

Не ограничивая общности рассуждений, всегда можно выбрать произвольную функцию  $\psi$  так, чтобы при любом  $\operatorname{div} \mathbf{A} \neq 0$  имело место равенство

$$\Delta\psi = -\operatorname{div} \mathbf{A}.$$

Это значит, что всегда можно считать

$$\operatorname{div} \mathbf{A}' = 0$$

и, следовательно, условие (2,14) имеет совершенно общий характер.

Легко показать, наконец, что найденное выражение для  $\mathbf{a}$  является единственным решением уравнений (2,2) — (2,4)<sup>1)</sup>.

Найденное нами выражение для векторного поля  $\mathbf{a}$ , в зависимости от значений его дивергенции  $j(\mathbf{r})$  и ротора  $\omega(\mathbf{r})$ , не связано с какими-либо допущениями о физическом смысле и характере рассматриваемых величин. Оно, вместе с тем, является прототипом тех вычислений, которые обычно приходится проделывать в теории электромагнитного поля для нахождения электрического и магнитного полей.

### § 3. Заряды и частицы

Согласно современным представлениям, в природе существуют так называемые элементарные частицы и системы, имеющие сложную структуру, и построенные из элементарных частиц — атомы и молекулы. Элементарные частицы и системы, состоящие из сравнительно небольшого числа элементарных частиц — отдельные атомы или молекулы, принято называть микрочастицами и микросистемами, тела, состоящие из большого числа атомов — макросистемами.

В настоящее время известно достаточно большое число элементарных частиц, более трех десятков. Взаимоотношения между элементарными частицами весьма далеки от простой схемы, принимавшейся в физике еще сравнительно недавно, когда были известны лишь две элементарные частицы — протон и электрон.

С основными свойствами микрочастиц и микросистем мы познакомимся в дальнейшем и главным образом в пятой части курса. Наиболее глубокие вопросы, касающиеся строения и свойств элементарных частиц, еще не выяснены в современной физике, а ряд установленных положений настолько сложен, что их изложение не может быть проведено в рамках этой книги.

В первой части книги будут рассмотрены некоторые свойства микрочастиц и микросистем в приближении классической

<sup>1)</sup> См., например, П. Е. Кочин, Векторное исчисление и начала тензорного исчисления, Изд-во АН СССР, 1951, стр. 213.

физики. В чем оно заключается и каковы границы его применимости, будет видно из дальнейшего

Важнейшей характеристикой всех микрочастиц является закон взаимодействия между ними. Микрочастицы могут взаимодействовать, находясь на некотором расстоянии друг от друга

В настоящее время известно, что между микрочастицами существует несколько различных видов взаимодействия — электромагнитное, гравитационное, ядерное. Каждый вид взаимодействия связывается с определенной характеристикой частицы. В первой части курса, включенной в эту книгу, мы будем интересоваться только электромагнитным взаимодействием. Под электромагнитным взаимодействием понимают определенный вид силового взаимодействия между некоторыми частицами, характер которого будет рассмотрен ниже.

Электромагнитное взаимодействие не зависит от масс частиц, которые определяют их гравитационное взаимодействие. Оказывается, что в простейшем случае неподвижных относительно друг друга и притом одинаковых частиц, сила взаимодействия определяется только расстоянием между ними и единственной характеристикой частиц, именуемой их зарядом.

Закон взаимодействия неподвижных относительно друг друга частиц выражается известной формулой:

$$F = \frac{e_1 e_2}{r^2} r,$$

где  $F$  — сила,  $r$  — расстояние между частицами и  $e$ , — их заряд. Это — так называемый закон Кулона.

Заряд частицы данного типа является одной из основных, первичных ее характеристик. Сила взаимодействия между частицами одного типа — электронами, протонами и т. д. — всегда сила отталкивания. Взаимодействие между частицами разных типов может иметь характер как отталкивания, так и притяжения. Условно принято считать электроны заряженными отрицательно, протоны — положительно. Знак заряда остальных заряженных элементарных частиц —  $\mu$ - и  $\pi$ -мезонов,  $K$ -мезонов и гиперонов определяется по отношению к электронам и протонам так, чтобы он отвечал правилу — одноименно заряженные частицы отталкиваются, разноименно заряженные частицы притягиваются друг к другу

Нейтроны, нейтрино, нейтральные  $\pi$ -мезоны могут служить примерами нейтральных частиц. Нейтральным частицам нельзя приписать какой-либо отличный от нуля заряд.

Удивительной особенностью заряда является то, что у всех элементарных частиц он имеет одно и то же абсолютное значение.

В системе CGSE, которой мы будем пользоваться в дальнейшем, элементарный заряд равен  $|e| = 4,77 \cdot 10^{-10} \text{ э}^{1/2} \cdot \text{см}^{3/2} \cdot \text{сек}^{-1}$ .

Второй особенностью заряда, выражающей его фундаментальное значение как характеристики частиц, является свойство сохранения. Во всех процессах, происходящих в природе, алгебраическая сумма зарядов не изменяется (закон сохранения заряда). Закон сохранения заряда является одним из самых важных законов природы.

Большинство тел в земных условиях построено из атомов и молекул — квазинейтральных систем, у которых положительный заряд ядра равен отрицательному заряду электронной оболочки. При ионизации, т. е. при переходе в заряженное состояние, атом теряет один или несколько электронов. В силу закона сохранения заряда при ионизации возникает положительный ион с зарядом  $N|e|$  и  $N$  электронов с зарядом  $-|e|$ , где  $N$  — целое число. При присоединении к атому лишнего электрона он может превращаться в отрицательный ион с зарядом  $-|e|$ . Таким образом, заряд всякой системы является целочисленным, кратным элементарному заряду  $e$ .

В микроскопической классической теории поля мы будем изучать поведение систем, состоящих из сравнительно небольшого числа частиц, например, отдельных электронов или протонов, ионов и т. д. Будем считать отдельные элементарные частицы не имеющими протяженности и движущимися по законам классической механики. Внутренней структурой элементарных частиц мы интересоваться не будем. Такая идеализация, как это будет ясно из дальнейшего, в ряде случаев является чрезмерно грубой. Законы классической физики имеют ограниченную применимость к микросистемам, а иногда и вовсе не применимы к ним. В частности, они непригодны для рассмотрения явлений, происходящих в весьма малой области пространства вблизи заряда. Поэтому в ряде случаев, которые будут обсуждаться ниже, наши упрощающие предположения приведут к трудностям и противоречиям.

В квантовой механике (часть пятая курса) представления о законах, определяющих движение и свойства микроскопических частиц, будут существенно развиты и усовершенствованы.

Поскольку нас пока будут интересовать только свойства частиц, связанные с их электромагнитным взаимодействием, мы будем просто говорить о взаимодействии зарядов.

#### § 4. Поле неподвижных зарядов

Пусть в некоторых точках пространства  $r_i$  закреплены заряды  $e_i$ . Поместим в область пространства вблизи этой совокупности зарядов некоторый заряд  $e$ , настолько малый, что изме-