

Глава 0. Введение§1. Архитектура современной физики

1. К концу 19 в. было почти завершено построение классической физики, основой которой является механика Ньютона – Лагранжа – Гамильтона и электродинамика Фарадея – Максвелла. Как потом выяснилось, это есть теория медленных движений макроскопических тел. Классическая физика не могла объяснить лишь две небольшие группы фактов: явления, связанные с распространением света в движущихся средах, и закономерности излучения черного тела, а также фотоэффекта.

2. Анализ первой группы фактов привел Эйнштейна к созданию специальной теории относительности (СТО) – теории быстрых движений макроскопических тел и электромагнитного поля. Несколько позже он построил её обобщение – общую теорию относительности (ОТО) – теорию пространства – времени – тяготения. В физику вошла новая фундаментальная константа – скорость света

$$c = 3 \cdot 10^{10} \text{ см/сек.},$$

и коренным образом изменились наши обыденные представления о свойствах пространства и времени.

3. Анализ второй группы фактов и более поздних открытий привел в конечном итоге к созданию квантовой механики – теории медленных движений микроскопических тел. В физике появилась еще одна фундаментальная константа – постоянная Планка

$$\hbar = 1,05 \cdot 10^{-27} \text{ эрг} \cdot \text{сек},$$

и наши представления подверглись еще большей революционной ломке.

4. Естественно было объединить две указанные структуры, т.е. построить релятивистскую квантовую теорию, включающую в качестве фундаментальных констант и скорость света и постоянную Планка. Несмотря на огромные успехи в этом направлении, полностью завершенной и внутренне непротиворечивой теории такого рода по сей день не создано.

5. Образцом построения физики является построение математики по Бурбаки, когда вводится несколько фундаментальных структур, а все остальные получаются путем всевозможных их объединений и пересечений. Посмотрим с этой точки зрения на фундаментальные физические теории.

6. Классификационными признаками фундаментальных физических процессов являются скорости, масштабы и типы взаимодействий, причем каждому признаку отвечает своя фундаментальная константа.

| <u>Взаимодействия</u> | <u>Масштабы</u> | <u>Скорости</u> |
|-----------------------|-----------------|-----------------|
| 1) Гравитационное     | а) Мегамир      | α) Большие      |
| 2) Слабое             | б) Макромир     |                 |
| 3) Электромагнитное   |                 | β) Малые        |
| 4) Сильное            | в) Микромир     |                 |

7. Классификация по скорости:

( $\alpha$ )  $v \ll c$  - нерелятивистская физика,

( $\beta$ )  $v \sim c$  - релятивистская физика.

Фундаментальная константа – скорость света  $c$ .

8. Классификация по масштабам:

( б ) обычные размеры – макромир – макроскопическая физика,

( в )  $R \leq 10^{-6}$  см – микромир – квантовая физика,

( а )  $R \sim 1$  млрд. св. лет =  $10^{27}$  см – мегамир – космология.

Минимальные размеры -  $10^{-15}$  см, максимальные размеры -  $10^{28}$  см.

Фундаментальная константа – постоянная Планка  $\hbar$ .

9. Классификация по типам взаимодействия:

( 3 ) – электромагнитное – наиболее известное – свойственно заряженным частицам, которые взаимодействуют с фотонами, а через их посредство друг с другом – характеристики:

$$R = \infty, \quad \tau \sim 10^{-17} \text{ сек.}, \quad \frac{e^2}{\hbar c} \equiv \alpha = \frac{1}{137};$$

( 4 ) – сильное – свойственно тяжелым частицам с  $m \geq 276m_e$

- обуславливает их рассеяние, образование и быстрые распады, в частности ядерные силы, - характеристики:

$$R \sim 10^{-13} \text{ см}, \quad \tau \sim 10^{-23} \text{ сек.}, \quad \frac{g^2}{\hbar c} \equiv 14;$$

( 2 ) – слабое – свойственно всем частицам, кроме фотона, - обуславливает их медленные распады и другие процессы – характеристики:

$$R \sim 10^{-17} \text{ см (?),} \quad \tau \sim 10^{-8} \text{ сек.}, \quad G \sim 10^{-14};$$

( 1 ) – гравитационное – свойственно всем объектам ( универсальность ) – характеристики:

$$R = \infty, \quad \tau = ?, \quad \frac{\gamma m^2}{\hbar c} \equiv 10^{-39}.$$

Четыре фундаментальные константы – константы связи.

## §2. Основные математические понятия и обозначения.

Ниже мы постоянно будем пользоваться тщательно разработанной математической символикой, существенно упрощающей и сокращающей запись соответствующих высказываний. Приведем поэтому список основных определений и обозначений с краткими их комментариями.

$\mathbb{R}$  - вещественная прямая, как множество вещественных чисел  $x$ .

