лоренц, по второму — Эйнштейн.

Таким образом, первые математические исследования проблемы относительности были выполнены не в механике, а в электродинамике Лоренцом и Пуанкаре в связи с отрицательным результатом опыта Майкельсона—Морли. В дальнейшем электродинамические уравнения Лоренца легли в основу специальной теории относительности Эйнштейна, занимающую фундаментальное положение в современной физике. Именно поэтому для нас они представляют интерес.

Целью Лоренца было показать, что во всех системах отсчета скорости электромагнитных волн различны, но обнаружить это невозможно из-за укорочения длин, в частности, «продольного» плеча интерферометра Майкельсона. Лоренц, таким образом, придерживался идеи неподвижного эфира, существование одной привилегированной системы отсчета. Рассмотрим эти уравнения Лоренца.

$$X' = \frac{X_0 - Vt_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}}, \quad t' = \frac{t_0 - \frac{VX_0}{C^2}}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}}.$$

В волновое уравнение Максвелла были подставлены меняющиеся координаты Галилея

$$X' = X_0 - Vt_0, \quad t' = t_0.$$

От этого в волновом уравнении появились члены, соответствующие изменению скорости световой волны, что опыт не подтверждает. Лоренц внес добавления в уравнения преобразования координат Галилея и тогда волновые уравнения сохранили свою форму, а скорость света

сохранила свою величину. Действия Лоренца с точки зрения физики волн означают следующее.

В волновом уравнении X — это длина волны, а t — ее период. Быть чем-либо другим в волновом уравнении они просто не могут. Величины X и t в волновом уравнении связаны соотношением

$$\frac{X}{t} = C,$$

где C — скорость распространения волны.

Скорость V в уравнении Галилея — это скорость перемещающегося генератора волн. Он находится в «начале координат» и двигается в направлении движения волны, следовательно, X' и t' Лоренца — это длина волны и ее период, порождаемый генератором, движущимся со скоростью V, а X_0 и t_0 — это длина волны и ее период от неподвижного генератора.

Новые X' и t' также связаны соотношением $\frac{X'}{t'} = C$. Покажем это.

$$\frac{X'}{t'} = \frac{X_0 - Vt_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}} : \frac{t_0 - \frac{VX_0}{C^2}}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}},$$

учитывая, что $t_0 = \frac{X_0}{C}$, получаем

$$\frac{X'}{t'} = \frac{X_0 - \frac{VX_0}{C}}{t_0 - \frac{Vt_0C}{C^2}} = \frac{X_0\left(1 - \frac{V}{C}\right)}{t_0\left(1 - \frac{V}{C}\right)} = \frac{X_0}{t_0} = C.$$

Полученный результат говорит, что скорость распространения волны C не зависит от скорости движения системы координат V, где находится генератор, создающий эти волны. Сегодня, через столетие вывода уравнений Лоренцом и столетний опыт радиотехники, этот вывод представляется самоочевидным и банальным. Однако тогда это было важным достижением в электродинамике.

Придадим уравнениям Лоренца более «радиотехнический» вид, соответствующий их предназначению:

$$X' = \frac{X_0 - Vt_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}};$$

учитывая, что $X_0 = t_0C$,

$$X' = \frac{t_0C - t_0V}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}} = \frac{t_0(C - V)}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}} = \frac{t_0\sqrt{C - V}\sqrt{C - V}}{\frac{\sqrt{C+V}\sqrt{C-V}}{C}} =$$

$$= \frac{t_0C\sqrt{C - V}}{\sqrt{C + V}} = X_0\sqrt{\frac{C - V}{C + V}};$$

$X' = X_0\sqrt{\frac{C - V}{C + V}}$ — длина волны от движущегося генератора.

Аналогично находим

$$t' = \frac{t_0 - \frac{VX_0}{C^2}}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}};$$

учитывая, что $X_0 = t_0 C$,

$$t' = \frac{t_0 - \frac{VX_0}{C^2}}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}} = \frac{t_0\left(1 - \frac{V}{C}\right)}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}} = \frac{t_0\left(\frac{C-V}{C}\right)}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}} = \frac{t_0(C-V)\frac{1}{C}}{\frac{\sqrt{C^2-V^2}}{C}} =$$

$$= \frac{t_0(C-V)}{\sqrt{C^2 - V^2}} = \frac{t_0\sqrt{C-V}\sqrt{C-V}}{\sqrt{C+V}\sqrt{C-V}} = t_0\frac{\sqrt{C-V}}{C+V} = t_0\sqrt{\frac{C-V}{C+V}};$$

$t' = t_0\sqrt{\frac{C-V}{C+V}}$ — период волны от движущегося генератора.

Уравнения освободились от своего изначального «Галилеевского» вида и приобрели симметричный вид, соответствующий своему предназначению.

Углубленный физический анализ явления взаимодействия генератора с волной (эфиром) показал, что за математической простотой полученных выражений для периода волны и длины волны, кроется важная закономерность: полученные уравнения содержат в себе известные уравнения Допплера и «поправку» Лоренца к нему. Покажем это.

$$X' = X_0\sqrt{\frac{C-V}{C+V}} = X_0\frac{\sqrt{C-V}}{\sqrt{C+V}}\left(\frac{\sqrt{C-V}C}{\sqrt{C-V}C}\right) =$$

$$= X_0\frac{(C-V)C}{\sqrt{C^2 - V^2}C} = X_0\frac{C-V}{C}\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}};$$

$$X' = X_0\frac{C-V}{C}\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}}.$$

Здесь $X' = X_0\frac{C-V}{C}$ есть известное уравнение Допплера для передатчика, а член $\frac{1}{\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}}$ является «поправкой» Лоренца.

Аналогично находим

$$t' = t_0\frac{C-V}{C}\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}}.$$

Лоренц ограничился рассмотрением только взаимодействия волна—генератор. Реально в природе действуют также взаимодействия волна—приемник.

Дадим без вывода точное уравнение Допплера для приемника:

$$X' = \frac{X_0 + Vt_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}} = X_0\sqrt{\frac{C+V}{C-V}} = X_0\frac{C}{C-V}\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}.$$

$$t' = \frac{t_0 - \frac{VX_0}{C^2}}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}} = t_0\sqrt{\frac{C+V}{C-V}} = t_0\frac{C}{C-V}\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}.$$

Полученные уравнения для приемника также содержат в себе уравнения Допплера и «поправку» Лоренца к ним, но другие — соответствующие приемнику.

Лоренц свои уравнения вывел путем подгонки математики, не вкладывая в них физического содержания. Основываясь на принципах взаимодействия тел, дадим им нашу физическую интерпретацию.

Наличие в уравнениях допплеровских сомножителей вполне естественно как для модели возбуждения волн в эфире подвижным генератором, так и для приема волн подвижным приемником. Но в уравнениях содержится и поправка к ним — корень Лоренца. Именно в них содержится гипотеза о сокращении длины плеча интерферометра на величину этого корня. Наконец, корень Лоренца имеет важное значение в специальной теории относительности Эйнштейна.

Рассмотрим физическое содержание этих поправок.

Уравнение Допплера является упрощенным описанием взаимодействия генератора и волны, это только лишь **кинематическая** модель явления. Она построена на допущении, что сама волна при взаимодействии с генератором (или приемником) не претерпевает никаких изменений. То есть из того, что между генератором и волной (точнее, между генератором и эфиром) нет никакого энергетического (динамического) взаимодействия. Фактически генератор, создавая волну, ускоряет эфир, вкачивает в него энергию, т. е. взаимодействует с эфиром. В результате **динамического** взаимодействия генератора с эфиром дополнительно, сверх Допплера, изменяется период и длина возбуждаемой волны, о чем и говорит «поправка» Лоренца.

Согласно уравнениям Лоренца, подкоренное выражение в уравнении для передатчика представляет собой коэффициент захвата энергии для взаимодействия типа $m_т = m_ч$, взятый с обратным знаком

$$\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}} = \sqrt{-Z_ч}.$$

Коэффициент $Z_ч$ здесь показывает, как уменьшается энергия возбужденной генератором волны от движения генератора $E_в = E_г \cdot (-Z_ч)$. Природа этого явления аналогична природе уменьшения захвата

энергии частицы $m_ч$ телом $m_т$, при появлении скорости $V_т$. Как известно, величина энергии электромагнитной волны зависит от квадрата длины волны X

$$E_в = \frac{1}{X^2}.$$

Отсюда

$$\frac{1}{X_в^2} = \frac{1}{X_г^2} \cdot (-Z_ч), \quad X_в^2 = \frac{X_г^2}{(-Z_ч)},$$

$$X_в = X_г \cdot \frac{1}{\sqrt{-Z_ч}} = X_г \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}}.$$

Таким образом, из уравнения Лоренца для передатчика следует, что при любом движении генератора уменьшается величина захваченной волновой энергии. Поскольку энергия излученной волны падает, это проявляется в виде дополнительного увеличения длины волны.

В уравнениях Лоренца для приемника коэффициент $Z_ч$ показывает, как увеличивается энергия электрических колебаний в приемнике от движения приемника

$$E_п = E_в \cdot \frac{1}{(-Z_ч)}.$$

Природа этого явления аналогична природе появления электродвижущей силы в результате индукции Фарадея. Источником этой дополнительной энергии является объект, двигающий приемник. Аналогично генератору учитывая, что

$$E_в = \frac{1}{X^2} \quad \text{и} \quad E_п = E_в \cdot \frac{1}{(-Z_ч)},$$

находим

$$X_п = X_в \cdot \sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}.$$

Из уравнения Лоренца для приемника следует, что при любом движении приемника дополнительно увеличивается величина захваченной приемником от волны энергии. Это проявляется в виде дополнительного укорочения волны в приемнике.

После отрицательного результата опыта Майкельсона—Морли опыты по обнаружению «эфирного ветра» были продолжены. Постепенно «эфирный ветер» все-таки стал обнаруживаться. В 1993 г. Стефан Маринов (Австрия), не только обнаружил «эфирный ветер», но и измерил его скорость — 322–402 км/с, что соответствует величине скорости, найденной независимыми методами астрономии. Объяснения «необнаружения эфирного ветра» стали неактуальными

и больше стали походить на поиск черной кошки в темной комнате, особенно, когда ее там нет (Конфуций). Это в полной мере относится к электродинамическим уравнениям Лоренца. Однако, как мы видели, в них заложены энергетические (динамические) закономерности взаимодействия волны с телом. Эти закономерности могли бы прояснить физику «настоящей» относительности — физику принципа Галилея в механике. Электродинамические уравнения Лоренца неожиданно нашли применение в механике.

§ 18. Электродинамические уравнения Лоренца в роли уравнений механики

Физический анализ уравнений Лоренца, проведенный в предыдущем параграфе, показывает, что длину волны X и период волны t возможно отождествить с дистанцией взаимодействия X и временем взаимодействия двух тел в механике, при двух начальных состояниях ускоряемого тела: $V_т = 0$ и $V_т \neq 0$ (волны домино одновременно содержат в себе и черты волн, и черты взаимодействия тел типа $m_ч = m_т$, § 7). Уравнения Лоренца в такой новой интерпретации способны принести в механику заложенные в них тонкости динамических взаимодействий тел. Тонкости эти — в корнях Лоренца, *учитывающие влияние скорости ускоряемого тела* на величину его ускорения. Покажем это.

В § 15 из принципов взаимодействия тел мы получили зависимость величины ускорения тела от его скорости

$$a' = a_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{V_т^2}{V_ч^2}}$$

для случая $m_ч = m_т$.

Теперь для сравнения этот же результат получим, используя уравнения Лоренца («метод Лоренца»). Обратимся к уравнениям.

$$X' = X_0 \frac{C - V}{C} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V_т^2}{C^2}}}, \quad t' = t_0 \frac{C - V}{C} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V_т^2}{C^2}}}.$$

Покажем как эти уравнения уточняют ньютоновские законы процесса ускорения одного тела другим. В этом процессе X и t есть путь и время ускорения. Ускорение, путь и время в механике Ньютона связаны соотношениями

$$X = \frac{at^2}{2}, \quad \text{или} \quad a = \frac{2X}{t^2}.$$

Соответственно, $a' = \frac{2X'}{t'^2}$.

Учитывая

$$X' = X_0 \frac{C - V}{C} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V_т^2}{C^2}}}$$

и

$$t' = t_0 \frac{C - V}{C} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V_т^2}{C^2}}},$$

получим

$$a' = \frac{2X_0 \frac{C-V}{C} \frac{1}{\sqrt{1-\frac{V_т^2}{C^2}}}}{t_0^2 \left(\frac{C-V}{C}\right)^2 \left[\frac{1}{\sqrt{1-\frac{V_т^2}{C^2}}}\right]^2} = a_0 \frac{C}{C - V} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V_т^2}{C^2}}}.$$

Найденное «методом Лоренца» ускорение тела $m_ч = m_т$ при $V_т \neq 0$ совпадает с ускорением, определенным из принципов. Однако замечаем, что в отличие от уравнения, найденного выше из принципов, здесь появился допплеровский сомножитель. Уравнения Лоренца уточняют законы Ньютона, являются дополнением к ним. А в механике Ньютона ускорение тела совершается «силой» — очередью частиц (рис. 11.1). От движения тела, по закону Допплера, изменяется частота ударов частиц, «сила» изменяется и приводит к изменению величины ускорения тела. Как видим, от движения тела $m_т$ его ускорение изменяется по двум причинам: от изменения величины самой «силы» (допплеровский сомножитель) и от изменения величины взаимодействия (лоренцевский корень). Здесь все верно. Но само появление допплеровского сомножителя говорит о подмене модели взаимодействия в «методе Лоренца».

При относительном движении системы отсчета в этой системе вместе движутся и ускоряемое тело, и ускоряющая «пушка», стреляющая частицами. Поэтому допплеровская частота ударов по телу компенсируется допплеровской частотой стрельбы из пушки. В уравнении для относительного движения системы отсчета допплеровского сомножителя не должно быть. Поэтому в уравнении ускорения, найденного из принципов, его нет.

Наличие допплеровского сомножителя в уравнении «метода Лоренца» говорит о том, что здесь двигается только ускоряемое тело, а пушка покоится. Но это уже будет не «относительное движение системы отсчета».

Как видим, «метод Лоренца» вовсе не описывает явление в относительно движущейся системе отсчета. Оно не пригодно для этого и поэтому не может быть использовано для этой цели.

Зная установленную принципами зависимость

$$a' = a_0 \frac{C}{C - V} \sqrt{1 - \frac{V_т^2}{C^2}},$$

используя уравнения ускорения Ньютона, естественно, можно обратно «вывести» уравнения Лоренца. Например,

$$V_т = a't' \quad \text{и} \quad V_т = a_0 t_0.$$

Отсюда

$$a' = a_0 \frac{C}{C - V} \sqrt{1 - \frac{V_т^2}{C^2}}, \quad V_т = a_0 \frac{C}{C - V} \sqrt{1 - \frac{V_т^2}{C^2}} \cdot t',$$

следовательно,

$$a_0 \frac{C}{C - V} \sqrt{1 - \frac{V_т^2}{C^2}} \cdot t' = a_0 t_0, \quad t' = t_0 \frac{C}{C - V} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V_т^2}{C^2}}}$$

— уравнения Лоренца для времени.

Аналогичным образом из уравнения $V_т = \sqrt{2aX}$ находится уравнение для пути Лоренца

$$X' = X_0 \frac{C}{C - V} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V_т^2}{C^2}}}.$$

Найденная «методом Лоренца» величина ускорения для тела $m_т = m_ч$ верна, она соответствует определенной принципами величине ускорения. Отсюда можно было бы сделать вывод, что и вычисленные обратно на основе верного ускорения значение пути и времени ускорения X' и t' Лоренца также соответствуют истинным, реальным значениям X и t. Ведь и значение ускорения верное, и уравнение ускорения $a = \frac{2X}{t^2}$ верное.

И тем не менее, такой вывод совершенно неверен и не соответствует действительности. Дело в том, что X' и t' Лоренца абсолютно не равны реальным X и t ускорения, более того, и не должны быть равными им. Лоренцовские X' и t' являются только лишь математическим средством «изобразить» верное значение ускорения, используя уравнение Ньютона. Лоренцовское X' и t' не являются реальными величинами.

Например, при встречном движении двух тел $m_т = m_ч$ с равными скоростями тела совершают пол-оборота вокруг центра масс за время

$$t = \frac{2\pi R}{V_ч - (-V_т)} = \frac{\pi R}{V_ч}.$$

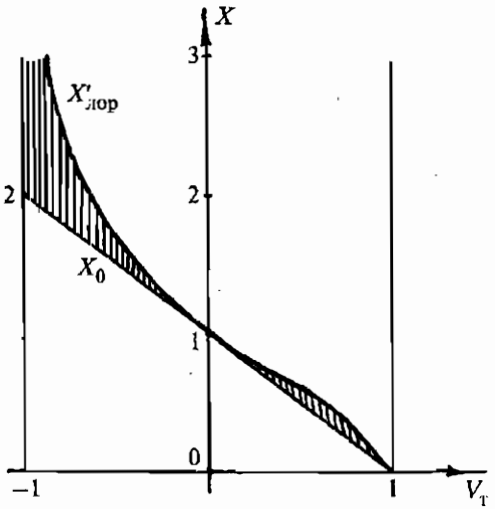

Рис. 18.1

Это время, естественно, имеет конечную величину. Путь, пробегаемый телом, равен $X = \pi R$, т. е. также имеет конечную величину. Но в этом акте взаимодействия нет, ускорение тела равно нулю. Ускорение через уравнение выражается как

$$a = \frac{2X'}{t'^2}.$$

Чтобы ускорение a в уравнении стало равным нулю, Лоренцовское t' неизбежно должны быть равно бесконечности.

Рис. 18.1 иллюстрирует эту закономерность. Здесь лоренцовские t' и X' нигде не совпадают с истинными (реальными) t и X ускорения. Совпадение есть только в точке $V_т = 0$, но здесь отсутствует сама поправка Лоренца, — корень равен единице.

Не всякое математическое выражение имеет физический смысл. Например, $i = \sqrt{-1}$. У математики свои проблемы, ей нет дела до «физического смысла» уравнения. В этом математика чудовищно беспринципна в своем отношении к физике. О физическом смысле математических уравнений необходимо заботиться самой физике. Ибо, как говорил физик Фейнман, — **«все великолепие математики в том и состоит, что мы не знаем, о чем толкуем»**.

«Изменение пространства и времени» из-за скорости движения тела, демонстрируемые уравнениями Лоренца, не имеют под собой физического основания.

Обратимся к рис. 18.2. В нем графически показана взаимосвязь между a, t, $V_т$ процесса ускорения тела. Здесь получить $a = 0$ при $V_ч =$ const возможно только лишь придав времени значение $t = \infty$. Такова

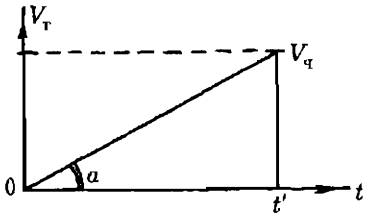

Рис. 18.2

очевидная зависимость неизменного ускорения от времени, в виде треугольника a, t, $V_т$, и здесь все верно. Но эта зависимость и есть тот самый закон Ньютона равноускоренного движения, использованный для описания взаимодействия двух тел.

Таким образом, в «дурной» бесконечности времени Лоренца t' повинен закон Ньютона с его неизменной силой. И в этом бесконечном времени нет никакой таинственности или необычности. Избавиться от нереального времени и пути ускорения, уйти от «изменения пространства и времени», возможно только отказавшись от «коварного треугольника» (линейного закона Ньютона, подправленного уравнением Лоренца).

