

ВВЕДЕНИЕ

1.1. Окружающий нас мир

Окружающий мир представляется людям огромным и сложным. Это своего рода гигантская арена, на которой разыгрываются события самого различного масштаба. Интересно познакомиться с числовыми значениями некоторых величин, характеризующих Вселенную. Мы не будем сейчас подробно останавливаться на доказательствах и измерениях, которые позволили определить называемые здесь числа. Самое замечательное в этих числах — это то, что мы их вообще знаем; не имеет решающего значения, что некоторые из них мы знаем только приближенно.

Огромные размеры Вселенной. Из астрономических наблюдений мы заключаем, что величина порядка 10^{28} см, или 10^{10} световых лет, — это характеристическая длина, которую нестрого называют иногда радиусом Вселенной. Для сравнения укажем, что расстояние Земли от Солнца равно $1,5 \cdot 10^{13}$ см, а радиус Земли равен $6,4 \cdot 10^8$ см.

Число атомов в известной нам части Вселенной. Ядра атомов всех элементов состоят из протонов и нейтронов. Ученые предполагают, что общее число протонов и нейтронов в известной нам части Вселенной, определенное с неточностью, может быть, раз в 100, имеет порядок 10^{80} . В состав Солнца входит около $1 \cdot 10^{57}$ протонов и нейтронов, а в состав Земли — около $4 \cdot 10^{51}$. Общее число протонов и нейтронов в известной нам Вселенной достаточно для того, чтобы образовать около $10^{80}/10^{57}$, т. е. около 10^{23} , звезд с массой, равной массе нашего Солнца (это составляет одну шестую «моля звезд»). Ученые считают, что большая часть массы Вселенной — это масса звезд и что все известные звезды имеют массы, находящиеся между 0,01—100-кратной массой нашего Солнца.

Жизнь — наиболее сложное явление во Вселенной. Человек, одно из наиболее сложно устроенных живых существ, состоит примерно из 10^{16} клеток. Клетка представляет собой элементарную физиологическую ячейку, содержащую 10^{12} — 10^{14} атомов. В любую клетку любого живого организма входит хотя бы одна длинная молекуляр-

ная нить ДНК (дезоксирибонуклеиновой кислоты). Нити ДНК в клетке являются носителями всех химических данных, составляющих генетическую информацию, необходимую для формирования целого организма человека или птицы, бактерии или дерева. В молекуле ДНК, которая состоит из 10^8 — 10^{10} атомов, точное взаимное расположение атомов может изменяться от индивидуума к индивидууму; тем более, оно всегда изменяется при переходе от вида к виду *).

Неживая материя также существует во многих формах. Сочетания протонов, нейтронов и электронов образуют около ста различных химических элементов и около тысячи известных изотопов. Индивидуальные элементы соединяются в различных соотношениях, образуя, может быть, 10^6 или больше разных идентифицированных химических соединений, и к этому числу можно добавить огромное количество жидких и твердых растворов и сплавов различного состава, имеющих самые разнообразие физические свойства.

Экспериментальные науки предоставили нам возможность познать все эти данные о природе: классифицировать звезды и определить их массы, состав, расстояние до нас и скорости; классифицировать виды живых существ и расшифровать их генетические соотношения; синтезировать неорганические кристаллы, биохимические вещества и новые химические элементы; измерить частоты линий спектров испускания атомов и молекул, находящиеся в интервале от 100 до 10^{20} гц; наконец, создать в лабораторных условиях новые элементарные частицы.

Эти огромные успехи экспериментальных наук были достигнуты учеными с самыми различными чертами характера: среди них были люди терпеливые и настойчивые, догадливые и изобретательные, энергичные и удачливые; встречались также люди с ограниченными способностями, но имеющие искусные руки. Некоторые из них предпочитали пользоваться только простыми приборами; другие разработали или изготовили приборы, обладающие большой точностью или огромными размерами, или приборы, отличающиеся своей сложностью. Только немногие общие черты объединяют большинство этих людей: они были честны перед наукой и действительно выполнили описанные ими наблюдения, а результаты своей работы опубликовали в такой форме, которая дала другим исследователям возможность повторить их опыты или наблюдения.