$\mathbb{R}^n$  - вещественное линейное пространство размерности  $n$ , т.е. множество упорядоченных наборов

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$$

из  $n$  вещественных чисел  $x_j$ , в которых операция сложения и умножения на вещественные числа  $\alpha$  определены формулами

$$X' + X'' = (x'_1 + x''_1, \dots, x'_n + x''_n)$$

и

$$\alpha X = (\alpha x_1, \alpha x_2, \dots, \alpha x_n).$$

$\mathbb{C}$  - комплексная плоскость или множество комплексных чисел  $z$ .

$\mathbb{C}^n$  - комплексное линейное пространство размерности  $n$ , определяемое аналогично вещественному.

$\mathbb{U}$  - единичная окружность в комплексной плоскости, или множество чисел  $e^{i\varphi}$ , где  $\varphi$  принадлежит полуинтервалу  $[0, 2\pi)$ .

$\in$  - знак принадлежности: запись  $\psi \in \mathcal{H}$  означает, что элемент  $\psi$  принадлежит множеству  $\mathcal{H}$  ( $\psi \notin \mathcal{H}$  - элемент  $\psi$  не принадлежит множеству  $\mathcal{H}$ ).

$\subset$  - знак включения: запись  $G \subset \mathcal{H}$  означает, что множество  $G$  содержится в множестве  $\mathcal{H}$  (может быть, совпадая с ним).

$\emptyset$  - пустое множество, т.е. множество, не содержащее ни одного элемента.

$\cup$  - знак суммы множеств: запись  $\mathcal{H} = \mathcal{H}_1 \cup \mathcal{H}_2$  означает, что  $\mathcal{H}$  есть объединение множеств  $\mathcal{H}_1$  и  $\mathcal{H}_2$ , причем обобщение на случай суммы любого конечного или даже счетного числа множеств очевидно.

$\cap$  - знак пересечения множеств: запись  $\mathcal{H} = \mathcal{H}_1 \cap \mathcal{H}_2$  означает, что  $\mathcal{H}$  есть множество элементов, общих для  $\mathcal{H}_1$  и  $\mathcal{H}_2$ , причем обобщение на случай пересечения любого конечного или даже счетного числа множеств очевидно.

$\setminus$  - знак дополнения множеств: запись  $\mathcal{H} = \mathcal{H}_1 \setminus \mathcal{H}_2$  означает, что  $\mathcal{H}$  есть множество элементов, принадлежащих  $\mathcal{H}_1$ , но не принадлежащих  $\mathcal{H}_2$ .

$\rightarrow$  - знак отображения множеств: запись  $\pi: \mathcal{H}_1 \rightarrow \mathcal{H}_2$ , или  $\mathcal{H}_1 \xrightarrow{\pi} \mathcal{H}_2$  (иногда  $\mathcal{H}_2 = \pi\mathcal{H}_1$ ) отвечает отображению множества  $\mathcal{H}_1$  в множество  $\mathcal{H}_2$ , т.е. сопоставление каждому элементу  $h_1 \in \mathcal{H}_1$  какого-то одного элемента  $h_2 \in \mathcal{H}_2$ .

$\mapsto$  - знак отображения элементов множеств: запись  $\pi: h_1 \mapsto h_2$ , или  $h_1 \xrightarrow{\pi} h_2$ , или  $h_2 = \pi h_1$  означает, что отображение  $\pi$  переводит элемент  $h_1 \in \mathcal{H}_1$  в элемент  $h_2 \in \mathcal{H}_2$ ; в таком контексте  $\pi$  часто называется также оператором.

$\forall$  - квантор всеобщности: так, запись

$$(z_1 + z_2)^2 = z_1^2 + z_2^2 + 2z_1z_2, \quad \forall z_1, z_2 \in \mathbb{C}$$

означает, что приведенное равенство справедливо для любых комплексных чисел  $z_1, z_2$ .

$\exists$  - квантор существования: например, запись

$$\exists z \in \mathbb{C}: 3z^7 + 1 = 0$$

означает существование такого комплексного числа  $z$ , которое удовлетворяет приведенному уравнению (основная теорема алгебры).

$\Rightarrow$  - квантор импликации: запись  $A \Rightarrow B$  означает, что из утверждения  $A$  следует утверждение  $B$ ; например,

$$x_1 > x_2, \quad x_2 > x_3 \Rightarrow x_1 > x_3 \quad (x_j \in \mathbb{R})$$

$\Phi = \{\mathcal{H} : A\}$  - так обозначается подмножество  $\Phi \subset \mathcal{H}$  элементов, обладающих свойством  $A$ ; например,

$$K_\pi = \{D_\pi : \pi\psi = 0\}$$

есть множество тех элементов  $\psi$  из множества  $D_\pi$  для которых  $\pi\psi = 0$  (ядро отображения  $\pi$ ).

Приведенные и другие, более тонкие, понятия и обозначения будут вводиться и подробно комментироваться по ходу последующего изложения. Выше мы остановились лишь на самой основной и общепотребительной символике.