Этой проблеме можно придать и иную геометрическую трактовку (Г. Минковский, 1907 г.). Вместо отказа от «неверного треугольника» можно потребовать (от математики, но не от физики), чтобы он «верно описывал явление ускорения тела». Для этого треугольник должен быть построен не на реальной плоскости эвклидова пространства, а в пространстве Минковского. Метрические свойства пространства Минковского связаны с уравнениями движения материальной точки согласно специальной теории относительности так же, как пространство Эвклида связано с уравнениями движения материальной точки согласно механике Ньютона. Естественно, отношения двух геометрий связаны тем же преобразованием Лоренца. Но такое решение тянет за собой, вслед за «воображаемой геометрией Минковского», еще и «воображаемую физику Эйнштейна», что вконец запутывает физическую сущность взаимодействия тел.

В предложении Минковского все поставлено с ног на голову. Реальные графики скоростей в акте взаимодействия (рис.15.3, 15.4) изначально, объективно, как видим «кривые», и построены они на реальной (эвклидовой) «прямой» поверхности. А вот графики этих же скоростей у Ньютона искусственно «выпрямлены». И выпрямлены они как раз путем изображения изначально «кривых» графиков на «кривой поверхности» Минковского. От этого они выпрямились, стали проще, без мудростей и поэтому понятней. Действительно, чего может быть проще и яснее уравнения $V = at$? Однако это, как видим,

коварная простота, приведшая к сдаче механикой Ньютона своих, казалось бы вечных, позиций.

Вместо жонглирования математикой надо использовать реальные нелинейные, циклоидальные графики скоростей тел, и из них вычислять реальное время и путь ускорения. Другими словами — использовать принципы взаимодействия тел. В § 16 мы видели, что и пространство, и время абсолютны, при взаимодействии тел они не претерпевают никаких изменений, в этом нет никакой объективной необходимости.

Кроме рассмотренного ограничения, у «метода Лоренца» есть и другое, весьма существенное ограничение. Как видим, уравнения Лоренца уточняют ньютоновский закон ускорения одного тела другим. **Однако, это уточнение работает лишь только в одном частном случае — во взаимодействии тел с равными массами $m_т = m_ч$**, которое мы и рассмотрели. Для взаимодействия типа $m_т \gg m_ч$ (а оно представляет основу ньютоновской механики — § 6) «метод Лоренца» совершенно не верен и поэтому не может быть использован в качестве фундаментального дополнения к механике Ньютона.

В результате проведенного анализа «метода Лоренца» видим, что уравнения Лоренца в качестве фундаментального дополнения к механике Ньютона не могут быть использованы: они вовсе не описывают *явления в относительно движущейся системе координат*, получаемые ими координаты X' и t' тела не соответствуют его реальным координатам, а представляют собой формально-математические фикции.

Усовершенствованием механики Ньютона на основе уравнений Лоренца занимались многие естествоиспытатели. Наиболее полную и последовательную модель усовершенствованной механики Ньютона разработал Эйнштейн.

§ 19. Принципы взаимодействия тел и специальная теория относительности Эйнштейна

Эйнштейн, и тем более Лоренц и Пуанкаре, вовсе и не ставили задачу усовершенствования механики Ньютона. Они разрабатывали только теорию относительности в механике и электродинамике, оставляя, как им казалось, в неприкосновенности «неизменную силу». Но решить задачу относительности без переменной силы объективно невозможно. Поэтому они невольно и неявно, но неизбежно, пришли к переменной силе, не осознавая этого.

Наиболее полную и последовательную модель усовершенствования механики Ньютона дал Эйнштейн в своей специальной теории относительности. С течением времени интерес физиков к «изменениям пространства-времени» отошел на второй план, и в физике реально

прижился только один вывод теории относительности — зависимость величины массы от ее скорости

$$m' = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}}.$$

В этом выводе заключается несомненное и принципиальное усовершенствование механики Ньютона теорией относительности. Как говорил физик Фейнман: «Кому теория относительности нужна лишь для решения задач, тому этой формулы будет вполне достаточно. Больше ничего от теории относительности ему не понадобится — он просто введет в законы Ньютона поправку на изменение массы». В результате современная физика, в том числе современная механика, стали восприниматься как синтез механики Ньютона с дополняющей ее специальной теорией относительности. Поэтому рассмотрение теории относительности Эйнштейна будем вести именно с этой «современной» позиции: рассмотрим ее прежде всего как теорию усовершенствования механики Ньютона, а не как теорию относительности.

Заметим, что для наших принципов эти две теории являются просто двумя независимыми частными задачами, решаемыми по одной методике. Задача усовершенствования механики Ньютона — это выявление закономерностей взаимодействия двух тел при изменении скорости ускоряемого тела $V_т$ от 0 до $V_ч$ (§ 15). Задача же относительности — это выявление закономерностей взаимодействия двух тел при прибавлении к скоростям частицы $V_ч$ и тела $V_т$ скорости движения подвижной системы отсчета V_s (§ 16).

Неточность механики Ньютона заключается в допущении независимости величины силы от скорости тела, ускоряемой этой силой. Или, другими словами, в допущении независимости величины ускорения тела от его скорости. Эту зависимость мы проанализировали выше, на модели упругого соударения двух тел равной массы (§ 15).

Эйнштейн, используя уравнения Лоренца в механике, также проанализировал явление упругого соударения двух тел равной массы, но пришел к выводу об увеличении массы тела с ростом ее скорости

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{V_т^2}{C^2}}},$$

где в знаменателе корень Лоренца. Нельзя не заметить, что в этом уравнении переменная сила просматривается вполне откровенно

$$a = \frac{F\sqrt{1 - \frac{V_т^2}{C^2}}}{m},$$

но Эйнштейн изначально исходил из неизменной силы.

Это свое положение о росте массы тела он увязал с положением о реальности лоренцовского времени и пути в механике, изменяющихся от скорости тела, образовав тем самым внутренне непротиворечивую абстрактную математическую модель — специальную теорию относительности.

По Эйнштейну, неподвижное тело под действием неизменной силы получает максимальное ускорение, так как оно наиболее «легкое». Движущееся тело ускоряется уже меньше из-за «утяжеления» массы. Тело, движущееся со скоростью света, не ускоряется вовсе, так как его масса равна бесконечности. Таким образом, по Эйнштейну, уменьшение ускорения тела под действием неизменной силы является следствием увеличения массы.

Когда мы рассматривали взаимодействие двух тел $m_т = m_ч$ при встречном движении, т. е. упругое соударение, нашли, что ускорение тела уменьшается при увеличении скорости тела. Причина этого лежит в уменьшении взаимодействия, в уменьшении захвата энергии ускоряющей частицы. Как видим, причина уменьшения ускорения тела здесь лежит не в изменении величины массы тела, а в изменении условия захвата энергии частицы. Масса тела при его ускорении не претерпевает никаких изменений и остается неизменной.

Найденный для взаимодействия типа $m_т = m_ч$ закон уменьшения ускорения тела («утяжеления тела») Эйнштейн распространил на все типы взаимодействия тел, в том числе на ньютоновский тип $m_т \gg m_ч$.

Выше было показана ошибочность этого положения (§ 15). Для ньютоновского взаимодействия (типа $m_т \gg m_ч$), как мы видели, отношение ускорений равно

$$\frac{a_т}{a_{тр}} = \sqrt{\frac{4V_т}{V_ч} \cdot \left(1 - \frac{V_т}{V_ч}\right)},$$

а не

$$\frac{a_т}{a_{тр}} = \sqrt{1 - \frac{V_{т_1}^2}{V_ч^2}},$$

и резонанс наступает при $V_{т_1} = 0{,}5V_ч$. Здесь масса при изменении ее скорости от нуля до $V_ч$ сначала равна бесконечности, затем «облегчается», достигая минимальной величины при $V_т = 0{,}5V_ч$, затем вновь «утяжеляется», достигая бесконечности при $V_т = V_ч$ (рис. 19.1). Концепция, где масса может увеличиваться, а ускоряющая сила остается постоянной, не имеет под собой физической основы.

Концепция утяжеления массы тела при увеличении ее скорости у Эйнштейна нашла свое дальнейшее развитие и привела к выводу об эквивалентности энергии массе. Рассмотрим это положение Эйнштейна.

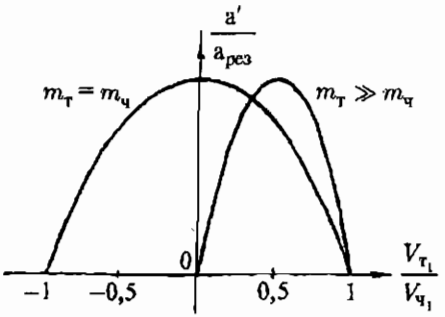

Рис. 19.1

Под действием силы F покоившееся тело с массой

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{V_т^2}{C^2}}},$$

по прошествии времени t приобретает скорость $V_т$ и кинетическую энергию $E_к$.

Изменение кинетической энергии $E_к$ равно:

$$dE_k = F\,dx = \frac{m_0 a\,dx}{\left(1 - \frac{V^2}{C^2}\right)^{3/2}} = \frac{m_0}{\left(1 - \frac{V^2}{C^2}\right)^{3/2}} \frac{dV}{dt}\,dx = \frac{m_0}{\left(1 - \frac{V^2}{C^2}\right)^{3/2}} V\,dV.$$

Интегрирование дает:

$$E_k = \int_0^V \frac{m_0 V}{\left(1 - \frac{V^2}{C^2}\right)^{3/2}}\,dV = \frac{m_0 C^2}{\sqrt{1 - \frac{V_т^2}{C^2}}} - m_0 C^2.$$

Величина

$$\frac{m_0 C^2}{\sqrt{1 - \frac{V_т^2}{C^2}}}$$

названа Эйнштейном $E_п$ — «полной энергией», а постоянная интегрирования $m_0 C^2$ — названа E_0 — «энергией покоя». Таким образом, $E_п = E_к + E_0$. Отсюда, у покоящегося тела $E_к = 0$ и $E_п = E_0$, т. е. покоящееся тело обладает энергией

$$E_п = m_0 C^2.$$

Последнее выражение Эйнштейном трактуется как эквивалентность энергии массе с коэффициентом пропорциональности C^2.

Эта же задача, но с «обычной» (неизменной) массой приводит к другому значению кинетической энергии:

$$E_к = \frac{mV^2}{2}.$$

Численно оба значения $E_к$ совпадают при $V \ll C$. Но главное здесь — в отсутствии «энергии покоя» E_0. У покоящегося тела кинетическая энергия тождественно равна нулю. При ускорении «обычной» массы, с приближением $V_т$ к $V_ч$, энергия источника захватывается все меньше и все больше ее отражается обратно. Тело вовсе не собирает энергию источника «всю до капли» и вовсе не «набухает от энергии». Вся незахваченная энергия уходит вовне безвозвратно. Величина собранной (захваченной) телом энергии определяется только ее массой и достигнутой скоростью. «Энергия покоя», таким образом, целиком и полностью обязана своим появлением той же «массе, увеличивающейся с ростом ее скорости».

Принципы взаимодействия тел не нуждаются в допущении увеличения массы. Поэтому вывод об эквивалентности энергии и массы, формально выведенный из допущения утяжеления тел, также не имеет под собой физической основы.

Укажем на распространенное заблуждение, пришедшее из теории Эйнштейна: принято считать, что уменьшение ускорения тела («утяжеление массы») происходит только при околосветовых скоростях тела. Это неверно. Явление уменьшения ускорения наступает не при больших абсолютных скоростях тела, а при достаточно большом отношении скоростей тела и частицы. В активной гидравлической турбине Пельтона скорость частиц воды ($V_ч$) достигает всего десятков метров в секунду. Соответственно, и окружная скорость лопаток турбины ($V_т$) такого же порядка. Но лопатки турбины движутся именно с «околосветовой» скоростью, обеспечивая резонансный захват энергии частиц воды. — Скорость лопаток равна половине скорости воды. Лоренцовские поправки к законам Ньютона работают и при скоростях, равных всего десяткам метров в секунду. А «релятивистские» соударения железнодорожных вагонов при составлении поездов происходят при скоростях пешехода.

Подведем итог рассмотрению специальной теории относительности, выступающей в качестве теории усовершенствования механики Ньютона.

Сокращение времени и пространства, утяжеление массы Эйнштейну в его специальной теории относительности понадобились для корректировки механики Ньютона с ее неизменной силой.

Теория Эйнштейна построена на основе уравнения Лоренца, и по сути является физической интерпретацией сугубо математических уравнений Лоренца. Поэтому, все выводы вышеизложенного анализа «метода Лоренца» справедливы для специальной теории относительности Эйнштейна.

Во-первых, теория Эйнштейна разработана и может быть применена только к взаимодействию тел с равными массами. **Для взаимодействия тел с неравными массами (а это основа ньютоновской механики) она просто не верна** и не может быть использована на практике.

Во-вторых, даваемые теорией величины координат тела в движущейся системе отсчета не соответствуют реальным значениям, и *представляют собой формально-математические фикции*. Даваемое теорией «удлинение пространства», «замедление времени» не имеют под собой никакой физической основы, и не могут быть использованы на практике.

В-третьих, даваемое теорией «увеличение массы» является всего лишь математическим средством выразить реальный факт уменьшения ускорения тела от увеличения его скорости под действием «неизменной» силы Ньютона (и выведен он только для $m_т = m_ч$). Этот вывод теории не имеет под собой никакой физической основы, и не может быть использован на практике.

В-четвертых, вывод теории об эквивалентности массы и энергии получен чисто **формально-математическим путем из того же «увеличения массы». Поэтому этот вывод также не имеет под собой никакой физической основы.** Эквивалентность массы и энергии вытекает совсем из других реальных физических закономерностей (§ 27).

Таким образом, специальная теория относительности Эйнштейна имеет серьезные принципиальные недостатки, фактически не отвечает своему предназначению, а поэтому не может быть использована в качестве фундаментального дополнения к механике Ньютона.

Принципы взаимодействия тел, являясь частью классической физики, поглощают механику Ньютона вместе с «поправками» Эйнштейна, делая ненужной специальную теорию относительности.

В заключение взглянем на *специальную теорию относительности* Эйнштейна с познавательной, методологической позиции (об этом говорилось в § 5), При разработке ее вперед был пущен мощный математический аппарат (Леви Чивита), оставив самою физику явления «на потом», приспосабливаться под выводы математики. В изложении Р. Фейнмана это выглядит так. «Но как же изменить законы Ньютона, чтобы они при преобразованиях Лоренца не менялись? Когда такая цель поставлена, **то остается только переписать уравнения Ньютона так, чтобы выполнялись поставленные условия.** Как оказалось, единственное, что нужно от них потребовать, — это чтобы масса m в уравнениях Ньютона приобрела вид

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}}.$$

Стоит внести это изменение, и наступает полная гармония между уравнениями Ньютона и Максвелла».

Здесь мы видим откровенно насильственное (по отношению к физике) «выдавливание» нужного физического результата средствами математики, никак не считаясь с самой физикой (в приведенной цитате ее просто нет). Специальная теория относительности Эйнштейна

является образцом погрома, учиненного физике, «математической физикой» (или «физической математикой», есть, оказывается, и то, и другое). Она же (теория) является и ярким доказательством бесплодности этого метода познания, доказательством тривиальной истины: математика — это математика, а физика — это физика, и заменить друг друга они не могут, не опасаясь получить заумные анекдотические «физические » результаты. Впрочем, справедливости ради заметим, что сами приверженцы этого метода познания были о нем невысокого мнения. — «Существует поразительная возможность овладеть предметом математически, не понимая существа дела», А. Эйнштейн.

В заключение дадим сводку уравнений ускорения тела силой.

$$a = \frac{F}{m}, \qquad \text{Ньютон.}$$

$$a = \frac{F}{\frac{m}{\sqrt{1-\frac{V_т}{V_ч}}}}, \qquad \text{Эйнштейн.}$$

$$a = \frac{F\sqrt{1-\frac{V_т}{V_ч}}}{m}, \qquad \text{для удара (единичного взаимодействия } m_т = m_ч\text{)} \text{ — новая механика.}$$

Совпадение уравнений Эйнштейна и новой физики для удара при $m_т = m_ч$, не случайно. Свое уравнение Эйнштейн вывел, как известно, из модели соударения двух тел с равными массами. Еще раз напомним, что удар существенно отличается от продолжительного воздействия силы (§ 11, 12).

Мы рассмотрели, привлекая принципы взаимодействия тел, механику Ньютона, ее ограничения, попытки ее корректировки с помощью специальной теории относительности.

Рассмотрим далее термодинамику, где принципы взаимодействия тел так же дают ряд новых результатов.

§ 20. Термодинамика. Отличие ее от механики

В основе учения о теплоте (термодинамики) лежат законы механики, рассмотренные нами выше с позиций принципов взаимодействия двух тел. Однако здесь имеются специфические особенности, характерные именно для термодинамики. Рассмотрим их (рис. 20.1). Здесь $m_ч$ — это «горячая» молекула, движущаяся со средней скоростью $V_ч$. Молекула находится в замкнутом сосуде, образованном из цилиндра с подвижным поршнем $m_т$.

Очевидно, что всегда $m_ч \ll m_т$. Молекула ускоряется источником тепловой энергии, «печкой» П. Так как сосуд замкнут, молекула

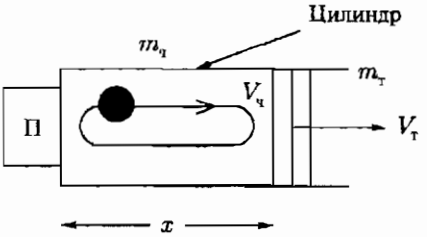

Рис. 20.1

в сосуде циркулирует туда и обратно, поэтому она печкой ускоряется и нагревается многократно, а молекула соответственно многократно ускоряет («ударяет») поршень $m_т$. Здесь происходит близкодействие (§ 11) между печкой и поршнем посредством молекулы, в отличие от силы «ветра» в механике, где частица $m_ч$ взаимодействует с $m_т$ только однократно. При движении поршня от печки поршень ускоряется молекулой, а молекула им тормозится. При движении поршня к печке поршень тормозится, а молекула им ускоряется.

Из рис. 20.1 видим, что поршень имеет возможность двигаться назад от печки («пятиться») на величину X.

Наконец, поршень имеет возможность изменить направление своего движения и возвращаться обратно к печке (например, кривошипно-шатунным механизмом).

Рис. 20.1, в сущности, охватывает все основные составные элементы термодинамики.

Таким образом, принципиальным отличием термодинамики от механики являются не однократные взаимодействия $m_ч$ с $m_т$, как в механике («дальнодействия»), а многократные взаимодействия $m_ч$ с $m_т$ («близкодействия»).

§ 21. «Термодинамический» способ захвата энергии частицы $m_ч$ телом $m_т$

Рассмотрим взаимодействие молекул горячего газа со стенками цилиндра и поршнем (рис 21.1). Здесь «частица» — молекула газа, «тело» — поршень или стенки цилиндра. Масса поршня много больше массы молекулы газа, т. е. $m_т \gg m_ч$. График функции взаимодействия для $m_т \gg m_ч$ приведен на рис. 21.2.

Скорость стенок цилиндра равна нулю. Из графика функции взаимодействия видим, что молекулы газа стенкам энергию не отдают, $Z_ч = 0$, что тривиально.

Скорость поршня, в принципе, может быть любой, этот параметр в теплотехнике никак не регламентируется. Но из графика видим, что количество энергии, отдаваемой молекулами газа поршню, жестко

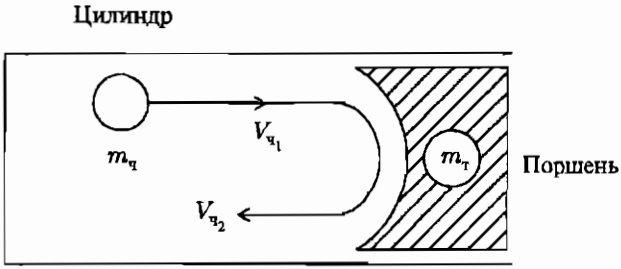

Рис. 21.1

зависит от скорости поршня. При $V_т = 0$ или $V_т = V_ч$ $Z_ч = 0$. В первом случае поршень является просто «стенкой» цилиндра, а во втором случае поршень убегает от молекулы со скоростью молекулы и взаимодействия не наступает.