Итак, хотя окружающий нас мир действительно огромен и сложен, но по мере того, как развивались научные теории, многие его особенности стали выглядеть для нас значительно проще и понятнее. Мы уже достигли понимания большого числа принципиальных и важных законов природы. В частности, о ряде областей физической

*) Термин *вид* можно приблизительно определить так: два множества особей относятся к различным видам, если между ними можно найти какие-либо поддающиеся описанию различия (или различие) и если они не скрещиваются в природных условиях. На нашей планете описаны и получили наименования более 10^6 биологических видов.

науки можно сказать, что мы понимаем рассматриваемые в них явления. Некоторые из этих разделов физики перечисляются ниже. Вместе с теорией относительности и статистической механикой их можно отнести к числу величайших достижений человеческого ума.

1. Законы классической механики, излагаемые в т. I, дают нам возможность рассчитывать с исключительной точностью движение различных тел Солнечной системы (включая кометы и астероиды); знание этих законов позволило предсказать существование новых планет и открыть их. Эти законы подсказывают нам, как могли образоваться звезды и галактики, вместе с законами излучения они дают хорошее объяснение наблюдаемой связи между массой и яркостью звезд. Астрономические применения законов классической механики — это наиболее красивые, но не единственные примеры их успешного применения. Мы постоянно используем эти законы в повседневной жизни и в технических науках.

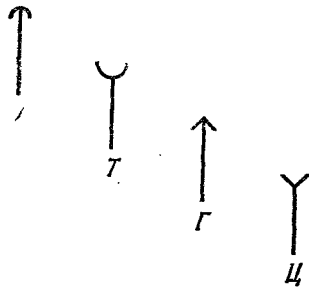
2. Законы квантовой механики (т. IV) дают очень хорошее представление о характере явлений атомного масштаба. Для простых атомов предсказания, сделанные на основании этих законов, согласуются с опытными данными с точностью до одной стотысячной, а иногда и лучше. Если применять законы квантовой механики к крупномасштабным земным или космическим явлениям, то они окажутся с отличной точностью тождественными законам классической механики. В принципе квантовая механика представляет собой надежную теоретическую основу для всей химии, металлургии и значительной части физики, но зачастую мы не в состоянии довести до конца решение ее уравнений с помощью уже имеющихся (или даже более совершенных) вычислительных машин.

В некоторых областях физики почти все задачи представляются в настоящее время настолько сложными, что даже их теоретический анализ, основанный на общих принципах квантовой механики, оказывается чересчур трудным.

3. Законы классической электродинамики отлично описывают все особенности электрических и магнитных явлений, за исключением явлений атомного масштаба. Классическая электродинамика является теоретической основой электротехники и техники средств связи. Закономерности электрических и магнитных явлений атомного масштаба точно описываются квантовой электродинамикой. Классическая электродинамика излагается в тт. II и III; некоторые вопросы квантовой электродинамики затрагиваются в т. IV, а более полное обсуждение ее отложим до изучения специального курса.

4. В качестве более частного примера из другой области науки укажем, что в настоящее время, по-видимому, становится понятным действие генетического кода, и мы обнаружили, что запас информации в клетке простого организма превосходит запас информации в лучших современных серийных вычислительных машинах. Этими вопросами занимается молекулярная биология; ею установлено, что в течение почти всей жизни нашей планеты кодирование генетической информации в молекуле ДНК целиком выполняется линей-

ной последовательностью четырех различных молекулярных групп, являющихся производными органических оснований *аденина, тимина, гуанина* и *цитозина* (рис. 1.1). Вся генетическая информация в клетке содержится в том порядке, в котором чередуются эти нуклеотидные основания. Нас здесь не интересуют их химические формулы, и мы можем обозначить их соответственно *A, T, G* и *C*. Важно то, что при биологическом воспроизведении молекулы ДНК элемент *A* в старой, т. е. родительской, нити может удобно поместиться только против элемента *T* в новой, дочерней нити; подобно этому элемент *G* может комбинироваться только с элементом *C*. Если мы напишем в строчку произвольные комбинации четырех букв *A, T, G, C*, то принцип комбинирования пар *A — T* и *G — C* дает нам определенные однозначные указания о том, как должна быть написана вторая строчка:



