Доклады Академии наук СССР
1971. Том 201, № 3

УДК 530.1 *ФИЗИКА*

Ю. И. КУЛАКОВ

О НОВОМ ВИДЕ СИММЕТРИИ, ЛЕЖАЩЕЙ В ОСНОВАНИИ ФИЗИЧЕСКИХ ТЕОРИЙ ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКОГО ТИПА

(Представлено академиком С. Т. Беляевым 12 V 1969)

Понятие симметрии прочно вошло в современные физические теории. Так, например, физический аспект теории представлений групп состоит в учете и использовании соображений симметрии, связанных с различными физическими процессами, а требование инвариантности основных уравнений физики относительно той или иной группы преобразований накладывает на их вид достаточно жесткие ограничения, позволяя заменить эти уравнения.

Однако наряду с известными типами симметрии существует особый тип симметрии, возникающей на уровне измерительных процедур, предшествующих формулировке исходных физических уравнений. Дело в том, что всякий общефизический закон обладает одним важным свойством: он справедлив для любых физических объектов, принадлежащих к тому или иному классу. Другими словами, любой общефизический закон должен иметь вид, инвариантный относительно выбора тех физических объектов, отношения между которыми он описывает. Таким образом, эта новая симметрия, которую мы называем феноменологической, выражает идею равноправия физических объектов определенных классов по отношению к той или иной измерительной операции и позволяет, подобно известным симметриям, свести, в некотором смысле, все разнообразие физических законов феноменологического типа к указанию вида (порядка, кратности и ранга) феноменологической симметрии, имеющей место в различных конкретных случаях.

Рассмотрим в качестве простейшего примера отношения феноменологической симметрии, имеющие место между двумя множествами: $\mathfrak{M}$ — множеством тел $i, k, \ldots, l, \ldots$ и $\mathfrak{N}$ — множеством акцелераторов* $\alpha, \beta, \ldots, \gamma, \ldots$ Если в качестве экспериментально измеряемой характеристики отношений между одним телом i и одним акцелератором α взять ускорение $a_{i\alpha}$, то легко видеть, что между четырьмя ускорениями $a_{i\alpha}, a_{i\beta}, a_{k\alpha}, a_{k\beta}$, относящимися к двум произвольным телам $\{i, k\} \subset \mathfrak{M}$ и к двум произвольным акцелераторам $\{\alpha, \beta\} \subset \mathfrak{N}$, имеет место связь

$$\Phi(a_{i\alpha}, a_{i\beta}, a_{k\alpha}, a_{k\beta}) = \begin{vmatrix} a_{i\alpha} & a_{i\beta} \\ a_{k\alpha} & a_{k\beta} \end{vmatrix} = 0, \tag{1}$$

вид которой не зависит от выбора подмножеств $\mathfrak{M}_2 = \{i, k\}$ и $\mathfrak{N}_2 = \{\alpha, \beta\}$.

Этот опытный факт мы и называем феноменологической симметрией кратности (1,1), порядка 1 и ранга (2,2), существующей между множеством тел $\mathfrak{M}$ и множеством акцелераторов $\mathfrak{N}$.

Рассмотрение различных физических законов феноменологического типа с точки зрения феноменологической симметрии позволяет свести все их разнообразие к следующим трем простейшим типам.

---

* Под акцелераторами будем понимать всевозможные механизмы и поля, сообщающие телам различные ускорения.

1. Физические законы, обладающие феноменологической симметрией пространственного типа. Имеется одно множество физических объектов $\mathfrak{M}$. Любым двум объектам этого множества i, $k \in \mathfrak{M}$, с помощью некоторой экспериментальной процедуры сопоставляется одно число a_{ik}. Если из множества $\mathfrak{M}$ выбрать произвольным образом подмножество $\mathfrak{M}_m \subset \mathfrak{M}$, состоящее из m элементов, то между $^1/_2 m(m-1)$ экспериментальными данными a_{ik}, относящимися к любой паре $(i, k) \in \mathfrak{M}_m \times \mathfrak{M}_m$, имеет место аналитическая зависимость

$$\Phi(a_{ik}, a_{im}, \ldots, a_{np}) = 0, \tag{2}$$

вид которой не зависит от выбора подмножества $\mathfrak{M}_m$ [1].

Так, например, если в качестве $\mathfrak{M}$ взять множество термодинамических состояний $i, k, \ldots, p, \ldots$ одного и того же тела и сопоставить каждой паре состояний (i, k) работу A_{ik}, производимую над телом при переводе его из состояния i в состояние k и обратно по циклу Карно, то между шестью работами A_{ik}, A_{im}, A_{in}, A_{km}, A_{kn}, A_{mn}, относящимися к четырем произвольным состояниям i, k, m, n, имеет место связь

$$\begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & A_{ik} & A_{im} & A_{in} \\ 1 & A_{ik} & 0 & A_{km} & A_{kn} \\ 1 & A_{im} & A_{km} & 0 & A_{mn} \\ 1 & A_{in} & A_{kn} & A_{mn} & 0 \end{vmatrix} = 0. \tag{3}$$

Заметим при этом, что работа A_{ik} представляет собой разность $A_{ik}(S, T) - A_{ik}(T, S)$, где $A_{ik}(S, T)$ — работа перехода из состояния i в состояние k сначала по адиабате (до некоторого промежуточного состояния m), а затем по изотерме (от m до k); аналогично $A_{ik}(T, S)$ — работа перехода из состояния i в состояние k сначала по изотерме (от состояния i до некоторого промежуточного состояния n), а затем по адиабате (от n до k).