Максимальный захват энергии молекул происходит при скорости поршня $V_т = 0{,}5V_ч$. **Поршень, оказывается, не просто должен произвольно двигаться под давлением газа, но сам должен «пятиться» с нужной скоростью.** Только в этом случае удается захватить всю энергию горячих молекул газа.

Это важный вывод для теплоэнергетики. Тепловые машины способны удовлетворительно работать, только следуя принципу захвата энергии молекул. Только в этом случае достигается максимально возможный термический КПД.

Отметим, что такие «правильные» тепловые машины уже существуют. Это детандеры (поршневые и турбинные), используемые для охлаждения газов. Турбодетандер Капицы, например, принимая газ с температурой около $+800°$ С, отдает его с температурой $-20°$ С. Такой глубокий захват тепловой энергии машина обеспечивает при использовании принципа взаимодействия.

В газовых турбинах авиационных двигателей типичная величина температуры газа T_1 перед турбиной равна 1400 К, а температура газа T_2 после турбины равна 1000 К. Отсюда коэффициент полезного

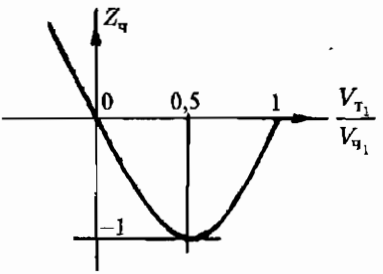

Рис. 21.2

действия турбины равен

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{1400\ \text{K} - 1000\ \text{K}}{1400\ \text{K}} = 0{,}28,$$

или $\eta = 28\ \%$ (типичная величина).

Для увеличения КПД турбины выгодно увеличить температуру газа перед турбиной. В современных двигателях она доведена до 1600 К, что дает $\eta = 37\ \%$ (рекордная величина). Применение «детандерной» газовой турбины, благодаря глубокому захвату кинетической энергии молекул газа, дает гораздо более высокий прирост КПД — при $T_2 = 270$ К (0° С).

$$\eta = \frac{1400\ \text{K} - 270\ \text{K}}{1400\ \text{K}} = 0{,}8,$$

или $\eta = 80\ \%$.

Таковы реальные возможности поступательного резонанса в теплотехнике, вытекающего из принципов взаимодействия тел. В авиационных двигателях только около 30 % химической энергии топлива расходуется непосредственно на создание тяги, а примерно половина уходит с теплом выхлопа. Применение «детандерной» газовой турбины существенно уменьшит долю бесполезно выбрасываемого топлива.

На модели газ — поршень мы нашли оптимальный режим тепловой машины. Но физическая сущность модели более глубока. Модель газ — поршень демонстрирует принцип суммирования энергий большого количества хаотично двигающихся молекул и превращения их в энергию упорядоченно (прямолинейно) двигающегося поршня. «Пятящийся» с необходимой скоростью поршень выполняет работу «демонов Максвелла», благодаря резонансному захвату энергии молекул. «Демоны Максвелла» не только возможны, они работают в каждой тепловой машине.

Благодаря возможности суммирования энергий хаотично движущихся молекул (теплоты) и превращению ее в упорядоченное движение поршня (работу) становится возможным превращение теплоты в работу.

В возможности суммирования энергий хаотично движущихся молекул, благодаря резонансу, состоит физическое обоснование Первого начала термодинамики.

В § 9 было показано, что абстрактная энергия частицы, равная $E_ч = \frac{m_ч V_ч^2}{2}$, реального значения не имеет. Реальная энергия частицы, равная $RE_ч = E_ч \cdot [-Z_ч]$, зависит от величины $Z_ч$. А при $m_т \gg m_ч$ величина $Z_ч$ не равна нулю только при не равной нулю скорости тела, то есть энергия частицы (молекулы) может быть захвачена только движущимся поршнем.

Мало этого, поршень $m_т$ должен двигаться с определенной скоростью, в зависимости от величины $V_ч$ и т. д. Все эти условия превращения абстрактной энергии хаотично движущихся молекул в реальную

энергию (механическую работу) можно объединить и представить в реальной («материальной») форме — в форме «тепловой машины». Вне машины, без машины «голая» абстрактная энергия молекул не имеет никакого практического содержания. «Тепловая машина» — это материализованное описание способа захвата энергии молекул согласно нашим принципам взаимодействия двух тел.

Таким образом, наши принципы взаимодействия двух тел «научно» раскрывают физическую сущность Первого начала термодинамики, феноменологически сформулированного Клаузисом.

§ 22. Реализация термодинамического способа захвата энергии горячих молекул

Способ захвата энергии хаотично движущихся молекул предопределяет безусловное наличие у поршня скорости $V_т$. Скорость, естественно, может быть только у двигающегося поршня. А движение поршня (здесь — назад от «печки») возможно только при наличии «пустого» (свободного от молекул) пространства позади поршня.

Наличие свободного от молекул пространства позади поршня есть абсолютно необходимое условие для захвата энергии молекулы газа, реализации ее абстрактной энергии.

Во многих практических случаях это «свободное пространство» может быть обособленной областью, где скорость молекул (температура газа) ниже, чем скорость «работающих» горячих молекул перед поршнем. Условимся называть эту область «холодильником».

Очевидно, что чем «длиннее» свободное пространство, чем ниже температура холодильника, тем больше реальной энергии возможно захватить от горячей молекулы. И наоборот, с увеличением температуры холодильника (или при сокращении длины свободного пространства) реальная величина работы молекулы уменьшается, вплоть до полного прекращения возможности ускорения поршня молекулой. Несмотря на это, у молекулы величина абстрактной энергии $E_ч = \frac{m_ч V_ч^2}{2}$ по-прежнему сохраняется на прежнем уровне. Происходит не пресловутое «обесценивание энергии», а перестает работать механизм захвата энергии молекулы — «тепловая машина».

§ 23. Практическое воплощение «тепловых машин»

Наиболее простой тепловой машиной является одноразовая «тепловая машина Джоуля». Типичным примером ее является артиллерийское орудие. Здесь «печкой» является пороховой заряд, «поршнем» — снаряд, «холодильником» — атмосферный воздух. Чем длиннее ствол пушки («свободное пространство» для движения снаряда),

тем мощнее машина — пушка. Очевидным недостатком (ограничением) такой тепловой машины является ее одноразовое действие. После каждого акта ускорения снаряда (выстрела) необходимо возвращать его на место, разобрав «сосуд» (открыв затвор пушки), и заложить новую порцию источника тепла для нагрева молекул — пороховой заряд. Достоинство «машины Джоуля» — высокий термический КПД, равный 100 %. Все изменение величины теплоты — тепловой энергии — превращается в механическую работу. При продолжительном резонансном ускорении тела (§ 12), в принципе, ничто не мешает затормозить («загрузить») молекулы газа до абсолютного нуля. В результате вся тепловая энергия молекулы превратится в механическую работу.

Наконец, «тепловая машина Джоуля» обратима: подведенная к машине механическая энергия вся превращается в теплоту (также с КПД = 100 %).

Наиболее широкое применение нашла **циклическая** тепловая машина — машина Карно (рис. 23.1).

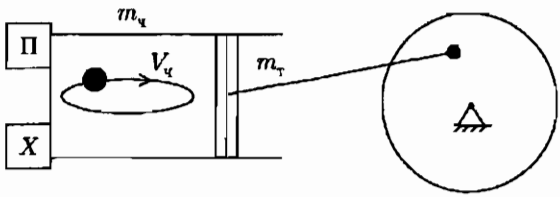

Рис. 23.1

Здесь свободное пространство для поршня существенно короче (по сравнению с длиной ствола пушки). Поршень в исходное положение возвращается кривошипно-шатунным механизмом.

Рассмотрим работу тепловой машины. В момент нахождения поршня в верхней мертвой точке кратковременно включается печка П, молекулы газа ускоряются и, в свою очередь, ускоряют поршень, тормозясь (остывая) при этом. Затем поршень, двигаясь от нижней мертвой точки к верхней, сжимает остывший газ до исходного значения. Вновь включается печка, и цикл повторяется.

К сожалению, такой совершенный цикл работы тепловых машин невозможен. Причиной этого является «незапланированное» ускорение молекул (нагрев) при движении поршня в исходное положение (§ 24). В результате через несколько циклов температура газа в цилиндре сравняется с температурой печки, теплота перестанет переходить от печки к газу и машина перестает работать. Поэтому на всем протяжении хода поршня в исходное положение необходимо выводить из цилиндра «незаконно» возникающее тепло. Для этого существует холодильник Х, включающийся при ходе поршня в исходное положение. Таким образом, в тепловой машине для возможности

превращения тепловой энергии в механическую принципиально необходимо «платить дань» — бесполезно выбрасывать вовне часть тепловой энергии.

Как видим, расточительность тепловых машин Карно заложена в самом принципе их работы и не может быть существенно (значимо) уменьшена.

§ 24. Работа, совершаемая при сжатии газа (взаимодействие при $m_ч \gg m_т$)

Рассмотрим явления в модели **газ — поршень** при возврате поршня в исходное положение. В этом случае роли молекул и поршня меняются: поршень становится источником энергии, а молекулы захватывают энергию. График функции взаимодействия для $m_т \ll m_ч$ приведен на рис. 24.1

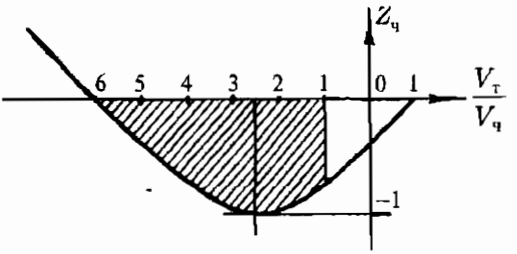

Рис. 24.1

Из графика видно, что молекулы газа ускоряются и при подходе к поршню ($-V_т$), и при отходе от поршня ($+V_т$), до тех пор пока скорость молекул меньше скорости поршня (незаштрихованная часть графика).

После превышения скоростью молекул скорости поршня газ продолжает нагреваться и скорость молекул становится в несколько раз больше скорости поршня. Энергия идет от «холодного» поршня к «горячим» молекулам (заштрихованная часть графика). Обратная передача энергии от горячего газа к поршню здесь исключается, ибо для этой операции горячая молекула — «частица», а холодный поршень — «тело», причем $m_т \ll m_ч$. А для такого условия $Z_ч = 0$, т. е. энергия молекул поршнем не захватывается. Увеличение температуры газа продолжается до достижения скорости молекул, где $Z_ч = 0$.

Из графика видно, что существует скорость молекул (температура газа) $V_{т_1}$, при которой нагрев газа резонансный, когда молекулы газа забирают всю энергию поршня.

Наконец, есть предельно достижимая температура газа $V_{т_1}$, превысить которую при конкретной скорости поршня $V_{ч1}$ невозможно.

Изменение объема газа в замкнутом сосуде возможно только при помощи перемещения какого-либо вида «поршня», что неизбежно приводит к ускорению или замедлению скорости молекул, т. е. к изменению энергии молекул. **Перемещение поршня без изменения энергии молекул газа невозможно.** Явления в газе при этом, как видно, существенно зависят и от скорости перемещения поршня. Поэтому термодинамика, построенная на концепции статического «состояния газа» $\frac{pV}{T} = \text{const}$, физически некорректна.

Термодинамика, скорее, есть «термостатика», ибо никак не учитывает скорости процессов в системе газ — поршень, что обедняет ее познавательную ценность.

§ 25. Передача теплоты от одного тела к другому. Второе начало термодинамики

Рассмотрим взаимодействие горячей стенки цилиндра («печки») с молекулами (рис. 25.1).

Печка нагревается извне и совершает быстрые тепловые колебательные движения со скоростью $\pm V_т$. При своем движении печка ускоряет молекулы газа. Здесь «частица» — печка, а «тело» — молекулы газа. Примем $m_ч = 3m_т$.

График функции взаимодействия для $m_ч = 3m_т$ приведен на рис. 25.2. При движении молекулы навстречу печке ($-V_т$) печка вкачивает в молекулу свою энергию. В частности, при $V_ч = -V_т$, вкачивание энергии резонансное, $Z_ч = -1$. Отметим, что при встречных скоростях печки и тела печка способна вкачивать свою тепловую энергию в молекулу, несмотря на то, что печка может быть холоднее молекулы ($-V_т > V_ч$). После качка печки навстречу молекуле печка должна вернуться в исходное положение, должна качнуться в обратную сторону.

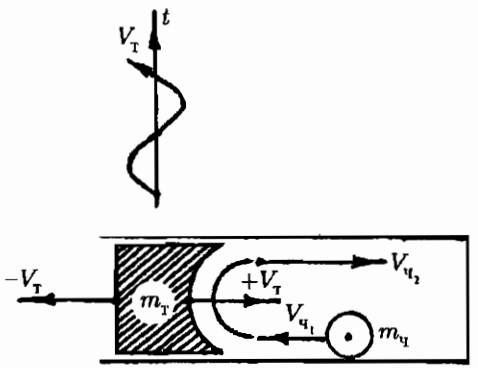

Рис. 25.1

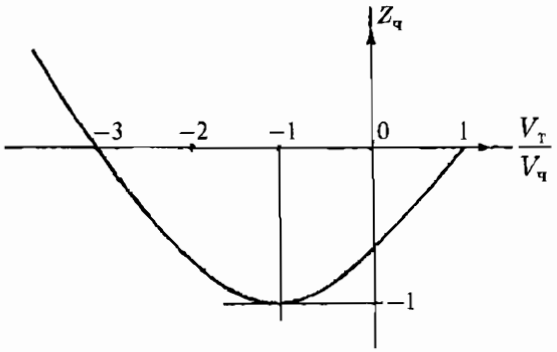

Рис. 25.2

Здесь, при обратном движении печки, проявляется важное явление. Если скорость печки меньше скорости молекулы ($V_ч < V_т$), более быстрая молекула газа догонит печку и отдаст ей свою энергию, только что приобретенную от холодной печки. Передача энергии от холодной печки к горячей молекуле, в конечном счёте, не состоялась.

И напротив, если скорость печки больше скорости молекулы ($V_ч > V_т$), молекула не догонит печку и вкаченная в молекулу от печки энергия при их встречном движении остается у молекулы ($Z_ч = 0$). Таким образом, возможность однонаправленного движения тепловой энергии обязана не самому акту передачи энергии, а **созданию условия невозврата полученной энергии обратно.**

Благодаря превышению температуры печки над температурой газа возможна безвозвратная передача тепловой энергии между ними. В возможности создания условия для невозврата полученной тепловой энергии обратно и состоит **физическое обоснование Второго начала термодинамики.**

Уточним условие невозврата полученной тепловой энергии обратно. В § 6 показано, что при определенном соотношения их масс и скоростей тело и частица не взаимодействуют, $Z_ч = 0$. При равенстве $-\frac{V_т}{V_ч} = \frac{m_з}{m_т}$ ничто никого не ускоряет, не нагревает. Это соотношение и является **граничным условием выполнения Второго начала термодинамики.**

В условия выполнения Второго начала термодинамики входят не только соотношения скоростей (температур), но и соотношения масс взаимодействующих тел.

§ 26. Колебательный тип взаимодействия тел ($m_т = 3m_ч$)

В предыдущем параграфе была рассмотрена передача энергии от колеблющейся частицы («печка») к телу (молекула газа). Там

происходило превращение колебательной энергии «печки» в энергию поступательного движения молекул.

При некоторых определенных условиях возможно и обратное явление — превращение энергии поступательного движения частиц в энергию колебательного движения тела. Это важный вид явления природы — возбуждение колебаний колебательной системы в линейном потоке частиц. Этому явлению обязаны своим возникновением многочисленные виды «возбуждений» в природе, возникновение самих колебательных систем (электронов, протонов, короткоживущих элементарных частиц). Рассмотрим модель колебательного взаимодействия тел (рис. 26.1). Здесь попеременно меняется направление движения тела, отчего попеременно изменяется условие захвата энергии частицы от максимального значения до нуля.

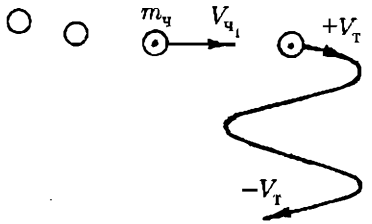

Рис. 26.1

Рассмотрим график функции взаимодействия ряда частиц и колеблющегося тела при $m_т = 3m_ч$ (рис. 26.2). Здесь тело попеременно взаимодействует с частицами в двух режимах:

— тело догоняется частицей и резонансно ускоряется ею ($Z_ч = -1$);

— затем тело сталкивается с очередной частицей без обмена энергией ($Z_ч = 0$) и т. д.

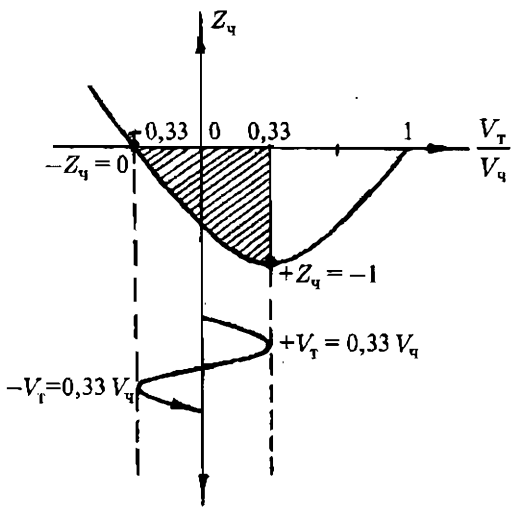

Рис. 26.2

Тело, таким образом, приобретает энергию от каждой частицы при догоне, но не отдает им приобретенную энергию при лобовом столкновении с ними.

Рассмотренный тип взаимодействия действительно аналогичен взаимодействию типа печка — газ. Различие их в направлении движения энергий: от колебаний — к линейному движению, и наоборот, от линейного движения к колебательному. На основе колебательного типа взаимодействия работает газодинамический лазер на CO_2. В нем энергия поступательного движения атомов азота N превращается в энергию колебательного движения молекул углекислого газа CO_2. Здесь роль $m_ч$ играет атом азота (атомный вес 7), а роль $m_т$ — молекула CO_2 (атомный вес углерода 6, атомный вес кислорода $2 \cdot 8 = 16$, всего $16 + 6 = 22$). Соотношение весов CO_2 и N равно $22 = 3{,}14$, что близко к оптимальному 3.

Для этого типа взаимодействия важно наличие ярко выраженного **поступательного движения частиц** $m_ч$. Действительно, в газодинамическом лазере атомы азота в виде плазмы линейно ускоряются в сопле Лаваля генератора газа. Поэтому эти лазеры являются самыми мощными из существующих типов. Как известно, в «обычных» лазерах накачка энергии производится в виде хаотично-теплового движения атомов рабочего газа.

§ 27. Классическая термодинамика и принципы взаимодействия двух тел

В классической термодинамике существует до 18 вариантов формулировки Второго начала термодинамики. Самые известные (признанные) из них две: Клаузевица и Томсона.

Из содержания параграфов 23 и 25 видим, что формулировки Клаузевица и Томсона относятся к различным явлениям. Формулировка Клаузевица «Теплота на может переходить сама собой от более холодного тела к более теплому» действительно может быть Вторым началом ввиду ее общности и фундаментальности. Формулировка же Томсона «Теплоту какого-либо тела невозможно превратить в работу, не произведя никакого другого действия, кроме охлаждения этого тела» относится только к частному разделу термодинамики — к тепловым машинам, причем только к циклическим. Поэтому она вовсе не «эквивалентна» формулировке Клаузевица, как это обычно преподносится.