элемент *G* может комбинироваться только с элементом *C*. Если мы напишем в строчку произвольные комбинации четырех букв *A, T, G, C*, то принцип комбинирования пар *A — T* и *G — C* дает нам определенные однозначные указания о том, как должна быть написана вторая строчка:

T A C G A A C T T A T C G C A A
A T G C T T G A A T A G C G T T

Рис. 1.1. Схематическое изображение четырех нуклеотидных оснований, из которых строится молекула ДНК. *A* — аденин; *T* — тимин; *G* — гуанин; *C* — цитозин.

Такие «строчки» в молекулах ДНК содержат до 10^6 элементов, а для клетки столь сложного организма, как человеческий, — может быть, до 10^9 элементов.

По своему характеру физические законы и теоретические соображения, приведенные в этих примерах (рис. 1.2—1.6), отличаются от непосредственных результатов экспериментальных наблюдений. Законы, обобщающие наиболее существенные черты большого числа наблюдений, дают нам возможность успешно делать некоторые прогнозы, ограниченные на практике сложностью изучаемых систем. Часто физические законы наводят на мысль о постановке новых, и притом необычных, опытов. Хотя эти законы можно сформулировать в компактном виде *), их применение иногда требует длительного математического анализа и кропотливых вычислений.

У основных физических законов есть такая особенность: те законы, смысл которых мы уже вполне понимаем, отличаются замечательным изяществом и простотой **). Это утверждение вовсе не

*) Первая фраза в аннотации на обороте суперобложки книги Р. Фейнмана «Теория фундаментальных процессов» (R. F e y n m a n, Theory of Fundamental Processes, New York, 1961) гласит: «Эти лекции охватят всю физику».

**) Выдающийся физик-теоретик Дирак писал: «По-видимому, если ученый исходит из стремления достигнуть изящества своих уравнений и если он действительно обладает ясной интуицией, то этот человек находится на верном пути к успеху» (P. A. M. D i r a c, Sci. American 208, 45 (1963)).

Однако, за исключением таких величайших умов нашего времени, как Эйнштейн или Дирак и дюжина других, большинство физиков считает, что материальный мир устроен слишком сложно, чтобы оправдывались такие дерзкие обобщения. Для тысяч простых смертных этот метод не всегда применим, так как «ясная интуиция» неравномерно распределена между людьми.

означает, что все физики должны перестать исследовать сложные явления. Напротив, физические законы, как правило, были открыты в итоге кропотливой и искусной экспериментальной работы. Сказанное

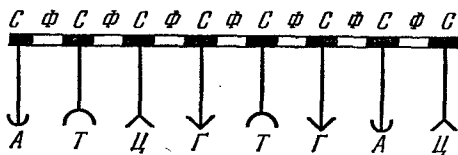


Рис. 1.2. Нуклеотиды соединяются с группами сахара С, которые в свою очередь связываются между собой фосфатными группами Ф, образуя цепь.

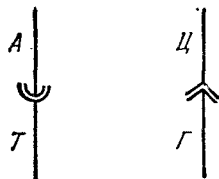


Рис. 1.3. Целая молекула ДНК состоит из двойной цепи в форме спирали. Две одиночные цепи соединяются водородными связями между группами аденина и тимина или между группами гуанина и цитозина.

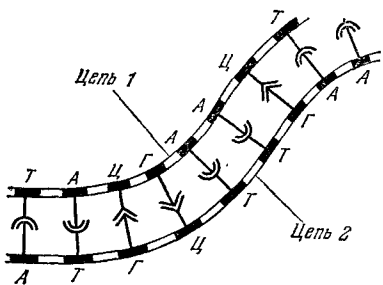


Рис. 1.4. Вся генетическая информация в клетке заключена в том порядке, в котором чередуются нуклеотидные основания.