2. Физические законы, обладающие феноменологической симметрией механического типа. Имеется два множества физических объектов $\mathfrak{M}$ и $\mathfrak{N}$. Каждой паре объектов (i, α) $(i \in \mathfrak{M}, \alpha \in \mathfrak{N})$ с помощью некоторой экспериментальной процедуры сопоставляется одно число $a_{i\alpha}$. Если из множества $\mathfrak{M}$ выбрать произвольным образом, подмножества $\mathfrak{M}_m$, состоящее из m элементов, а из множества $\mathfrak{N}$ — подмножество $\mathfrak{N}_n$, состоящее из n элементов, то между mn экспериментальными значениями $a_{i\alpha}$, относящимися к любой паре $(i, \alpha) \in \mathfrak{M}_m \times \mathfrak{N}_n$, имеет место аналитическая зависимость

$$\Phi(a_{i\alpha}, a_{i\beta}, \ldots, a_{k\mu}) = 0, \tag{4}$$

вид которой не зависит от выбора подмножеств $\mathfrak{M}_m$ и $\mathfrak{N}_n$ [2].

Так, например, если в качестве $\mathfrak{M}$ взять множество проводников i, $k, \ldots, p$, а качестве $\mathfrak{N}$ — множество источников тока $\alpha, \beta, \ldots \gamma, \ldots$ и сопоставить каждому проводнику i и источнику тока α экспериментально измеряемую величину $a_{i\alpha} = 1/I_{i\alpha}$, где $I_{i\alpha}$ — сила тока через проводник i при подключении его к источнику тока α, то между шестью величинами $a_{i\alpha}$, $a_{i\beta}$, $a_{k\alpha}$, $a_{k\beta}$, $a_{l\alpha}$, $a_{l\beta}$, относящимися к трем произвольным проводникам i, k, l и двум источникам тока α, β, имеет место связь

$$\begin{vmatrix} a_{i\alpha} & a_{k\alpha} & a_{l\alpha} \\ a_{i\beta} & a_{k\beta} & a_{l\beta} \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} = 0. \tag{5}$$

3. Физические законы, обладающие феноменологической симметрией релятивистского типа. Имеется одно множество физических объектов $\mathfrak{M}$. Каждому объекту этого множества i

сопоставляется s вещественных чисел a_i^σ ($\sigma = 1, 2, \ldots, s$). Если из множества $\mathfrak{M}$ выбрать произвольным образом подмножество $\mathfrak{M}_m$, состоящее из m элементов, то между sm экспериментальными значениями a_i^σ имеет место аналитическая зависимость

$$\Phi\,(a_i^1, a_i^2, \ldots, a_i^s;\ a_k^1, a_k^2, \ldots, a_k^s;\ \ldots;\ a_l^1, a_l^2, \ldots, a_l^s) = 0, \tag{6}$$

вид которой не зависит от выбора подмножества $\mathfrak{M}_m \subset \mathfrak{M}$.

Так, например, если в качестве $\mathfrak{M}$ взять множество систем отсчета i, $k, \ldots, p, \ldots$, движущихся равномерно относительно друг друга, а в качестве a_i^σ — две измеряемые на опыте величины $a_i^1 = l^2_{\alpha\beta,\,i}$ и $a_i^2 = t^2_{\alpha\beta,\,i}$, равные соответственно квадрату расстояния и квадрату промежутка времени между двумя произвольными фиксированными событиями α и β, то имеет место следующее феноменологически инвариантное соотношение:

$$\begin{vmatrix} l^2_{\alpha\beta,\,i} & l^2_{\alpha\beta,\,k} & l^2_{\alpha\beta,\,p} \\ t^2_{\alpha\beta,\,i} & t^2_{\alpha\beta,\,k} & t^2_{\alpha\beta,\,p} \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} = 0. \tag{7}$$

Можно показать ([2]), что требование существования соотношения (2) ((4), (6)), инвариантного относительно выбора соответствующего подмножества, является достаточным не только для нахождения вида функции Φ, представляющей физический закон в его наиболее естественном виде, но и для получения допустимого набора экспериментальных значений a_{ik} и соответственно $a_{i\alpha}$ и a_i^σ.

Итак, мы рассмотрели три примера, относящихся к различным разделам физики: термодинамики, механики и специальной теории относительности. Вообще говоря, число этих примеров можно было бы увеличить, рассмотрев геометрию, электродинамику, общую теорию относительности и квантовую механику. Но каждый раз, несмотря на совершенно различные физические объекты (геометрические точки, материальные тела и ускорители, события и системы отсчета, термодинамические состояния и т. п.), мы можем установить в этих примерах нечто общее. Это общее состоит в определенном равноправии рассматриваемых физических объектов по отношению к первичному физическому закону, представляющему функциональную связь между однородными экспериментальными данными, относящимися к различным физическим объектам. При этом оказывается, что требование совместности достаточно большого числа уравнений, имеющих один и тот же вид, но относящихся к различным конечным подмножествам физических объектов, является настолько сильным, что приводит почти однозначно к конкретному выражению для физического закона.

Таким образом, в настоящей статье автор попытался сформулировать основные положения, относящиеся к метатеоретической физике ([2]), к области, которая находится пока в зачаточном состоянии.

Новосибирский государственный
университет

Поступило
6 V 1969

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Ю. И. Кулаков, ДАН, **193**, № 5 (1970). [2] Ю. И. Кулаков, ДАН, **193** (1970).