В классической термодинамике (или, точнее, «около нее») чрезвычайно популярна идея использовать «дармовую энергию тепла океанов» и т. п. Сочиняются «научные» работы типа «Бестопливной энергетики», где ищут лазейку во Втором начале термодинамики, наивно полагая, что достаточно «иначе сформулировать Второе начало», и «дармовая энергия хлынет в наши дома».

Это происходит от непонимания того, что величина $E_ч = \frac{m_ч V_ч^2}{2}$ есть не «энергия» частицы (способность частицы произвести реальную работу), а в лучшем случае является только неким «описанием состояния частицы», где указана ее масса $m_ч$ и ее скорость в некой абстрактной системе отсчета. Реальная способность произвести работу («энергия» частицы), как мы видели в § 9, равна $RE_ч = E_ч \cdot [-Z_ч]$, где коэффициент $Z_ч$ характеризует целый «частокол» условий, только при выполнении которых абстрактная энергия $E_ч$ может превратиться в реальную энергию. Одна абстрактная энергия $E_ч = \frac{m_ч V_ч^2}{2}$ есть полная бессмыслица в практической энергетике. В классической термодинамике с этим же непониманием связаны утверждения об «обесценивании энергии». Энергия частицы в определенных условиях не «обесценивается», а не может быть захвачена.

Большое внимание уделяется в термодинамике понятию «энтропия». Имеются многочисленные разные толкования физического содержания энтропии, что дало повод Джону фон Нейману сказать, что «никто не знает, что такое эта энтропия на самом деле».

Превращение тепла в работу, как мы видели, никогда не происходит полностью, часть тепла всегда должна переходить от тела с более высокой температурой (печка) к телу с более низкой температурой (холодильник). Часть теплоты (энергии) «обесценивается». В качестве меры этого обесценивания Клаузис и ввел понятие энтропии. Энтропия находится («вычисляется») из расчетов для цикла Карно, используя понятие термодинамического КПД:

$$\text{КПД} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}.$$

Выше было показано, что термодинамический КПД тепловых машин — это аналог параметра взаимодействия двух тел $Z_ч$. Таким образом, «энтропия» — это другая форма записи величины $Z_ч$. Заметим, что уменьшение $Z_ч$ соответствует увеличению энтропии.

В статистической теории газов величина энтропии определяется как логарифм числа состояний молекул газа, разделенных «перегородкой». В этой модели принципиальная необходимость «свободного места позади поршня» (холодильника) для реализации абстрактной энергии «горячих молекул» выражена в наиболее наглядной форме:

> *Чем меньше разница населенности (или температур) молекул в двух разделенных областях сосуда («печка» и «холодильник»), тем меньше величина $Z_ч$, следовательно, тем меньше величина реализуемой реальной энергии, тем больше «обесценивание» энергии, тем больше энтропия. При нулевой разнице температур энтропия равна единице.*

§ 28. Новая механика в атомном мире. Модель абстрактного атомного тела. Кинематика движения атомного тела. Длина шага атомного тела. Корпускулярно-волновой дуализм атомного тела. Ускорения атомного тела силой. Кинетическая энергия атомного тела. Отражение атомного тела от препятствия. Квантование энергии атомного тела

В предыдущих параграфах в процессе рассмотрения взаимодействия двух тел различного характера была конкретизирована и «материализована» одна из компонент взаимодействующей пары — частица $m_ч$. В результате этого пришли к более глубокому пониманию сущности силы, ускоряющей тело $m_т$, пришли к новой механике (§ 15).

Что касается второй компоненты пары — тела $m_т$, его мы принимали в виде элементарного (неделимого) физического построения, например, в виде «шарика» с массой $m_т$. Такая модель тела, как мы видели, удовлетворительно работает в механике, теплотехнике, электрике. В этих областях физики ускоряемые силой макротела являются совокупностью большого количества элементарных («атомных») тел: электронов, протонов. Поэтому, здесь имеем дело с усредненными, «сглаженными» свойствами многих атомных тел. Таких свойств всего два: величина суммарной массы тел $m_т$ и скорость движения центра масс $V_т$. Специфические же свойства отдельных атомных тел здесь или вовсе не проявляются, или игнорируются из-за «ненадобности».

При рассмотрении явлений в атомном мире (микромире), естественно, необходимо рассматривать взаимодействия отдельных атомных тел, со всеми их специфическими свойствами.

Атомные тела, хотя и имеют специфические свойства, тем не менее подчинены тем же фундаментальным принципам взаимодействия двух тел, имеющим всеобщий характер в реальном физическом мире. Поэтому, для того, чтобы новая механика могла работать и в атомном мире, было необходимо на основе принципов взаимодействия двух тел раскрыть физическую сущность еще и ускоряемого тела. Таким образом, новая механика вобрала в себя не только «новую силу», но и «новую массу тела»

$$a = \frac{F_н}{m_н}.$$

В результате, новая механика стала универсальным физико-математическим инструментом, способным решать все задачи физики

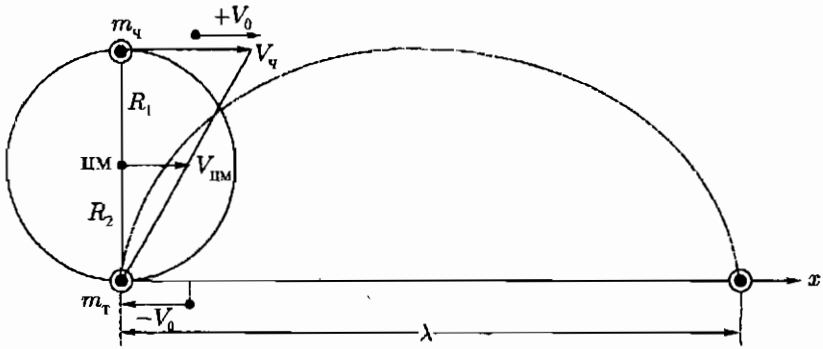

Рис. 28.1

без привлечения несовместимых с классической физикой методов квантовой механики.

Рассмотрим ускоряемое тело $m_т$, представленного в виде неэлементарного атомного тела. На рис. 28.1 дана его абстрактная модель. По этой модели может быть составлено его математическое описание — дифференциальное уравнение атомной частицы — наш аналог уравнения Шредингера. Рассмотрение модели будем проводить в соответствии с нашим «правилом» построения физических моделей (§ 5). Согласно им модель должна содержать в себе все три сущности явления: перечень действующих элементов, кинематическую связь элементов между собой, энергетические зависимости между элементами.

Состав атомного тела

Атомное тело состоит из трех элементов: массы $m_ч$, равной ей массы $m_т$ и связки $R_0 = R_1 + R_2$. Масса $m_ч$, тормозясь, ускоряет массу $m_т$, но после завершения акта передачи энергии масса $m_т$ не «отцепляется» от нее. Поэтому, далее масса $m_т$, тормозясь, ускоряет массу $m_ч$ и т. д. Происходит непрерывное периодическое взаимодействие двух масс. Таким образом, массы $m_ч$ и $m_т$ образуют «гантель», катящуюся без скольжения со скоростью центра масс $V_{ЦМ}$.

Массы $m_ч$ и $m_т$ имеют **различную физическую природу**, например, механическую и электрическую. Тогда, наблюдая и воздействуя на тело механическими средствами, в модели тела будем иметь дело только с массой $m_т$, а наблюдая и действуя электрическими средствами, будем иметь дело только с массой $m_ч$. Так, например, в «двух лицах» выступает обычный электромотор: как электрическое устройство с соответствующими электрическими параметрами и как механическое устройство с механическими параметрами. Между этими параметрами «нет ничего общего» — они **из различной физической природы**. Но тем не менее они связаны неразрывным

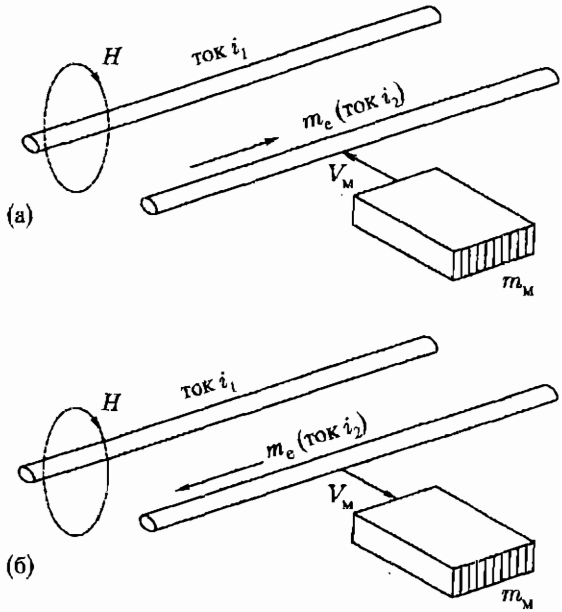

Рис. 28.2

единством сущности электромотора — «двуликого» электромеханического устройства. В результате, наблюдать и взаимодействовать в модели тела мы будем только с одной массой, например, с $m_т$. От этого модуль тела из «гантели» у нас превращается в «булаву», сделанную из массы $m_т$ и связки R_2.

В заключение, говоря о составе атомного тела, заметим, что «идея» построения составных тел из компонент различной физической сущности более глубока и общна (универсальна), она лежит в основе всего мироздания. Она является основой как в явлениях более элементарных материй, чем атомные тела, так и в материях более сложных. К первым относится электромагнитная волна Максвелла. Здесь «магнитная» материя взаимодействует с «электрической». Присутствуют здесь и свои «постоянная Планка» — магнитная проницаемость эфира μ и диэлектрическая постоянная эфира ε.

Ко вторым, макроскопическим явлениям, относятся «электромотор» и «электрогенератор» Фарадея (рис. 28.2).

В генераторе (а) механическая масса $m_м$, тормозясь, ускоряет электрическую массу m_e — возникает электрический ток i_2. В моторе (б) электрическая масса m_e (i_2), тормозясь, ускоряет механическую массу $m_м$ — возникает вращающий момент силы мотора.

Кинематика атомного тела

Кинематика атомного тела определяется принципами взаимодействия двух тел. Здесь «два тела» — это масса $m_ч$ и $m_т$. Согласно принципам, длина связки R_2 обратно пропорциональна величине окружной скорости $V_{от}$ массы $m_т$. Они связаны соотношением

$$h = 2\pi m_т R_2 V_{от},$$

где h — постоянная Планка (§ 10).

Булава, вращаясь, делает «шаги». **Атомное тело двигается шагами.**

Из модели непосредственно видим, что длина шага тела равна $\lambda = 2\pi R_2$.

Найдем выражение для длины шага

$$\lambda = V_{цм} \cdot 2t = \frac{V_ч}{2} \cdot \frac{2\pi R_2}{V_{от}} = 2\pi R_2.$$

Значение R_2 находим из постоянной Планка:

$$R_2 = \frac{h}{2\pi m_т V_{от}}.$$

Отсюда

$$\lambda = \frac{2\pi h}{2\pi m_т V_{от}} = \frac{h}{m_т V_{от}}.$$

Учитывая, что $V_{от} = V_{цм}$, находим

$$\boxed{\lambda = \frac{h}{m_т V_{цм}}.}$$

(Заметим, что полученное выражение в квантовой механике соответствует длине волны де Бройля.)

Из уравнения видим, что чем больше скорость у тела (больше энергии), тем короче и чаще его шаги. Также очевидно, что при нулевой скорости длина волны будет равна бесконечности — атомное тело вырождается. Таким образом, **покоящегося атомного тела не может быть.** (Заметим, что по этой причине невозможен и «квантовый гармонический осциллятор», традиционно описываемый в квантовой механике.)

Как видим, **атомное тело двигается по сложной траектории — циклоиде.**

Параметры циклоиды

$$x = R(1 - \sin\alpha), \quad y = R(1 - \cos\alpha),$$

где α — есть угол вращения «булавы», а $R = \frac{h}{2\pi m V_{от}}$. В результате, скорость движения тела и величина его импульса периодически

изменяется (модулируется). Следовательно, здесь нет того элементарного закона плавного движения материального тела, где всегда есть неизменная (немодулированная) текущая координата и неизменный импульс. Траектория атомного тела более вычурна, но совершенно **определенна и однозначна**. В поведении атомного тела нет **никаких «принципиальных» вероятностей**. (В отличие от представлений в квантовой механике.)

Корпускулярно-волновой дуализм атомной частицы

Атомное тело — «булава» может воздействовать на некий приемник энергии, сообщая ему импульс определенного направления (рис. 28.3). Если в момент встречи «булавы» с приемником масса $m_т$ оказывается в начале шага, вертикальная составляющая импульса направлена вверх. Если в конце шага — то вниз. Теперь, если на приемник воздействуют две «булавы» с одинаковыми длинами шагов, но со сдвигом фаз шагов, импульсы от двух булав в приемнике или сложатся, или вычтутся. **В этом заключается физическое явление интерференции двух атомных тел.** (Заметим, что фраза «две волны интерферируют друг с другом» лишена физического смысла: волны подчинены принципу суперпозиции и не могут ни «усиливать» друг друга, ни «гасить». Алгебраическое «сложение» амплитуд волн происходит только в приемнике.)

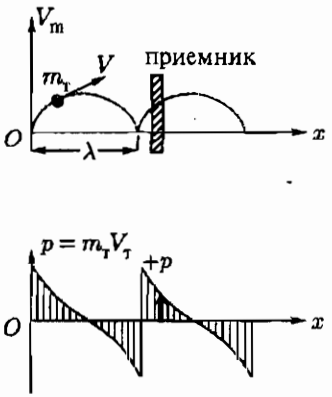

Рис. 28.3

Как видим, **атомные тела интерферируют подобно волнам.**

Однако, здесь есть и отличия от интерференции волн, связано оно не с самой интерференцией (они физически идентичны), а с **методом наблюдения** (регистрации) интерференции атомных тел.

При наблюдении интерференции волн мы в **приемнике волн непосредственно** видим алгебраическую сумму действий амплитуд двух волн. Приемник **изменяет величину амплитуд** своих колебаний, *«изображая»* интерференциональную картину.

При наблюдении интерференции атомных тел используют «регистраторы элементарных частиц», например, счетчик Гейгера. Счетчики срабатывают при достижении заданного порога алгебраической суммой импульсов от действия двух тел. Таким образом **сложение импульсов** происходит **аналогово**, как и в случае с волнами. Но **результат** сложения получаем в виде **частоты срабатываний** счетчика, в дискретной форме. Чем ближе фазы шагов тел друг к другу, тем больше суммы величин импульсов, тем чаще срабатывает счетчик.

Происходит **«перевод» амплитуд в частоты срабатываний** счетчика. В результате интерференционная картина здесь изображается **не амплитудами**, как в случае с волнами, а **частотами срабатывания счетчика.** (Эти частоты в квантовой механике принято называть «вероятностями».)

При воздействии на приемник только одного атомного тела интерференция, естественно, не может появиться. Поэтому здесь атомное тело проявляет себя как **«простое» элементарное тело, имеющее импульс и энергию.**

Как видим, **корпускулярно-волновой дуализм** атомного тела обязан всецело его «способу движений» — **движению шагами.**

Заметим, что поскольку атомные тела являются основой всего реального мира, в «шагании» заложена **сама сущность понятия «движение». Движение — это «шагание».**

Ускорение атомного тела силой

Масса $m_т$ булавы, двигаясь по циклоиде, изменяет свою скорость от нуля до $2V_0$. Обычно тело двигалось бы с неизменной скоростью $V_{цм}$. В результате, коэффициент захвата энергии частиц изменяется также от нуля до максимальной величины, что приводит к **модуляции величины ускоряющей силы от нуля до F.** Атомное тело «воздействует» на ускоряющую его силу в гораздо большей степени, чем «обычное» тело, периодически уменьшая ее до нуля. Это открывает новые возможности в технике ускорения атомных тел (электронов, протонов).

Кинетическая энергия атомного тела

Поскольку скорость атомного тела неравномерна, кинетическая энергия его также модулирована. Максимальное значение энергии, очевидно, находится «наверху» циклоиды, где скорость тела равна сумме окружной скорости и поступательной

$$V_т = V_{от} + V_{цм} = 2V_{от}.$$

Отсюда

$$E_{т\,мх} = \frac{m_т(2V_{от})^2}{2} = 2m_т V_{от}^2.$$

В этот момент энергия массы $m_ч$ равна нулю, так как вся энергия «гантели» находится у массы $m_т$. Она, естественно, неизменна, не модулируется. Следовательно, средняя величина энергии массы $m_т$ и массы $m_ч$ равна половине этой максимальной величины

$$E_{т\,ср} = m_т V_{от}^2.$$

Учитывая, что

$$V_{от}^2 = \omega^2 R^2, \quad а \quad R^2 = \frac{h}{2\pi m\omega}, \quad V_{от}^2 = \frac{\omega^2 h}{2\pi m\omega} = \frac{h\omega}{2\pi m}.$$

Отсюда

$$E_{\text{т ср}} = m\frac{h\omega}{2\pi m} = \frac{h\omega}{2\pi}.$$

Учитывая, что

$$\omega = 2\pi f, \quad E_{\text{т ср}} = \frac{h2\pi f}{2\pi} = hf,$$

$$\boxed{E_{\text{т ср}} = hf.}$$

Спин атомного тела

Атомное тело, двигаясь шагами, вращается, следовательно обладает моментом количества движения. Параметры двух взаимодействующих тел («гантели») связаны постоянной Планка

$$h = 2\pi m_{\text{т}} V_{\text{от}} R.$$

Отсюда момент количества движения L гантели равен

$$L_{\text{г}} = m_{\text{т}} V_{\text{от}} R = \frac{h}{2\pi} = \hbar.$$

У атомного тела «булавы» одна частица, вместо двух у «гантели». Отсюда, момент количества движения «булавы» равен

$$L_{\text{б}} = \frac{1}{2}\hbar.$$

Как известно, спин S атомного тела приближенно равен моменту количества движения. Отсюда, спин атомного тела равен

$$\boxed{S_{\text{б}} = \frac{1}{2}\hbar.}$$

Наша модель атомного тела — фермион.

Отражение атомного тела от препятствия

«Обычное» тело способно отразиться от препятствия («стенки»), используя свою упругость, в любой момент своего плавного движения. Атомное тело не имеет упругости — оно атрибут жесткого мира электричества (§ 35). Поэтому отразиться от стенки, пойти вспять оно может только в моменты равенства его энергии нулю. Такие моменты (положения) у шагающего тела, естественно, существуют.

В неподвижной системе координат масса $m_{\text{т}}$ тела, двигаясь по циклоиде, изменяет свою скорость от $2V_{\text{от}}$ до нуля. Соответственно кинетическая энергия тела также проходит через нулевые значения, в начале шага и в конце шага. (Полная кинетическая энергия всего тела, конечно, не модулируется, как говорилось выше, у тела есть вторая физическая природа, воплощенная в массу $m_{\text{ч}}$,

энергия тела просто периодически меняет свою природу: например, из механической в электрическую и наоборот.) Таким образом, **атомное тело отразиться от стенки может только в положениях, кратных величине шага.**

Квантование кинетической энергии атомного тела

Рассмотрим движение атомного тела между двумя стенками (рис. 28.4).

Расстояние между стенками равно a. Атомное тело, отражаясь от стенок в моменты равенства кинетической энергии нулю, может двигаться только шагами, кратными расстоянию между стенками

$$\lambda = \frac{a}{n}.$$

Длиной шага однозначно определяется скорость массы m_m и, следовательно, кинетическая энергия тела. Следовательно, величина энергии тела, двигающегося между двумя стенками, **может быть только дискретной.** Мало того, вследствие связи величин m_m, $V_{от}$, R булавы постоянной Планка, дискретные значения энергии имеют и **абсолютные значения.** В этом заключается физическая сущность квантования энергии атомного тела.