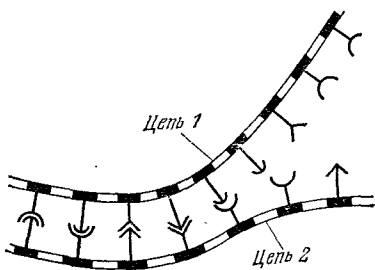


Рис. 1.5. Когда происходит деление клетки, каждая молекула ДНК расщепляется на две отдельные цепи.

выше означает только, что эстетические достоинства уже известных физических законов определяют наши ожидания в отношении формы еще неоткрытых законов. Мы были бы весьма удивлены, если бы в будущем были открыты новые принципиальные положения физической теории, которые были бы неуклюжими и нескладными высказываниями по тому или иному признаку. Мы имеем обыкновение называть гипотезу привлекательной, если она выделяется по простоте и изяществу из бесчисленного множества кажущихся разумными, но неверных теорий.

В этом курсе мы постараемся сформулировать ряд физических законов таким образом, чтобы подчеркнуть их простоту и изящество.

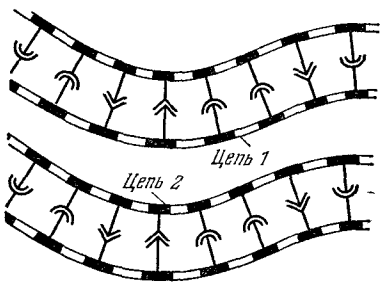


Рис. 1.6. Каждая отдельная цепь формирует свое дополнение из имеющегося в клетке вещества, так что образуются две совершенно новые молекулы ДНК.

В ходе изложения мы попытаемся также дать почувствовать «вкус» хорошей экспериментальной физики, хотя это очень трудно сделать в учебнике. Естественным местом для занятий экспериментальной физикой является не читальный зал, а исследовательская лаборатория.

1.2. Геометрия и физика

Язык физики — это математический язык, обеспечивающий замечательную простоту и компактность описания, необходимую для правильного изложения физических законов и их следствий. Этот язык имеет особые правила. Если следовать им, то можно будет делать только правильные утверждения, например: квадратный корень из 2 равен 1,414... или $\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha$.

Мы должны следить за тем, чтобы не смешивать такие истины с точными утверждениями относительно самого физического мира.

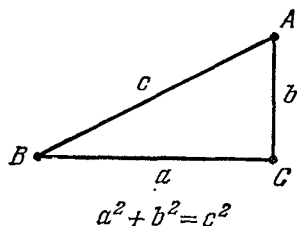


Рис. 1.7. Точно ли описывают физический мир аксиомы евклидовой геометрии, из которых логически выводится теорема Пифагора? Это может решить только опыт.

Вопрос, как можно убедиться в том, что измеренное отношение длины окружности к диаметру физического круга действительно равняется 3,14159..., является скорее вопросом эксперимента, а не умозаключения. Геометрические измерения имеют для физики принципиальное значение, и мы должны решать такие вопросы до того, как применять евклидову или какую-либо другую геометрию для описания окружающего нас мира. Это безусловно является вопросом о физических свойствах Вселенной: можем ли мы в физических измерениях

предполагать, что справедливы аксиомы и теоремы Евклида?

Не вдаваясь в сложные математические вычисления, мы можем высказать только несколько простых истин об экспериментально определяемых свойствах пространства.

Одной из наиболее известных теорем математики является теорема Пифагора: в прямоугольном треугольнике квадрат гипотенузы равен сумме квадратов прилежающих к ней сторон (катетов) (рис. 1.7). Выполняется ли эта математическая истина также в реальном мире, изучаемом физикой? Может ли быть иначе? Умозаключений тут недостаточно, и для ответа мы должны обратиться к опыту. Мы приведем соображения, которые носят несколько неполный характер, так как мы пока не можем пользоваться математикой трехмерного пространства, обладающего кривизной.

Вначале вообразим, в каком положении находились бы двумерные разумные существа, живущие в такой Вселенной, которая представляет собой поверхность шара. Их математики могли бы дать им описание свойств пространств с тремя и даже большим числом измерений, но им так же трудно представить в своем вооб-