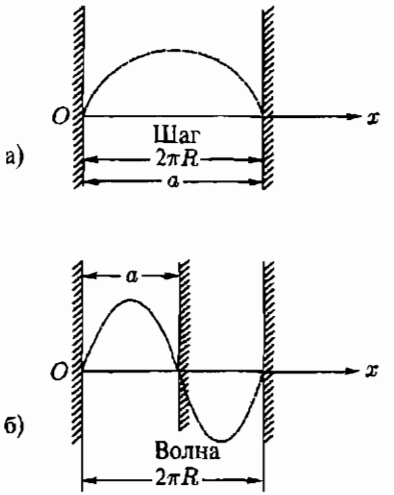

Рис. 28.4

Видим, что **квантовость** атомного тела появляется только при условии **движения его шагами между стенками** и обязана **«закону начала движения тела вспять»**.

Найдем значения квантованной энергии атомного тела. Выразим величину кинетической энергии булавы через величину ее шага λ

$$E_{т\,ср} = m_m V_{от}^2, \quad h = 2\pi m_m R V_{от},$$

$$V_{от} = \frac{h}{2\pi m_{mч} R}, \quad E_{т\,ср} = m_т \frac{h^2}{4\pi^2 m_т 2R^2}.$$

Из модели

$$\lambda = 2\pi R, \quad R = \frac{\lambda}{2\pi}, \quad E_{т\,ср} = \frac{h^2}{m_т \lambda^2}.$$

На расстоянии между стенками a могут уложится n шагов,

$$a = n \cdot \lambda, \quad \lambda = \frac{a}{n},$$

отсюда $E_{\text{т ср}} = \frac{h^2 n^2}{m_\text{т} a^2}$. Или, заменяя h на $h = \frac{h}{2\pi}$,

$$E_{\text{т ср}} = \frac{4\hbar^2 \pi^2 n^2}{m\, a^2}.$$

Два и более атомных тела с существенно различными массами (аналоги массивного протона и легкого электрона) в состоянии образовать некую взаимосвязанную конструкцию — аналог атома, например, водорода, где каждое тело двигается — «шагает» своими шагами. Такая конструкция будет иметь возможность находиться в движении шагами только с некоторыми определенными фиксированными предпочтительными скоростями, определяемыми в конечном счете величиной постоянной Планка. В итоге величина энергии движения шагами всей конструкции будет ступенчатой, а сами ступени будут иметь строго определенную величину. Энергия конструкции (атома) оказывается квантованной.

Модель атомного тела, построенная на принципах взаимодействия двух тел, позволяет построить наглядные, информативные, «материальные» физические модели всех явлений в атомном мире, включая сюда модель «учебного» гармонического осциллятора (это всего лишь «математический полигон» квантовой механики — реально такой осциллятор в атомном мире не может существовать), модель реального атома взамен модели атома Бора, модель туннельного эффекта в твердом теле, модели зонной теории кристаллов и полупроводников.

Классическая физика по-прежнему способна решать все задачи реального мира.

§ 29. Принципы взаимодействия двух тел и теория канонически сопряженных величин Гамильтона. Основы квантовой механики

В предыдущем параграфе § 28 мы получили ряд закономерностей, вытекающих из физической модели взаимодействия двух тел со связкой переменной длины. Аналогичные закономерности найдены и в квантовой механике. Однако получены они там не из физической модели, а из общего уравнения динамики аналитической механики Даламбера—Лагранжа. Рассмотрим эти первоосновы квантовой механики с позиции принципов взаимодействия двух тел.

Первоосновой квантовой механики является теория канонически сопряженных переменных, разработанная Гамильтоном. Как известно, в аналитической механике уравнения Лагранжа представляют собой n обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка для обобщенных координат. Гамильтон показал, что эти уравнения

возможно свести к системе $2n$ уравнений первого порядка. Такого рода упрощение математического описания физических явлений возможно только при объединении первичных независимых параметров явления в укрупненные блоки, оговорив заранее правила (законы) их объединения.

В качестве таких укрупненных блоков Гамильтон к первичным независимым переменным уравнений Лагранжа ввел обобщенный импульс и энергию, составленные («сблокированные»), естественно, из тех же первичных переменных. В результате образовалась еще более формальная, «искусственная», аналитическая механика, построенная на некой «первичной» фундаментальной закономерности в природе, общей и для механики и для оптики. Считалось, что «первичная» закономерность есть чисто математический формализм («формализм Гамильтона»), пока де Бройль не показал ее физическую реальность. В ней показано существование некой «первичной» фундаментальной закономерности в природе, из которой возникли механика и оптика. Эта «первичная» фундаментальная закономерность соответствует нашей модели взаимодействия двух тел со связкой переменной длины. Покажем это.

Гамильтон нашел, что из этой фундаментальной зависимости вытекают следующие два следствия.

1. Энергия и время, а также координата и импульс, естественным образом («канонически») сопряжены между собой некоторой константой (отсюда наименование теории). Действительно, из нашей модели взаимодействия двух тел следует, что эти величины сопряжены друг с другом константой — постоянной Планка:

$$Et = h \quad \text{и} \quad xp = h.$$

2. Взаимодействие в природе происходит согласно принципу наименьшего действия или принципу Гамильтона: «Среди функций, описывающих движение какой-либо частицы из одной точки координат в другую точку координат, происходящее за интервал времени от нуля до t, действительному движению, наблюдаемому в природе, соответствуют лишь те, для которых интеграл

$$L = \int_0^t (E_п - E_к)\, dt,$$

где $E_п$ — потенциальная энергия частицы, $E_к$ — кинетическая энергия частицы, имеет минимальное значение».

Нетрудно видеть, что принцип Гамильтона декларирует существование в природе резонансного взаимодействия, также однозначно вытекающего из наших принципов. Сами условия наступления

действительного движения, наблюдаемого в природе (то есть наступления условий резонансного взаимодействия) выраженные Гамильтоном в виде предельной формулы вариационного исчисления, однозначно соответствуют условиям наступления резонанса согласно **принципам взаимодействия тел.**

Типичным явлением, протекающим согласно принципу Гамильтона, является задача о быстрейшем спуске массивного шарика из вышестоящей точки в нижестоящую, находящуюся в стороне от первой («горка Гюйгенса»). Здесь потенциальная энергия шарика переходит в кинетическую. Этот переход происходит резонансно, за минимальное время и на минимальной дистанции. Форма траектории движения шарика является, естественно, циклоидой, как и должно быть согласно нашим принципам взаимодействия (§ 12).

Задачи, аналогичные задаче в механике о быстрейшем спуске, сейчас решаются специально разработанным для них математическим аппаратом — вариационным исчислением. В частности, в оптике это задача о преломлении луча света на границе двух сред. **Принципы** такие задачи решают простыми дифференциальными уравнениями — без привлечения вариационного исчисления.

Теорию Гамильтона использовал Гейзенберг для разработки квантомеханической **теории физических величин.** Перестановочные соотношения Гейзенберга $Et = h$ и $xp = h$ в новой математической форме повторяют **канонически сопряженные величины** Гамильтона. Выше мы видели, что эти соотношения являются одной из форм описания модели взаимодействия двух тел.

Другая квантомеханическая теория — **теория физических состояний Шредингера** — создавалась в два этапа. Сначала, используя общность математических закономерностей механики и оптики в теории Гамильтона, де Бройль придал константе при **канонически сопряженных величинах** (энергия—время и координата—импульс) конкретное содержание — постоянную Планка и получил «волну де Бройля».

Действительно, в модели взаимодействия двух тел мы видели, что уравнение волны де Бройля (§ 24)

$$\lambda = \frac{h}{mV_{\text{цм}}}$$

и соотношения неопределенностей Гейзенберга (§ 10)

$$Et = h \quad \text{и} \quad xp = h$$

есть лишь два варианта описания одной и той же модели взаимодействия тел.

Заметим, что сама «неопределенность» объективно существует только при описании явления с позиции корпускулярных представлений. С точки зрения волновой теории такой неопределенности, как

известно, не существует. «Неопределенности» возникают из-за некорректной попытки описать неравномерное, прерывистое движение атомных тел, используя понятия равномерного движения.

Затем, Шредингер в произвольное волновое уравнение в комплексной форме (всегда только в комплексной форме!) для волны

$$\Psi(x, t) = ae^{-i(\omega - 2\pi x/\lambda)}$$

внес закономерности движения атомных тел де Бройля

$$E = \hbar\omega \quad \text{и} \quad \lambda = \frac{2\pi h}{P}$$

и получил уравнение поступательного движения атомного тела (то есть траектории)

$$\Psi(x, t) = ae^{-i(Et - px)/h}.$$

(Как известно, это описание объемной спирали.)

Но выражения $E = \hbar\omega$ и $\lambda = \frac{2\pi\hbar}{P}$ сами являются описанием движения атомного тела — «булавы», движущейся по циклоиде (§ 25). А волновое уравнение для волны в комплектной форме, куда их внесли, описывает траекторию в виде синусоидальной **спирали.**

Замечаем, во-первых, что выражения $E = \hbar\omega$ и $\lambda = \frac{2\pi\hbar}{P}$ вообще не нуждаются во «внесении» их в еще одно какое-либо волновое уравнение, ибо они уже сами есть атрибуты конкретной модели волнового процесса — шагания атомного тела по циклоиде. Во-вторых, «донор» (еще раз — он не нужен) — синусоидальная спираль (она трехмерная) существенно отличается (она двумерная). Наконец, в-третьих, уравнение волны и уравнение траектории атомного тела просто несовместимы, ибо волна имеет только одну единственную скорость распространения, а тело может двигаться с любой скоростью. Это совершенно **различные физические явления**. Поэтому, приходим к выводу, что уравнение Шредингера выстроено на неудачной, **физически некорректной основе**. Физически правомерным эквивалентом уравнения Шредингера является наша модель атомного тела, движущегося по циклоиде.

Отметим, что для того, чтобы атомное тело здесь двигалось не по прямой линии, а по спирали, оно должно также взаимодействовать с «двойником» другой физической природы. Так же, как и предлагаемое нами атомное тело (§ 28).

Результатом выбора некорректной основы уравнения Шредингера является то, что оно само по себе фактически не работоспособно без многочисленных «условий», «запретов», «принципов отбора» и т. д., которые и составляют большую часть содержания современной квантовой теории.

Неудачный выбор основы для уравнения Шредингера в квантовой механике также усложнил описание **интерференции** двух атомных

тел. Чтобы две синусоидальные спирали (два комплексных числа «ψ») интерферировали, их сумму пришлось возводить в квадрат

$$P_{12} = |\Psi_1 + \Psi_2|^2,$$

от чего они по форме приблизились к циклоиде — действительной форме движения атомного тела.

Нетрудно видеть, что рассмотренное в § 28 явление квантования энергии тела соответствует квантово-механическому решению задачи «Частица в бесконечно глубокой потенциальной яме» в квантовой механике. Для решения этой задачи в квантовой механике составляется уравнение Шредингера

$$\frac{d^2\Psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}(E - U)\,\Psi(x) = 0.$$

В области $U = \infty$ $\psi(x) \equiv 0$. Внутри ямы уравнение имеет вид

$$\frac{d^2\Psi}{dx^2} + k^2\Psi(x) = 0, \quad \text{где} \quad k^2 = \frac{2mE}{\hbar^2}.$$

Решение: $\Psi(x) = A\sin kx + B\cos kx$.

Условие непрерывности $\Psi(0) = 0$ дает $B = 0$, а $\Psi(a) = 0$ дает $ka = \pm n\pi$, где n — целое число. Отсюда следует

$$E = \frac{\hbar^2\pi^2 n^2}{2m}.$$

Результаты вычисления E в обоих случаях совпадают, разница в величине E происходит из-за различия во взятой величине расстояния между стенками (рис. 28.4, б). Никакого практического (и теоретического) значения это различие не имеет, так как задача с «ямой» является лишь «математическим полигоном» квантовой механики, где показывается сама **возможность квантования энергии**. Заметим, что это преподносится как некий триумф «передовой» квантовой механики над «отсталой» классической физикой, хотя суть явления лежит просто на поверхности (§ 28). Наконец, движущаяся в потенциальной яме частица, описываемая уравнением Шредингера, как говорилось выше, двигается по синусоидальной спирали. То есть плавно, без шагов и остановок. Следовательно, у нее нет «предпочтительных» точек на траектории (как у циклоиды), она может повернуть вспять в любой точке и в любой момент. Следовательно, частица Шредингера не может иметь «предпочтительных» скоростей, значит **не может иметь** дискретные (квантованные) величины кинетической энергии.

Видим, что рассмотрение (анализ) явления квантования энергии с привлечением нашей **физической модели** атомного тела существенно **нагляднее, проще и информативнее** (в частности, величина энергии зависит и от величины a, чего нет в уравнении квантово-

механического рассмотрения), чем **формально-математический** метод анализа квантовой механики Шредингера. Формально-математическая квантовая механика объективно становится ненужной. Все кванто-механические задачи могут быть с успехом решены в рамках классической физики, предсказательные возможности которой несоизмеримо выше, чем у любой математической теории.

В квантовой механике среди квантово-механических решений задач есть задача о **гармоническом осцилляторе**. В результате решения задачи находится и величина энергии осциллятора

$$E_n = \left(n + \frac{1}{2}\right)\hbar\omega.$$

Такой осциллятор в атомном мире попросту не может существовать. Частица-волна, «качаясь», всякий раз доходит до «концов амплитуды», где ее скорость равна нулю. А при равенстве скорости нулю, длина волны де Бройля частицы должна быть равной бесконечности. В этих крайних точках частица-волна разрушается, вырождается, короче не может существовать. Гармонический атомный осциллятор может «существовать» только в некорректно решаемых **математических задачах** квантовой механики.

В квантовой механике фундаментальное значение занимает принцип неопределенности Гейзенберга. Рассмотрим его с позиций принципа взаимодействия двух тел.

Как мы видели в § 24, уравнения

$$E = h\frac{1}{t} \quad \text{и} \quad \lambda = h\frac{1}{m_{\text{т}}V_{\text{от}}}$$

описывают один и тот же объект — шагающее атомное тело, описывают реальные физические явления — кинетическую энергию и длину шага атомного тела.

Поэтому $E = h\frac{1}{t}$ и $\lambda = h\frac{1}{m_{\text{т}}V_{\text{от}}}$ являются здесь «реальными» уравнениями реального процесса. Их возможно переписать и придать им симметричную, «красивую» (математически) форму

$$h = Et \quad \text{и} \quad h = \lambda(m\,V_0) = px.$$

Эти уравнения и составляют **принцип неопределенности Гейзенберга.**

Но в атомном мире этим «переписанным» уравнениям не соответствуют никакие другие, **новые** физические явления, кроме двух, уже упомянутых выше: E и λ. Поэтому никакой фундаментальной общностью они здесь не обладают. Оба уравнения Гейзенберга объединяются уравнением

$$h = 2\pi m_{\text{т}}RV_{\text{от}}.$$

Никакой «неопределенности», как мы видели, оно не содержит.

Популярность принципа неопределенности Гейзенберга в литературе по квантовой механике всецело обязано, видимо, неразборчивому и модному «притягиванию его за уши» ко всем неясным физическим явлениям.

Принято считать, что модель атома Бора «недостаточно корректна». Действительно, в ней есть физические несуразности, например, «отрицательная энергия». Но модель Бора по своему замыслу должна была объяснить закономерности спектра излучения атома водорода. Это свое предназначение она выполняет вполне корректно и достаточно «физично». Наконец, модель Бора на сегодня является единственной физической моделью атома водорода. Других физических моделей в природе не существует. Поэтому она находит применение до сих пор. У модели атома Бора действительно есть принципиальный недостаток, который обычно не замечают. Электрон у Бора есть массивный заряженный шарик. А шарик интерферировать сам с собой не может (да еще с соблюдением условия Планка). **Модель Бора изначально отбрасывает самую существенную сторону явления квантовости, поэтому изначально не адекватна физической сущности («конструкции») атома.** Модель Бора собственно атома «взяла на себя и обязанности модели электрона», чего нет в реальном атоме. Как мы видели, модель атома должна строиться на основе модели электрона, движущегося шагами с соблюдением условия Планка.

Рассмотрение основополагающих математических теорий Гамильтона, Гейзенберга, де Бройля, Шредингера с позиций принципа взаимодействия двух тел показывает, что механика микромира вовсе не является некой «сверхтеорией», где представления классической физики «бессильны». Явления в микромире классическая физика описывает глубоко и в полном объеме.

Принципы взаимодействия тел раскрывают физическую сущность первооснов квантовой механики, поглощают ее и делают ее ненужной как специфическую (неклассическую) физико-математическую модель.

§ 30. Возмущения в упругой среде Даламбера. Возмущения в несжимаемой, жесткой среде. Возникновение массы

В предыдущих параграфах мы рассмотрели новые черты во взаимодействии двух тел — взаимодействие с выполнением условия Планка. Подобное взаимодействие с условием Планка происходит и в ансамбле тел, связанных между собой упругостями («пружинками») — упругой «среде Даламбера» (рис. 30.1).

В этой модели мешалка M взаимодействует со множеством тел $m_т$ (энергично гребет их в одну сторону). Мешалка двигается с ускоре-

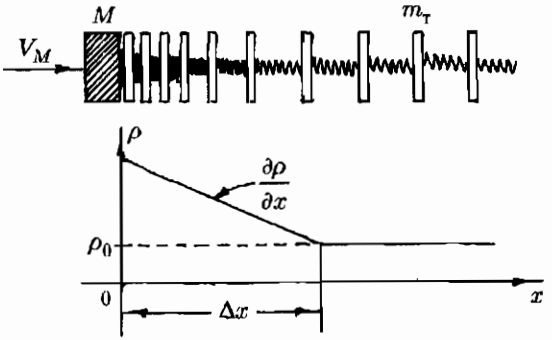

Рис. 30.1

нием, и в результате чего перед ней образуется область с уплотненной средой. В среде образовалось местное «возмущение среды». Среда здесь возмущена (выведена из своего стационарного состояния) дважды:

— тела сблизились, отчего среда уплотнилась (что очевидно);

— частицы $m_ч$ в «пружинках» ускорились в соответствии с условием Планка, отчего «пружинки» стали жестче. Образовалась область и более плотная, и более жесткая, чем остальная среда. **В среде возникло новообразование, «сделанное» из этой же среды, но отличное от нее по своим свойствам.**

В модели возмущения среды Даламбера видим, что чем больше ускорение мешалки, тем компактнее область возмущения Δx, тем выше уплотнение Δp, тем круче геометрическая форма уплотнения $\frac{\delta p}{\delta x}$. Математически эту зависимость (условие Планка) Даламбер представил в виде волнового уравнения

$$\frac{\Delta\rho}{\Delta x} = \frac{1}{c^2}\frac{dVm}{dt},$$

где c — константа, скорость «убегания» области уплотнения от мешалки — скорость распространения возмущения в среде.

Видим, что для образования уплотнения в среде, для возникновения новообразования, в среде необходимо энергичное действие мешалки, ибо действию мешалки «собрать тела в кучу», противостоит стремление тел «разбежаться» (коэффициент пропорциональности между ними равен $1/c^2$). Эта константа здесь выступает в роли «постоянной Планка» для процесса возникновения новообразования в среде. Она однозначно определяется параметрами среды Даламбера — массой тел $m_т$ и величиной упругости «пружинок».

Формирование области с уплотнением среды не единственный способ возникновения (создания) возмущения в среде. В несжимаемой среде (в эфире) еще большее «уплотнение» среды, конечно,

невозможно. Это не упругая среда Даламбера. Здесь возможно возмущение лишь в виде движения ансамбля тел, объединенных их общим законом группового движения — **в виде «вихря»**.

Для вихревого возмущения закон образования области возмущения аналогичен закону для упругой среды

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2}.$$

Но сама геометрия («конструкция») возмущения иная — это осесимметричный вихрь. Такой геометрической форме возмущения больше соответствует уравнение возмущения в форме

$$\operatorname{rot}\overline{E} = -\mu\frac{\partial\overline{H}}{\partial t} \quad \text{и} \quad \operatorname{rot}\overline{H} = \varepsilon\frac{\partial\overline{E}}{\partial t}.$$

Здесь условие Планка выглядит так: чем энергичнее действие мешалки на среду — эфир, тем меньше радиус вихря в эфире.

Таким образом, в механике (в среде Даламбера) возмущение выступает в виде уплотнения среды, например, как местное уплотнение газа перед винтовочной пулей. Скорость пули выше скорости звука, поэтому взаимодействие с условием Планка выполняется. «Новообразованием» здесь является тот же газ, но имеющий большую плотность. Область возмущенного газа тяжелее — она весит больше.

В электричестве возмущение среды (эфира) не сопровождается уплотнением среды. Поэтому область возмущения в эфире весит столько же, сколько равноценный объем невозмущенного эфира. Никаких «более тяжелых» новообразований в эфире не образуется.

Вихревые возмущения в эфире взаимодействуют друг с другом по «вихревым законам» — по законам электродинамики. Но вихри имеют и массу, равную сумме масс эфирок, из которых составлен вихрь. Поэтому в электрических взаимодействиях вихрей неизбежно участвует и «немеханическая», «невесомая» электромеханическая масса.

Таким образом, масса области возмущения — это масса эфирок, «упакованных» в конкретном объеме области возмущения. Для того, чтобы в эфире образовалась область возмущения, мешалке необходимо выполнить определенную работу, затратить определенную энергию. В области возмущения организованно двигаются эфирки, имеющие каждая свою массу и образующие все вместе «массу области возмущения». Итак, для «создания» массы необходимо затратить определенную энергию (масса не создается из ничего, а «организуется»).

Из уравнений, описывающих образование области возмущения видим, что величина области (а значит и величина «массы») прямо зависит от величины затраченной энергии

$$m = \frac{1}{c^2}E.$$

Отсюда следует известное в механике микромира соотношение

$$E = mc^2.$$

Замечаем, что «создание массы» из эфира есть весьма трудоемкая работа — коэффициент пропорциональности очень велик.

§ 31. Волна в упругой среде. Скорость распространения волны в упругой среде. Волна в жесткой цепи. Жесткая волна

Рассмотренное в предыдущем параграфе местное «уплотнение» в среде Даламбера и местное вихревое движение в несжимаемой жидкости — «масса», могут неограничено долго существовать в виде двух различных явлений («конструкций природы»): «волна» и «волновая частица».

Рассмотрим явление «волна» в упругой среде. После прекращения действия мешалки в газе, «уплотнение газа» образует искусственное, виртуальное тело, с виртуальной массой $m_т$. Поскольку это тело оказалось ускоренным мешалкой в процессе уплотнения газа, оно будет и дальше двигаться «по инерции», под действием «сил инерции» (§ 14). Роль частиц $m_ч$, изображающих «силу Ньютона» и двигающих виртуальное тело, играют «волны домино» молекул газа (§ 10). Резонансная скорость тела $m_т$ для этого типа взаимодействия ($m_т \gg m_ч$) равна $V_{т_1} = \frac{1}{2}V_{ч_1}$. Следовательно, скорость виртуального тела — скорость распространения волны равна половине величины температуры газа — *скорости волны домино* $V_{ч_1}$. *Такую же* величину скорости волны в газе дает, как известно, анализ на основе молекулярно-кинетической теории газов.

Явление «волна» традиционно связывают с понятием «упругая среда» (среда Даламбера). Даже само определение волны дается как «явление распространения возмущения в упругой среде». Это совершенно неверно. Возмущение определенного типа может распространяться и в неупругой, «жесткой», несжимаемой среде.

В природе существует реальная двумерная волна такого необычного («неправильного») типа. На ней возможно увидеть закономерности возникновения и распространения возмущений в неупругой, жесткой среде. Или шире — увидеть облик («конструкцию») «жесткой» волны в жесткой среде, в том числе облик электромагнитной волны Максвелла.

Двумерной жесткой волной в жесткой среде является волна в цепи (например, в велосипедной цепи). Естественно, цепь не содержит упругих элементов, она состоит только из жестких звеньев с некоторой массой, соединенных «невесомыми» шарнирами. Тем не менее, в цепи возбуждаются (возникают) и бегут волны.

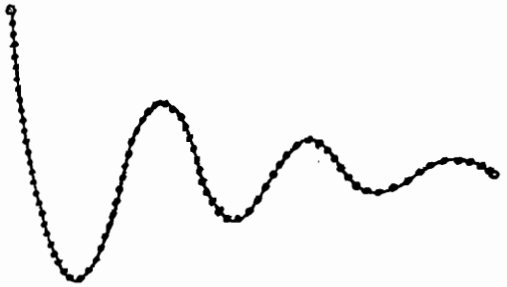

Рис. 31.1

При синусоидальном возбуждении возникают синусоидальные волны, такие же как и в упругой среде (рис. 31.1). Так же как и в упругой среде, возможно возбудить одиночную волну — «возмущение» (рис. 31.2).

Видим, что «возмущение среды» (цепи) происходит не по длине цепи, а поперек — волна здесь «поперечная». Для этого и понадобилось второе измерение среды. Роль «уплотнения в упругой среде» здесь играет «излом цепи» на участке нескольких звеньев (не одного звена).

В изломе цепи можно было бы увидеть увеличение погонной плотности цепи — образование «виртуальной массы» из масс звеньев в изломе, как в упругой волне. Но она здесь невостребована — эту виртуальную массу нечем «толкать»: волн домино здесь нет, цепь однозначно «холодная». Механизм самодвижения излома «по инерции» целиком сосредоточен только на небольшом участке цепи, в изломе. Участки цепи до излома и после излома лежат неподвижно и не принимают никакого участия в движении волны. Механизм самодвижения волны в цепи совсем иной, чем в упругой среде. Поэтому цепь как среда не может являться просто обычным «механическим устройством», а является механической моделью жесткой несжимаемой среды. Такова общая картина волны в жесткой среде, конструкция «жесткой» волны.

Сильно упрощая модель, «излом цепи» можно заменить неким «ротором», который катится без скольжения (рис. 31.2). Уравнения Максвелла — это гидродинамические уравнения, и описывают они именно эту упрощенную модель — «ротор». Опираясь на реальную

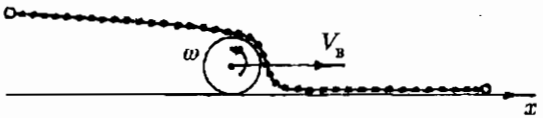

Рис. 31.2

жесткую волну в цепи, возможно изменить уравнения Максвелла для адекватного описания процесса возмущения в жесткой среде эфира.

Мы рассмотрели «возмущения среды» — одиночные волны. В механике это ударная волна в упругой среде, в гидравлике это солитон в несжимаемой жидкости, в электричестве это фотон в жестком эфире. При синусоидальном возбуждении волн мешалкой все они приобретут знакомую синусоидальную форму (рис. 31.1).

§ 32. Что такое «механика»? Жесткий мир электричества

И мир механики, и мир электричества — это прежде всего мир взаимодействия тел. Законы взаимодействия, как мы видели, одни и те же для обоих миров.

Фундаментальное отличие этих миров заключается в среде, где происходят эти взаимодействия.

Механика действует в упругой среде Даламбера, составленной из масс и упругостей. Началом начал «механики» является взаимодействие двух масс посредством упругости. «Механика» — это мир Даламбера, где массы взаимодействуют посредством упругости.

Электричество действует в жесткой среде эфира. Здесь нет упругости. Среда жесткая, тела жесткие, силы жесткие. Началом начал электричества является жесткое взаимодействие двух возмущений — вихрей в жесткой среде, посредством жесткой гидродинамической силы.

Не менее резкое различие и в математических аппаратах этих миров. Явления в упругом мире Даламбера описываются линейными дифференциальными уравнениями. Многие линейные уравнения разработаны специально для конкретных физических явлений в упругом мире (например, волновые уравнения). Многие физические понятия упругого мира неразрывно переплелись с математическими понятиями линейных уравнений. Математическая спектральная теория колебаний стала почти что «физической теорией».

В отличие от этого, явления в жестком мире описываются нелинейными дифференциальными уравнениями. Это совсем иной математический мир. Здесь математика потеряла (не имеет) свою самодостаточность, «самостоятельность». Без физических образов, без физических моделей нелинейная математика бессодержательна, «пуста». Поэтому роль физических моделей в жестком мире особенно велика. Относительная бедность нелинейных дифференциальных уравнений во многом объясняется именно бедностью нелинейных физических моделей, бедностью моделей явлений в жестком мире.

Рассматривая целый ряд явлений в механике и электричестве мы видели, что кинематические модели этих явлений, их конструкции

существенно отличаются. Это разные физические миры. Но абстрактная модель взаимодействия для обоих миров одна и та же.

Это позволяет, опираясь на наглядный и привычный механической мир, проникнуть в новый, малодоступный нам мир электричества, сделать его наглядным, избавиться от попыток заменить наглядную физику формальной математикой (из-за дефицита физики).

Механика и электричество «разошлись» в самих основах мироздания. Их немного. Это «среда». В среде есть «возмущение» — волна. Возмущение образует (содержит в себе) «массу» — вещество. Массы вещества взаимодействуют друг с другом — ускоряют друг друга.

Принципы взаимодействия, являясь универсальным физико-математическим инструментом, позволили перекинуть мостик от мира механики к миру электричества, и в конечном счете позволили выстроить основы «конструкции» нового для нас физического мира — жесткого мира электричества.

В новом жестком электрическом мире своя жесткая среда, в жесткой среде — жесткое возмущение — жесткая волна, жесткое возмущение содержит в себе жесткую массу, жесткие массы образуют жесткое вещество — элементарные частицы, которые жестко взаимодействуют, образуя атомы и молекулы.

Модель жесткого мира электричества позволит строить более точные, лучше работающие модели атома и молекулы. Позволит построить более точные модели «энергии связи» в этих частицах в интересах прикладной химии и энергетики.

§ 33. Резонансные явления при колебательном движении тела. Согласованный сигнал

До сих пор мы рассматривали резонансные явления при поступательном движении тела. Рассмотрим резонансные явления при колебательном движении тела.

Колебание тела будем рассматривать как поступательное движение тела с переменной скоростью по любому заданному закону, например, по гармоническому закону. В этом случае для резонансного вкачивания энергии в тело необходимо лишь выполнять **условия линейного резонанса на всех частных участках колебания**, не интересуясь законом всего периода сложного колебания как такового.

Здесь явления аналогичны явлениям продолжительного ускорения тела силой при поступательном движении его (§ 12), но имеются и чисто «колебательные» особенности. Рассмотрим их.

Раскачка резонатора сигналом постоянной амплитуды

Здесь (рис. 33.1) так же, как и при поступательном движении тела, условие резонанса выполняется только в момент, когда $R_р = \frac{1}{2}R_с$, а в начальный момент $R_р = 0$, и при установившемся режиме ($R_р > R_с$) раскачка резонатора не оптимальна, не резонансна. Таким образом, **равенство частот резонатора $\omega_р$ и сигнала $\omega_с$ еще вовсе не обеспечивают условие резонанса**, как это обычно принимается.

Дело в том, что для резонанса необходимо выполнить условие $V_т = \frac{1}{2}V_ч$, а в резонаторе $V_т$ определяется двумя параметрами его колебания — частотой $\omega_р$ и амплитудой $R_р$

$$V_т = \omega R.$$

Равенство частот $\omega_р = \omega_с$ выполняется установкой нужной частоты сигнала. Но амплитуда резонатора $R_р$ неизбежно растет с ростом накопленной энергии резонатора

$$E_р = \frac{m\omega^2 R^2}{2}, \quad \text{где} \quad \omega = \text{const}.$$

В установившемся режиме амплитуда резонатора равна

$$R_р = QR_с,$$

где Q — добротность резонатора.

Изменение величины амплитуды нарушает условие резонанса — резонатор при раскачке неизбежно «убегает» от резонанса («проскакивает» через него — рис. 33.2).

Поэтому при раскачке резонатора сигналом постоянной амплитуды условие резонанса выполняется лишь наполовину — только за счет равенства частот сигнала и резонатора. Это неполноценный резонанс, «полурезонанс».

Отметим одно важное явление при раскачке резонатора сигналом постоянной амплитуды. Если эту «постоянную» амплитуду сигнала

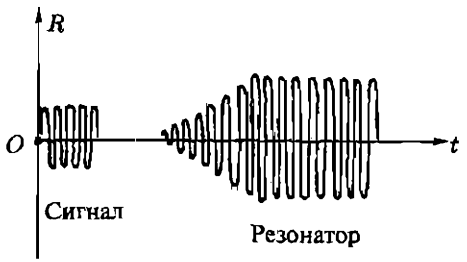

Рис. 33.1

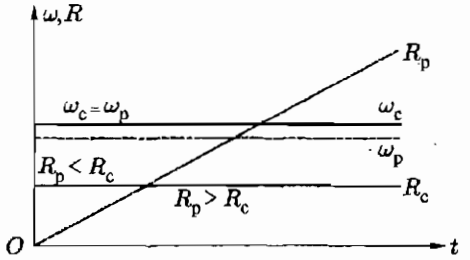

Рис. 33.2

изменять, амплитуда колебаний резонатора будет также устанавливаться в новом положении. Амплитуда резонатора следит за амплитудой сигнала. На этом основано применение амплитудной модуляции в радиосвязи.

Раскачка резонатора согласованным сигналом

Здесь (рис. 33.3) амплитуда сигнала R_c «следит» за убегающей амплитудой резонатора $R_р$, обеспечивая тем самым непрерывное выполнение условия резонанса $V_т = \frac{1}{2}V_ч$ (рис. 33.4). Это «полный» колебательный резонанс. Заметим, что крутизна роста амплитуды резонатора зависит и от его добротности — аналога «массы тела $m_т$». **Таким образом, колебательную систему ускорить (раскачать) «чисто» резонансно возможно только согласованным сигналом.**

Как известно, **импульсная характеристика** колебательной системы (резонатора), обращенная ко времени, **является согласованным сигналом** для этой колебательной системы. Поэтому раскачка резонатора согласованным сигналом может обеспечить выполнение условия резонанса с любой требуемой точностью.

В связи с важной ролью согласованного сигнала в резонансном раскачивании резонатора, уточним физическую сущность «согласованности» сигнала. Увеличение амплитуды резонатора при раскачке — это есть **переходный процесс** в резонаторе. Для непрерывного

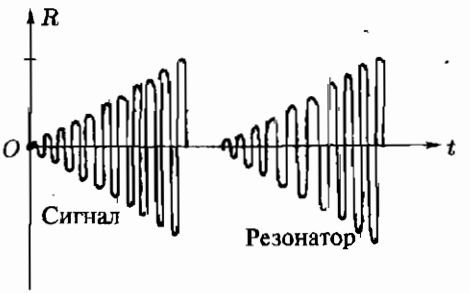

Рис. 33.3

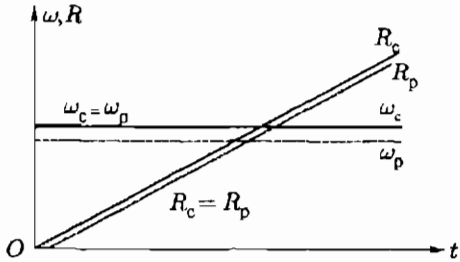

Рис. 33.4

выполнения условия резонанса закон изменения сигнала должен быть **согласован с законом переходного процесса**. В этом вся суть «согласованности» сигнала. Но переходный процесс резонатора есть не что иное, как **реакция резонатора на единичный скачок**. Отсюда и следует «математическое» определение согласованного сигнала: согласованный сигнал есть обращенная импульсная характеристика резонатора.

§ 34. Колебательные системы

Выше (§ 8) мы видели, что система из двух тел, соединенных «упругостью», образует колебательную систему. В ней одно тело резонансно передает свою энергию другому телу, после чего явление происходит в обратном порядке.

В процессе колебания системы тел с самими телами не происходит никаких изменений, их массы остаются неизменными. Активно работают только связки, ибо через них идет перекачка энергии от тела к телу и обратно. Через связки происходит ускорение одного тела другим в процессе колебания системы. Поэтому резонансные явления в колебательных системах, в конечном счете, проявляются именно в виде воздействия на связки, со всеми вытекающими отсюда последствиями для всей системы.

Колебательные системы могут состоять из различного количества тел и связок. Минимальное их количество — два тела и одна связка. Это **колебательная система с одной степенью свободы**. Классическим примером ее является маятник.

Колебательные системы со многими степенями свободы получаются путем соединения нескольких «маятников» упругими связками. Количество степеней свободы колебательной системы определяется количеством таких «маятников» в системе.

Атомы, атомные ядра, молекулы, кристаллы, клетки живого являются колебательными системами со многими степенями свободы. Возбужденные, они некоторое время причудливо колеблются по законам собственных колебаний, внешне напоминая хаотичные

колебания зыбкого, неустойчивого сооружения. По этой аналогии назовем их «зыбками». Для колебательной системы с одной степенью свободы, с собственными колебаниями по закону синуса сохраним традиционное наименование «осциллятор».

Конструкция зыбки, естественно, сложнее конструкции осциллятора. Поэтому и набор возможных видов колебаний у них шире.

Во-первых, зыбка может колебаться по синусоидальному закону на нескольких частотах. Это **нормальные** колебания зыбки. Количество частот нормальных колебаний равно количеству степеней свободы зыбки.

Во-вторых, зыбка может колебаться одновременно на всех своих степенях свободы. Это **арго** колебание зыбки (от французского слова «арго» — жаргон). Арго колебание сложное, несинусоидальное, его форма (закон) определяется «конструкцией» зыбки. Арго колебание зыбки — это ее «метрика», по которой возможно идентифицировать (узнавать) зыбку.

Зыбка на нормальных колебаниях колебаться может только **вынужденно**. Предоставленная сама себе зыбка всегда колеблется на **арго колебаниях**.

§ 35. Резонансные явления в зыбке. Новый тип резонанса — резонанс на собственных арго колебаниях зыбки

При воздействии генератора синусоидальных колебаний на зыбку, она начнет колебаться. Колебания зыбки будут происходить по закону синуса. На определенных частотах амплитуда колебаний зыбки будет возрастать, давая пики колебаний. Однако, в отличие от резонатора, эти пики на определенных частотах не есть проявление резонанса на арго колебаниях зыбки. Арго колебания зыбки отнюдь не синусоидальные, а представляют собой колебания сложной формы. Поэтому здесь наблюдаются только резонансы при нормальных колебаниях зыбки. Синусоидальный генератор принципиально не может возбудить в зыбке ее собственное колебание. Следовательно, с помощью генератора синусоидальных колебаний принципиально невозможно вызвать резонанс при собственных колебаниях зыбки.

Все спектры колебаний атомов, молекул, клеток, полученных «прозвонкой» генератором синусоидальных колебаний, есть **спектры нормальных колебаний, с резонансными пиками нормальных колебаний**.

Но использовать их непосредственно для раскачки арго колебаний в зыбке невозможно, для этого необходим арго сигнал.

Так же, как и резонатор, зыбку возможно раскачивать в двух режимах: арго сигналом с постоянной амплитудой и согласованным арго сигналом (рис. 35.1 и 35.2).

Рис. 35.1

Рис. 35.2

Так же, как для резонатора, раскачка арго сигналом с постоянной амплитудой обеспечивает только «полурезонанс».

Так же, как для резонатора, раскачать зыбку резонансно возможно только согласованным арго сигналом.

Так же, как и для резонатора, резонансное вкачивание энергии в зыбку согласованным арго сигналом происходит только порциями энергии — «квантами».

Резонанс при арго колебаниях зыбки принципиально отличается от резонанса на нормальных колебаниях по своему воздействию на «силовую конструкцию» зыбки. Нормальные колебания не напрягают связки между составными частями зыбки — «маятниками», ибо в большинстве случаев все они вынужденно колеблются синхронно, как одно целое, по одному общему закону синуса. В отличие от этого, при резонансе на арго колебаниях прежде всего напрягаются именно связки между «маятниками», ибо арго колебания есть колебания между «маятниками», обмен колебательной энергией между «маятниками». Поэтому попытки раскачать, например, клетки живого синусоидальным генератором (в частности, лазером), в известной степени, наивны.

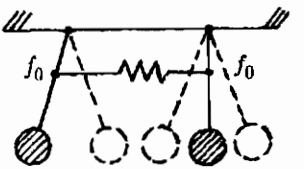

Рис. 35.3

На рис. 35.3 приведена зыбка, состоящая из двух одинаковых «маятников», соединенных связкой. Частоты собственных

Рис. 35.4

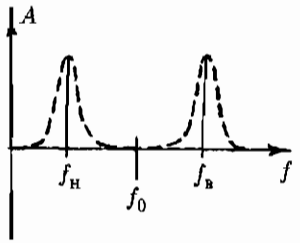

Рис. 35.5

колебаний «маятников», естественно, одинаковы и равны f_0. Закон собственных колебаний зыбки приведен на рис. 35.4. Между двумя «маятниками» идет обмен колебательной энергией через связку. Спектр собственных колебаний зыбки, соответствующий закону собственных колебаний, приведен на рис. 35.5.

Согласно спектру, снятому спектроанализатором, для раскачки молекулы водорода необходимо подать синусоидальный сигнал с частотой $f_н$ или $f_в$. Но в зыбке вовсе нет элементов с такими частотами собственных колебаний. Собственные частоты «маятников» не равны $f_н$ и $f_в$, а имеют совсем другую частоту f_0. Собственные частоты «маятников» равны f_0, и на этих частотах их можно раскачать. Но этой частоты как раз и нет в спектре, следовательно, они и не будут раскачиваться. Зыбка надежно защищена от вмешательства в ее колебательную систему. При подаче синусоидального сигнала $f_н$ на зыбку вся зыбка, как целое, будет качаться по синусоиде, оба ее «маятника» будут качаться синхронно. Следовательно, связка зыбки останется в неприкосновенности при любой мощности генератора. Добраться до связки зыбки, проникнуть вглубь зыбки возможно, только заставив ее колебаться по закону собственных колебаний, при которых химическая связка зыбки активно работает. В этом уникальность предлагаемого нами резонанса на собственных колебаниях зыбки.

Сейчас химические реакции (разрывы или соединения химических связей) осуществляются путем поступательного ускорения молекул и атомов «теплотой». Резонанс на собственных колебаниях с помощью электромагнитных волн позволяет воздействовать на химические связи **в тысячи раз эффективнее, «стерильно» и строго избирательно**. Такой «химический» резонанс позволяет вести химические реакции, недоступные традиционному «тепловому» способу, ибо здесь легко достижимы огромные эквивалентные «температуры» и «давления».

Физической основой этих технологических возможностей является предлагаемое нами резонансное воздействие на сложные колебательные системы на их **арго колебаниях**. Это новое, специфическое

для колебательных систем со многими степенями свободы мощное и избирательное резонансное воздействие **согласованным арго сигналом**. В результате этого надежно решаются **две инженерные задачи:**

I. Раскачиваемая колебательная система (атом, молекула, кристалл, клетка) оказывается **согласованной нагрузкой** для генератора сложных колебаний. В результате в нагрузку вкачиваются все 100 процентов энергии генератора вместо долей процента при раскачке несогласованной широкополосной нагрузки узкополосным (синусоидальным) генератором. Как известно из теории колебаний, воздействие узкополосного (синусоидального) генератора на зыбку во столько раз меньше, сколько степеней свободы у зыбки, при той же мощности генератора. Поэтому при раскачке зыбки предлагаемый **«арго резонанс»** в сотни и тысячи раз эффективнее общеизвестного **«нормального резонанса»**. Отметим, что в широкополосной радиотехнике эта величина достигает десятков тысяч и обеспечивает практически полное «нераскачивание зыбки» — обеспечивает помехоустойчивость широкополосного приемника к синусоидальным преднамеренным помехам.

II. При раскачке смеси различных колебательных систем в «свою» колебательную систему вкачается энергии в сотни раз больше, чем в «чужую», ибо **«чужая» колебательная система оказывается несогласованной с генератором и отразит обратно энергию генератора**. Раскачка сложных колебательных систем идет строго избирательно. Для сравнения, если бы смесь колебательных систем раскачивалась монохроматичным генератором (например, два типа клеток одновременно облучаются лазером с одной частотой), то оба типа клеток, имеющие широкие спектры частот поглощения, захватили бы практически одинаково мизерное количество энергии, соответствующее одной единственной частоте поглощения в их спектрах.

Мощные резонансные колебания способны нагреть и разрушить атомы, молекулы, кристаллы, клетки. Напротив, воздействуя сигналом «умеренной мощности», видимо, возможно **стимулировать рост кристаллов** (например, вырастить алмаз размером с грецкий орех).

§ 36. Определение закона собственных колебаний систем со многими степенями свободы

Для того, чтобы получить резонанс зыбки при собственных колебаниях, на зыбку необходимо подавать несинусоидальный сигнал, идентичный собственным колебаниям зыбки. Назовем этот сигнал «арго» (от французского слова «арго» — жаргон).

Для выработки арго (генерации арго), естественно, необходимо знать закон собственного колебания зыбки — арго зыбки.

Различные возможные способы нахождения арго зыбки сводятся, в сущности, к двум фундаментальным методам.

Первый метод — ударное возбуждение арго коротким импульсом, получение закона арго во временной области.

Второй метод — «прозвонка» зыбки синусоидальным генератором — снятие его спектра вынужденных колебаний, получение арго в частотной области.

Оба метода позволяют реконструировать закон арго зыбки с любым количеством степеней свободы.

§ 37. Способы формирования (генерации) арго

Генератор арго будем называть арготроном.

Низкочастотное арго возможно формировать во временной области с помощью вычислительной техники. Амплитудно-частотный и фазочастотный спектр сигнала такого арготрона может быть получен с любой точностью.

Высокочастотные арго в диапазоне радиоволн возможно формировать из синусоидального колебания, модулируя его по амплитуде или по фазе по определенному закону (коду). Точность амплитудно-частотного и фазочастотного спектра сигнала такого арготрона определяется законом модулирующей функции, точностью модулятора.

Высокочастотное арго в диапазоне световых волн возможно формировать (синтезировать) из нескольких синусоидальных колебаний лазеров. Амплитудно-частотный спектр здесь может быть получен с любой точностью. Но фазочастотный спектр здесь неуправляем. Поэтому необходимое арго будет генерироваться только в периодические отрезки времени. В остальное время зыбка будет колебаться вынужденно, по «чужому» арго.

Наконец, арготрон может быть построен с использованием такой же натуральной зыбки, для раскачки которых предназначен данный арготрон. В этом случае достигается максимальная точность (идентичность) арго арготрона и зыбки.

В качестве зыбки арготрона в диапазоне световых волн могут быть использованы атомы и молекулы. Такие генераторы существуют, это лазеры. В них с помощью резонатора Фабри—Перо искусственно подавляются все компоненты спектра, кроме одной. В результате, сигнал лазера становится монохроматичным, синусоидальным. Сохранив все компоненты спектра, получаем арготрон — «белый лазер» (арголазер).

§ 38. Резонансное возбуждение атома. Модель атома. Квантовый резонанс. Калиброванный импульс

Для рассмотрения явления возбуждения атома (вкачивания энергии) и излучения атома (захвата его энергии), достаточно иметь модель атома (водорода) в виде ротатора с условием Планка (§ 24), имеющего особые состояния с фиксированными частотами вращения (значениями вращательной энергии $E_р$) (рис. 38.1).

Энергия ротатора

$$E_р = \frac{J\omega^2}{2}.$$

$$J = 2m_ч R^2, \quad h = 2\pi m_ч R V_0,$$

$$R = \frac{h}{2\pi m_ч V_0}, \quad V_0 = \omega R,$$

$$R = \frac{h}{2\pi\omega R}, \quad R^2 = \frac{h}{2\pi\omega},$$

$$E_р = \frac{2m_ч\omega^2}{2}\cdot\frac{h}{2\pi\omega} = \frac{h\omega}{2\pi} = \hbar\omega,$$

$$\boxed{E_р = \hbar\omega.}$$

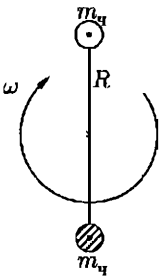

Рис. 38.1

Фиксированные значения ω, определяющие фиксированные состояния атома с фиксированными значениями вращательной энергии, следуют из конкретной конструкции атома (§ 25). Для рассмотрения явления возбуждения атома они не существенны и здесь не рассматриваются.

Рассмотрим явление вкачивания энергии в атом. Атом-ротатор возможно раскрутить устройством, подобным синхронному электродвигателю, где ротором является сам атом (рис. 38.2).

От вкачивания энергии атом будет ускоряться — увеличивать частоту своего вращения $\omega_р$. Поэтому для сохранения условия

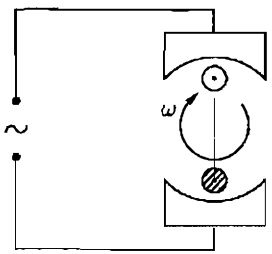

Рис. 38.2

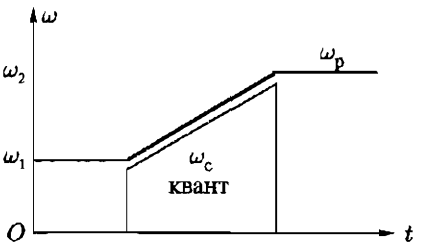

Рис. 38.3

резонанса необходимо увеличивать и частоту электрической силы ω_c (рис. 38.3), то есть, ускоряющая сила должна быть согласованной с убегающей частотой. Как видим, явление раскрутки атома в общем аналогично явлению раскачки резонатора. Но в явлении раскрутки квантового устройства — атома — есть два существенно новых отличия. Рассмотрим их.

Первое. Резонатор имеет два параметра движения — частоту ω_p и амплитуду R_p. Поэтому резонатор было возможно раскачать на частоте ω_p, игнорируя амплитуду R_p («полурезонанс»). Атом-ротатор имеет только один естественный параметр движения — частоту ω_p. **Следовательно, атом может раскрутиться только резонансно, или он не раскручивается вообще.** «Полурезонанса» здесь быть не может.

Второе. Согласованным сигналом для резонатора был отклик резонатора на единичный скачок. Но «единичный» вовсе не означает «абсолютный» — абсолютная величина единичного сигнала может быть любой, следовательно, и амплитуда согласованного с резонатором сигнала могла быть любой абсолютной величиной. В отличие от этого, атом может находиться в состояниях только с абсолютными дискретными уровнями энергии. Поэтому и единичный скачок атома имеет только абсолютное значение. Следовательно, и раскачивающийся квант энергии должен иметь не только дискретное, но и **абсолютное** значение.

Согласованная ускоряющая сила для раскрутки атома должна быть не только согласована с законом изменения частоты вращения ротатора (с законом переходного процесса атома), но и должна иметь строго определенное количество энергии — квант энергии должен быть калиброванным.

Таким образом, так же, как в резонаторе, вкачиваемая энергия в атом приходит всегда **только порциями** — квантами. Вкачивание энергии в атом неограниченно долго, **не квантами — невозможно.** Но требования к самому кванту энергии здесь более жесткое, **квант должен быть еще и калиброванным.** Это «настоящий» **квантовый резонанс**, присущий только микромиру, где действует «условие Планка».

Рассмотрим параметры калиброванного кванта энергии. Для этого воспользуемся законом Кирхгофа—Бунзена: атом поглощает квант электромагнитной энергии в точности такой, какой он излучает сам.

Электромагнитное излучение возбужденного атома хорошо изучено. Имеются точные и полные диаграммы Гротриана для большинства атомов и молекул. Поэтому по спектру **излучаемого** кванта возможно построить приемлемую модель **поглощаемого** атомом кванта энергии — модель **калиброванного согласованного** импульса энергии **для возбуждения атома.**

В состояниях с фиксированными частотами вращения ротатор-атом электромагнитную энергию не излучает. В переходном процессе

происходит торможение ротатора эфиром, отчего в эфире возникает электромагнитное возмущение — происходит излучение атомом электромагнитной энергии.

Спектр излучаемых атомом частот обычно разбит на «серии». Для атома водорода это серия Лаймана (ультрафиолетовая), серия Бальмера (видимая), серия Пашена (инфракрасная), серия Брекета (инфракрасная), серия Пфунда (*инфракрасная*).

Как известно, признак, по которому частоты спектра объединяются в серию, очень прост. Все отдельные частоты одной серии появляются в составе излучения только одновременно (закон Корсунского).

Если возбуждения атома недостаточно, частот соответствующей серии совершенно нет; если энергия возбуждения больше некоторого граничного значения, то все частоты серии появляются сразу [6]. Отсюда немедленно следует вывод, что серия есть не что иное, как спектр излучаемого атомом электромагнитного калиброванного импульса, образовавшегося от калиброванного переходного процесса в атоме.

Таким образом, например, атом водорода может излучать шесть различных независимых электромагнитных калиброванных импульсов: Лаймана, Бальмера, Пашена, Брекета, Пфунда, имеющих каждый свой спектр частот.

Частотами спектров («линий») этих калиброванных импульсов являются «частоты» кванта Планка

$$f = \frac{E_q}{h}.$$

В излучении они реально (физически), конечно, не существуют, это только атрибуты «спектрального описания» калиброванных импульсов в частотной области.

Заметим, что в модели атома Бора кванты Планка существуют «самостоятельно» и раздельно, совместно с «самостоятельными» частотами излучения атома, что несовместимо с «законом серии» Корсунского.

Найдем энергию калиброванного импульса. Энергия одной частоты спектра импульса равна энергии одного кванта Планка

$$E_q = hf.$$

отсюда энергия импульса просто равна их сумме

$$E_и = \sum E_q.$$

Определим форму калиброванного импульса. Спектр импульса есть «описание импульса» в частотной области. Поэтому, просуммировав синусоидальные составляющие спектра, с учетом величин их амплитуд и фаз, находим форму калиброванного импульса во временной области.

Величина амплитуды «частоты» («линии») синусоидальной составляющей спектра импульса находится из уравнения постоянной Планка

$$h = 2\pi m R V_0, \quad V_0 = \omega R, \quad \omega = 2\pi f, \quad h = 4\pi^2 m f R^2,$$

$$\boxed{R = \frac{\sqrt{h}}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{f}}.}$$

Опубликованные фазочастотные спектры излучения атомов и молекул автору неизвестны.

Таким образом, по спектру излучения атома мы нашли энергию и форму излучаемого атомом калиброванного импульса. Очевидно, что искомые параметры калиброванного согласованного электромагнитного импульса для резонансного возбуждения атома в точности совпадают с найденными параметрами излучаемого атомом импульса.

Квантовый резонанс открывает возможности для мощного и избирательного резонансного воздействия на атомы и молекулы, недоступные для традиционных «тепловых» химических воздействий, придают, тем самым, «второе дыхание» химии.

§ 39. Экспериментальная проверка принципов взаимодействия тел

Для экспериментальной проверки принципов взаимодействия тел был изготовлен электромеханический макет (рис. 39.1).

На этом макете исследована возможность решения наиболее сложной задачи из перечисленных во введении — **резонансное воздействие на сложные структуры.**

Макет состоит из генератора несинусоидальных колебаний (арготрона) и несинусоидального резонатора (зыбки).

Создавать резонансное воздействие на сложные структуры до сих пор не удавалось. Причиной этого является существенное отличие формы собственных колебаний сложных структур от синусоиды. Если для синусоидальных резонаторов разработаны полные и точные

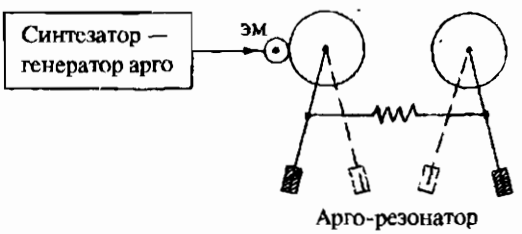

Рис. 39.1

Рис. 39.2

методы резонансного воздействия, то для сложных структур они отсутствуют.

В настоящей работе **несинусоидальное сложное колебание тела рассматривается как движение тела с переменной скоростью по любому заданному закону.** В этом случае для резонансного вкачивания энергии в тело необходимо лишь выполнять **условия линейного резонанса на всех частных участках колебания**, не интересуясь законом всего периода сложного колебания как такового. Поэтому исследование на рассматриваемом макете приобретает универсальный характер для рассматриваемых принципов.

Арго-колебания в макете создаются синтезатором — генератором арго.

Закон их колебаний

$$\sin F \cos f = \frac{1}{2}\left[\sin(F - f) + \sin(F + f)\right].$$

На рис. 39.2 приведена осциллограмма этого арго, а на рис. 39.3 его частотный спектр.

Арго-колебания с генератора подаются на электромотор постоянного тока арго-резонатора, собранного из двух синусоидальных маятников.

В макете реализуется ньютоновский тип взаимодействия, где «телом» является маятник арго-резонатора, а «частицей» — заряды электричества (электрический ток), взаимодействующие с маятником через электромотор и редуктор.

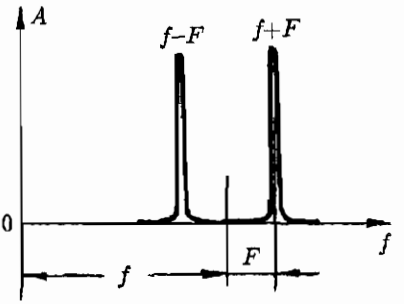

Рис. 39.3

В полном соответствии с закономерностями этого типа взаимодействия маятник раскачивается постепенно, «преодолевая инерцию». При достижении условия резонанса $V_т = 0{,}5V_ч$ амплитуда резонатора максимальна. Резонатор, как полагается, начинает раскачиваться из состояния полного покоя. При достижении амплитудой колебаний резонатора величины амплитуды колебаний генератора дальнейшее увеличение амплитуды колебаний резонатора прекращается, ибо при $V_т = V_ч$ $Z_ч = 0$.

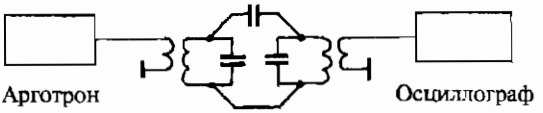

Рис. 39.4

При подаче на резонатор другого арго резонатор не раскачивается, несмотря на полную амплитуду арго-генератора, ибо условие резонанса здесь нарушено. Не раскачивается арго-резонатор и при подаче на него синусоидального колебания — для него синусоида есть также чужое арго.

Избирательность арго-резонатора определяется его добротностью, в макете она равна 50.

Исследования макета показали, что, используя принципы взаимодействия, резонансное воздействие на сложные структуры возможно.

Для более детальной экспериментальной проверки принципов взаимодействия тел, был так же изготовлен радиотехнический макет (рис. 39.4). Арго-резонатором (зыбкой) здесь является сложная колебательная система с двумя степенями свободы, собранная из двух одинаковых связанных LC контуров. Оба контура настроены на одну частоту $f = 100$ МГц (рис. 39.3). Частоты $f - F = 80$ МГц (первая частота нормального колебания зыбки). Частоты $f + F = 120$ МГц (вторая частота нормального колебания зыбки).

Результаты исследования радиотехнического макета полностью идентичны результатам исследования механического макета. Однако, благодаря высокой добротности радиотехнического резонатора, все характеристики явления резонансной раскачки арго-резонатора арготроном были существенно более четкими и точными.

Таким образом, предлагаемые принципы взаимодействия тел верно отражают физические явления и обеспечивают решение задач резонансной технологии в области физики, химии, биологии.

§ 40. Аналитическая проверка принципов взаимодействия тел. Закон Ньютона о равноускоренном движении в новой механике

Можно сказать без преувеличения, что закон равноускоренного движения тела постоянной силой $a = \frac{F}{m}$ лежит в основе всей современной физики. Поэтому подробно рассмотрим его с позиций новой механики с целью проверки соответствия их друг другу на примере ускорения тела притяжением Земли.

Выпишем, в зависимости от течения времени t, величину скорости тела $V_т$, приобретенную телом энергию $E_т = \frac{m_т V_т^2}{2}$, приращение приобретенной телом энергии (порции энергии) $\Delta E_т = E_{т_n} - E_{т_{n-1}}$. Для наглядности выкладок величину ускорения тела $a_т = 9{,}8\ м/с^2$ округлим до $10\ м/с^2$.

t	0	1	2	3	4
$V_т$	0	10	20	30	40
$E_т$	0	50	200	450	800
$\Delta E_т$	0	50	150	250	350

Уравнение ускорения тела в новой механике

$$a_т = \frac{\sqrt{V_{т_1}^2 + \frac{m_ч V_ч^2(-Z_ч)}{m_т}} - V_{т_1}}{t} \cdot \frac{V_ч - V_{т_1}}{V_ч},$$

где $\frac{V_ч - V_{т_1}}{V_ч}$ есть допплеровское измерение частоты «приема» телом частиц «ветра» $m_ч$, «настигающего» тело, а сама частота излучения частиц: $f = \frac{1}{t}$;

$$-Z_ч = \frac{4V_{т_1}}{V_ч}\left(\frac{V_{т_1}}{V_ч} - 1\right) + \frac{4m_ч m_т}{(m_т + m_ч)^2}.$$

Закон равноускоренного движения тела в механике Ньютона является упрощенным (следовательно, неточным) вариантом закона ускорения тела в новой механике. В механике Ньютона отсутствует допплеровская поправка к частоте f и скоростная поправка к $Z_ч$. Поэтому $-Z_н = \frac{4V_{т_1}}{V_ч} + \frac{4m_ч m_т}{(m_т + m_ч)^2}$.

Очевидно, что величина $\Delta E_т$ зависит от величины коэффициента $Z_ч$, который образовался (сформировался) в результате предшествующего взаимодействия частицы с телом (§ 15).

$$\Delta E_{т_n} = E_ч \cdot Z_{n-1}.$$

Выпишем величины $Z_ч$ в зависимости от течения времени.

$$t = 0. \qquad Z_0 = \frac{4m_ч}{(m_ч + m_т)^2}.$$

$$t = 1. \qquad Z_1 = \frac{4V_{т_1}}{V_ч} + Z_0 = \frac{4 \cdot 10}{V_ч} + Z_0 = \frac{40}{V_ч} + Z_0.$$

$$t = 2. \qquad Z_2 = \frac{4V_{т_2}}{V_ч} + Z_0 = \frac{4 \cdot 20}{V_ч} + Z_0 = \frac{80}{V_ч} + Z_0.$$

$$t = 3. \qquad Z_3 = \frac{4V_{т_3}}{V_ч} + Z_0 = \frac{4 \cdot 30}{V_ч} + Z_0 = \frac{120}{V_ч} + Z_0 \quad \text{и т. д.}$$

Видим, что Z_0 по своей структуре отличается от других $Z_ч$. Приведем его к общему виду. Учитывая, что $\Delta E_{т_n} = E_ч \cdot Z_{n-1}$ и что

$\Delta E_1 = 3\Delta E_0$, находим $Z_0 = \frac{1}{3}Z_1$. Отсюда

$$3Z_0 = Z_1, \qquad 3Z_0 = \frac{4V_{т_1}}{V_ч} + Z_0,$$

$$2Z_0 = \frac{4V_{т_1}}{V_ч}, \qquad Z_0 = \frac{2V_{т_1}}{V_ч} = \frac{2 \cdot 10}{V_ч} = \frac{20}{V_ч}.$$

$$Z_0 = \frac{20}{V_ч}.$$

С учетом «нового» Z_0 получаем ряд $Z_ч$:

$$t = 0. \qquad Z_0 = \frac{20}{V_ч},$$

$$t = 1. \qquad Z_1 = \frac{40}{V_ч} + \frac{20}{V_ч} = \frac{60}{V_ч},$$

$$t = 2. \qquad Z_2 = \frac{80}{V_ч} + \frac{20}{V_ч} = \frac{100}{V_ч},$$

$$t = 3. \qquad Z_3 = \frac{120}{V_ч} + \frac{20}{V_ч} = \frac{140}{V_ч}.$$

Этот ряд $Z_ч$ и образует, совместно с $E_ч$, ряд $\Delta V_т$, учитывая, что

$$\Delta E_{т_n} = E_ч \cdot Z_{n-1}.$$

Отсюда простым преобразованием получаем ряд $V_т$, образующий равноускоренное движение тела притяжением Земли, о котором говорилось в начале параграфа.

В приведенных выкладках роль $E_ч$ элементарна. $E_ч = \text{const}$ и может быть любой величиной, не равной нулю или бесконечности. Главную роль играет $Z_ч$. Поэтому проверим правильность вычисленных по уравнениям новой механики величин $Z_ч$.

Согласно нашему уравнению равноускоренного движения тела под влиянием постоянной силы, отношения «теоретических» величин $\frac{Z_{n-1}}{Z_{n-2}}$ должны быть точно равны соответствующим им соотношениям «экспериментальных» величин $\frac{\Delta E_{т_n}}{\Delta E_{т_{n-1}}}$, поскольку $\Delta E_т = E_ч \cdot Z$, где $E_ч = \text{const}$. Находим:

$$\frac{\Delta E_{т_2}}{\Delta E_{т_1}} = \frac{150}{50} = 3, \qquad \frac{Z_1}{Z_0} = \frac{60}{20} = 3;$$

$$\frac{\Delta E_{т_3}}{\Delta E_{т_2}} = \frac{250}{150} = 1{,}66, \qquad \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{100}{60} = 1{,}66;$$

$$\frac{\Delta E_{т_4}}{\Delta E_{т_3}} = \frac{350}{250} = 1{,}4, \qquad \frac{Z_3}{Z_2} = \frac{140}{100} = 1{,}4 \quad \text{и т. д.}$$

Убеждаемся, что новая механика точно описывает равноускоренное движение тела при действии на него постоянной силы (здесь — притяжения Земли).

§ 41. Живое. Ум

Все живое нуждается в энергии для своей деятельности. Поскольку энергия не создается, ее возможно только собирать, концентрировать извне.

Все живое, от бактерии до человека, обладает возможностью собирать энергию. Это его *принципиальная отличительная* черта *от* неживого. Неживое способно только рассеивать свою энергию вовне.

Собирать энергию, как мы видели, возможно только путем ее захвата. Для захвата энергии необходимо заранее знать параметры движения носителя энергии и в нужное время нужным образом «сцепиться» с ним.

Чем полнее наши знания о носителе энергии, тем большую долю его энергии мы захватываем. В идеале — это резонансный захват энергии.

И наоборот, при недостаточном знании доля захваченной энергии будет небольшой.

Попытки захватить энергию вслепую, без знания параметров носителя энергии, приведут только к потере своей энергии в слепом блуждании.

Все живое, от бактерии до человека, обладает возможностью узнавать о параметрах движения носителя энергии ***еще до встречи и «сцепления» с ним.*** *Это вторая принципиальная отличительная черта всего живого.*

Предсказание параметров движения носителя энергии в принципе возможно только на основе моделирования поведения энергоносителя.

Все мыслимые варианты интеллектуальной деятельности живого, в конечном счете, являются вариантами моделирования.

В зависимости от интеллектуального уровня живого и конкретной задачи захвата энергии, модели могут быть различного интеллектуального уровня.

Таким образом, можно говорить, что **УМ живого существа есть «устройство моделирования» или «умение моделировать» с целью захвата энергии извне.**

Так как захват энергии производится **на основе принципов взаимодействия тел**, то структура ума, функции ума, объем ума, короче говоря, весь интеллект живого должен строиться из расчета **реализации принципов взаимодействия тел.** Задачи и виды интеллектуальной деятельности живого, тем самым, приобретают четко очерченные формы.

Литература

1. *Герц Г.* Принципы механики, изложенные в новой связи. АН СССР, 1959.
2. *Максвелл Д. К.* Избр. соч. по теории электромагнитного поля. Госиздат технико-теоретической литературы, 1954.
3. *Стрелков С. П.* Введение в теорию колебаний. Госиздат технико-теоретической литературы, 1951.
4. *Бергман П. Г.* Введение в теорию относительности (с предисловием А. Эйнштейна). Госиздат иностранной литературы, 1947.
5. *Маркс Г.* Введение в квантовую механику. Изд. АН Венгрии, 1962.
6. *Корсунский М. И.* Атомное ядро. Госиздат технико-теоретической литературы, 1956.

URSS.ru URSS.ru URSS.ru URSS.ru

Представляем Вам наши лучшие книги:

URSS

Учебники и задачники по физике

Воронов В. К., Подоплелов А. В. **Современная физика.**
Иванов Б. Н. **Законы физики.**
Капитонов И. М. **Введение в физику ядра и частиц.**
Шепелев А. В. **Оптика. Готовимся к экзаменам, зачетам, коллоквиумам.**
Кириллов В. М. и др. **Решение задач по физике.**
Кронин Дж., Гринберг Д., Телегди В. **Теоретическая физика. Сб. задач с решениями.**
Колоколов И. В. и др. **Задачи по математическим методам физики.**
Жукарев А. С. и др. **Задачи повышенной сложности в курсе общей физики.**
Розенблат Г. М. **Механика в задачах и решениях.**
Сапунов В. Т. **Классический курс сопротивления материалов в решениях задач.**
Варикаш В. М., Болсун А. И., Аксенов В. В. **Сборник задач по статистической физике.**
Сурдин В. Г. **Астрономические задачи с решениями.**
Николаев О. С. **Физика и астрономия: Курс практических работ для средней школы.**

Термодинамика и статистическая физика

Квасников И. А. **Термодинамика и статистическая физика.** В 4 т.
Квасников И. А. **Молекулярная физика.**
Базаров И. П. **Заблуждения и ошибки в термодинамике.**
Хайтун С. Д. **История парадокса Гиббса.**
Агеев Е. П. **Неравновесная термодинамика в вопросах и ответах.**
Дуров В. А., Агеев Е. П. **Термодинамическая теория растворов.**
Мюнстер А. **Химическая термодинамика.**
Крылов Н. С. **Работы по обоснованию статистической физики.**
Зайцев Р. О. **Введение в современную статистическую физику.**
Зайцев Р. О. **Введение в современную кинетическую теорию.**
Кубо Р. **Статистическая механика. Современный курс с задачами и решениями.**
Бриллюэн Л. **Квантовая статистика.**
Хинчин А. Я. **Математические основания квантовой статистики.**
Поклонский Н. А., Вырко С. А., Поденок С. Л. **Статистическая физика полупроводников.**

Квантовая механика

Кемпфер Ф. **Основные положения квантовой механики.**
Мотт Н., Снеддон И. **Волновая механика и ее применения.**
Бройль Л. де. **Введение в волновую механику.**
Фок В. А. **Начала квантовой механики.**
Фок В. А. **Квантовая физика и строение материи.**
Фок В. А. **Работы по квантовой теории поля.**
Галицкий В. М., Карнаков Б. М., Коган В. И. **Задачи по квантовой механике.** Ч. 1, 2.
Горбацевич А. К. **Квантовая механика в общей теории относительности.**
Килин С. Я. **Квантовая оптика: поля и их детектирование.**
Вильф Ф. Ж. **Логическая структура квантовой механики.**
Ван дер Варден Б. Л. **Метод теории групп в квантовой механике.**
Бауэр Э. **Введение в теорию групп и ее приложения к квантовой физике.**
Петрашень М. И., Трифонов Е. Д. **Применение теории групп в квантовой механике.**

URSS.ru URSS.ru URSS.ru URSS.ru

URSS.ru URSS.ru URSS.ru URSS.ru

Представляем Вам наши лучшие книги:

URSS

Теория поля

Рубаков В. А. **Классические калибровочные поля. Бозонные теории.**
Рубаков В. А. **Классические калибровочные поля. Теории с фермионами. Некоммутативные теории.**
Сарданашвили Г. А. **Современные методы теории поля.** Т. 1–4.
Иваненко Д. Д., Сарданашвили Г. А. **Гравитация.**
Прохоров Л. В., Шабанов С. В. **Гамильтонова механика калибровочных систем.**
Коноплева Н. П., Попов В. Н. **Калибровочные поля.**
Менский М. Б. **Группа путей: измерения, поля, частицы.**
Менский М. Б. **Метод индуцированных представлений.**
Богуш А. А. **Введение в калибровочную полевую теорию электрослабых взаимодействий.**
Богуш А. А., Мороз Л. Г. **Ведение в теорию классических полей.**

Теория относительности

Вейль Г. **Пространство. Время. Материя. Лекции по общей теории относительности.**
Угаров В. А. **Специальная теория относительности.**
Пименов Р. И. **Анизотропное финслерово обобщение теории относительности как структуры порядка.**
Вильф Ф. Ж. **Логическая структура частной теории относительности.**
Сацункевич И. С. **Экспериментальные корни специальной теории относительности.**
Эддингтон А. С. **Относительность и кванты.**
Эддингтон А. С. **Теория относительности.**
Фок В. А. **Теория пространства, времени и тяготения.**
Фок В. А. **Теория Эйнштейна и физическая относительность.**

Серия «Синергетика: от прошлого к будущему»

Пенроуз Р. **НОВЫЙ УМ КОРОЛЯ. О компьютерах, мышлении и законах физики.**
Хакен Г. **Информация и самоорганизация.**
Безручко Б. П. и др. **Путь в синергетику. Экскурс в десяти лекциях.**
Данилов Ю. А. **Лекции по нелинейной динамике. Элементарное введение.**
Князева Е. Н., Курдюмов С. П. **Основания синергетики.** Кн. 1, 2.
Климонтович Ю. Л. **Турбулентное движение и структура хаоса.**
Трубецков Д. И. **Введение в синергетику.** В 2 кн.: **Колебания и волны; Хаос и структуры.**
Арнольд В. И. **Теория катастроф.**
Малинецкий Г. Г. **Математические основы синергетики.**
Малинецкий Г. Г., Потапов А. Б. **Нелинейная динамика и хаос: основные понятия.**
Малинецкий Г. Г., Потапов А. Б., Подлазов А. В. **Нелинейная динамика.**
Малинецкий Г. Г. (ред.) **Будущее России в зеркале синергетики.**
Турчин П. В. **Историческая динамика. На пути к теоретической истории.**
Пригожин И. **Неравновесная статистическая механика.**
Пригожин И. **От существующего к возникающему.**
Пригожин И., Стенгерс И. **Время. Хаос. Квант. К решению парадокса времени.**
Пригожин И., Стенгерс И. **Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой.**
Суздалев И. П. **Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов.**

URSS.ru URSS.ru URSS.ru URSS.ru

URSS.ru URSS.ru URSS.ru URSS.ru

Представляем Вам наши лучшие книги:

URSS

Серия «Relata Refero»

Бабанин А. Ф. **Введение в общую теорию мироздания.** Кн. 1, 2.
Кириллов А. И , Пятницкая Н. Н. **Квант-силовая физика. Гипотеза.**
Еремин М. А. **Революционный метод в исследовании функций действ. переменной.**
Еремин М. А. **Определитель Еремина в линейной и нелинейной алгебре.**
Опарин Е. Г. **Физические основы бестопливной энергетики.**
Низовцев В. В. **Время и место физики XX века.**
Стельмахович Е. М. **Пространственная (топологическая) структура материи.**
Плохотников К. Э. и др. **Основы психорезонансной электронной технологии.**
Ацюковский В А. **Физические основы электромагнетизма и электромагнитных явлений.**
Кецарис А. А. **Алгебраические основы физики.**
Брусин Л. Д., Брусин С. Д. **Иллюзия Эйнштейна и реальность Ньютона.**
Долгушин М. Д. **Эвристические методы квантовой химии или о смысле научных занятий.**
Терлецкий Н. А. **О пользе и вреде излучения для жизни.**
Харченко К. П., Сухарев В. Н. **«Электромагнитная волна», лучистая энергия — поток реальных фотонов.**
Бернштейн В. М. **Перспективы «возрождения» и развития электродинамики и теории гравитации Вебера.**
Николаев О. С. **Водород и атом водорода. Справочник физических параметров.**
Николаев О. С. **Железо и атом железа. Сжимаемость. Справочник физ. параметров.**
Николаев О. С. **Критическое состояние металлов.**
Николаев О. С. **Механические свойства жидких металлов.**
Шевелев А. К. **Структура ядра.**
Михеев С. В. **Темная энергия и темная материя — проявление нулевых колебаний электромагнитного поля.**
Галавкин В. В. **Дорогой Декарта, или физика глазами системотехника.**
Галавкин В. В. **Аристотель против Ньютона, или экономика глазами системотехника.**
Федосин С. Г. **Современные проблемы физики. В поисках новых принципов.**
Федосин С. Г. **Основы синкретики. Философия носителей.**
Иванов М. Г. **Антигравитационные двигатели «летающих тарелок». Теория гравитации.**
Смольяков Э. Р. **Теоретическое обоснование межзвездных полетов.**
Хохлов Ю. Н. **О нас и нашем мире.**
Письмак В. П. **Начала отрицания экономики.**
Ильин В Н. **Термодинамика и социология.**

Тел./факс:
(495) 135-42-46,
(495) 135-42-16,
E-mail:
URSS@URSS.ru
http://URSS.ru

Наши книги можно приобрести в магазинах:

«Библио-Глобус» (м. Лубянка, ул. Мясницкая, 6. Тел. (495) 625-2457)
«Московский дом книги» (м. Арбатская, ул. Новый Арбат, 8. Тел. (495) 203-8242)
«Молодая гвардия» (м. Полянка, ул. Б. Полянка, 28. Тел. (495) 238-5001, 780-3370)
«Дом научно-технической книги» (Ленинский пр-т, 40. Тел. (495) 137-6019)
«Дом книги на Ладожской» (м. Бауманская, ул. Ладожская, 8, стр. 1. Тел. 267-0302)
«Гнозис» (м. Университет, 1 гум. корпус МГУ, комн. 141. Тел. (495) 939-4712)
«У Кентавра» (РГГУ) (м. Новослободская, ул. Чаянова, 15. Тел. (499) 973-4381)
«СПб. дом книги» (Невский пр., 28. Тел. (812) 311-3954)

URSS.ru URSS.ru URSS.ru URSS.ru

Георгий Яковлевич ЗВЕРЕВ

Кандидат технических наук.
В 1953 г. окончил Рижское высшее инженерно-авиационное училище.

Был главным конструктором ряда военно-технических систем зенитных ракетных комплексов: ЗРК «Беркут», ЗРК «Оса», ЗРК «С-300В», КР П5-РГ и др.
В 1972 г. создал и возглавил КБ «Рубин» Министерства радиопромышленности СССР.

С 1983 г. по настоящее время — начальник научно-исследовательского отдела 13 ГНИИ МО, главный конструктор авиационной радиостанции с широкополосной несущей «Квант».

Наше издательство предлагает следующие книги:

4961 ID 53635

НАУЧНАЯ И УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Тел./факс: 7 (495) 135–42–16
Тел./факс: 7 (495) 135–42–46

E-mail: URSS@URSS.ru
Каталог изданий в Интернете: http://URSS.ru

Любые отзывы о настоящем издании, а также
по адресу URSS@URSS.ru. Ваши замеча
и отражены на web-странице этой книги в наш