

---

## ФИЗИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ: ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ

Ю.П. Рыбаков

*Российский университет дружбы народов*

Фундаментальная физика сегодня явно испытывает потребность в новых ключевых физических идеях, появление которых возможно только после тщательного изучения наследия прошлого и привлечения эффективных методов исследования. Эти задачи и призвано решать физическое образование.

**Ключевые слова:** Фундаментальная физика, наследие прошлого, методы обучения, физическое образование, принципы, закон симметрии Кюри.

Фундаментальная физика сегодня явно испытывает потребность в новых ключевых физических идеях, появление которых возможно только после тщательного изучения наследия прошлого и привлечения эффективных методов исследования. Эти задачи и призвано решать физическое образование.

Опыт показывает, что наиболее действенным методом обучения и приобщения к научным исследованиям является *проблемный метод*, когда перед аудиторией ставится проблема, которая совместно анализируется и пути решения которой разыскиваются всеми вместе – и учителем, и учениками. Ключевую роль в процессе анализа проблемы играет *поиск возникающих противоречий* и попытки их разрешения.

С другой стороны, всякое исследование начинается с *классификации*, и здесь неоценимую помощь может оказать один из важнейших методов познания – *метод аналогий* [1]. Так, разделение всех физических величин на *интенсивные* и *экстенсивные* опирается на аналогию со структурой элементарной работы как произведения *силы* (интенсивной величины) и *смещения* (экстенсивной величины). Классификация физических величин согласно их закону преобразования при замене переменных (*тензорный анализ*) опирается на аналогию с *кинематикой точки* (закон преобразования координат и скоростей) [2].

Уже на первом этапе изучения какого-либо явления природы исследователь сталкивается с необходимостью выбора между двумя возможными *методами исследования: индуктивным и дедуктивным*. Если в дедуктивном методе результатом анализа является *набор аксиом*, из которых путем *логических заключений* выводятся следствия, которые и проверяются на опыте, то индуктивный метод не ограничивается только перечислением опытных фактов, но на каком-то этапе требует и их *обобщения*, то есть принятия некоторой *гипотезы, интуитивного начала*, приводящего к истинному *упрощению теории* [1, 3].

Фундаментальную роль в поиске подобных упрощений и обобщений играет обнаружение *симметрии явления*. В физике такую ключевую роль исполняет *принцип симметрии Кюри*, согласно которому *симметричная причина порождает симметричное следствие* [4]. Многочисленные следствия этого универсального принципа хорошо известны в теоретической физике. Например, в *теории размерностей* физических величин широко применяется *теорема Джинса – Бэкингема*, согласно которой размерность любой физической величины выражается как произведение некоторых степеней трех первичных размерностей: *длины, времени и массы* [5]. Эта теорема является прямым следствием *инвариантности относительно масштабного растяжения* отношения значений какой-либо физической величины для двух независимых измерений (на разных образцах).

Другим хорошо известным следствием принципа симметрии является *связь симметрии вариационного принципа* (релятивистская и калибровочная инвариантность действия) *и законов сохранения*, выражаемая *теоремой Э. Нетер* [6]. Релятивистская и калибровочная инвариантности выступают здесь как важные ограничивающие факторы при отборе различных теоретических моделей.

Из других ограничивающих факторов можно назвать *принцип устойчивости*, который является выражением устойчивости наблюдаемых физических явлений. Математическая теория устойчивости, построенная А. Пуанкаре, А.М. Ляпуновым, Н.Г. Четаевым и другими исследователями как раздел общей теории динамических систем, сыграла важную роль не только в технических приложениях (теория управления и теория надежности), но и при построении различных физических моделей.

Так, *связь устойчивости с топологией* была положена в основу *киральной модели барионов Скирма* [7], в которой барионный заряд отождествлялся с топологическим инвариантом типа степени отображения, а барионы рассматривались как *топологические солитоны (скирмионы)*. Отождествив лептонный заряд элементарных частиц с топологическим инвариантом Хопфа, Л.Д. Фаддеев предложил *киральную модель лептонов* [8], которые тоже рассматривались им как топологические солитоны (*хопфионы* или *тороны*).

В перечисленных моделях вакуум выступает как *стабильная фиксированная точка* некоторого нелинейного многообразия. Последнее обстоятельство оказалось выражением еще одного фундаментального принципа в современной физике – *принципа спонтанного нарушения симметрии*, согласно которому симметрия действия может быть шире, чем симметрия вакуума. Как выяснилось, этот принцип является новой иллюстрацией универсальности метода аналогий [9].

Хотелось бы отметить важную эвристическую роль, которую сыграл в творчестве Н.Г. Четаева *принцип устойчивости* (см. его «Казанскую программу» [10]). Точно так же в качестве еще одной иллюстрации эффективности метода аналогий отметим фундаментальные работы де Бройля [11] и

Шредингера [12] по квантовой механике, в которых явно использовалась *оптико-механическая аналогия*.

Одно из важных следствий принципа симметрии Кюри – *принцип зарядовой независимости ядерных сил* [13], широко применяемый в ядерной физике. Например, хорошо известно знаменитое *правило И. Шмушкевича*, согласно которому продукты ядерной реакции всегда распределены зарядово-симметрично, то есть среднее число частиц какого-либо электрического заряда, рождающихся в ядерной реакции, всегда постоянно, не зависит от знака и величины заряда.

Другое важное следствие закона симметрии Кюри – его применение к вариационной формулировке физических законов. Например, широко используется так называемый *принцип симметричной критичности Коулмена – Пале* [14, 15], согласно которому *решение симметричной задачи само симметрично* и может быть получено из вариационной формулировки, суженной на инвариантное (симметричное) множество.

Таким образом, подводя итог нашему краткому анализу основных проблем и методов физического образования, следует подчеркнуть их тесную связь с проблемами творчества, так как, по словам Эйнштейна, «приподнять уголок Великого Занавеса» можно только совместными усилиями [16].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пуанкаре А. О науке. – М.: Наука, 1983. – 560 с.
2. Максвелл Дж.Кл. Речи и статьи. – М.–Л.: ГИТТЛ, 1940. – 228 с.
3. Вейль Г. Математическое мышление. – М.: Наука, 1989. – 400 с.
4. Кюри П. Избранные труды. – М.: Наука, 1966. – 399 с.
5. Бриджмэн П.В. Анализ размерностей. – Л. – М.: ГТТИ, 1934. – 120 с.
6. Вигнер Е. Этюды о симметрии. – М.: Мир, 1971. – 320 с.
7. Скурте Т.Н.Р. A unified field theory of mesons and baryons // Nucl. Phys. – 1962. – Vol. 31. – No. 4. – P. 556–569.
8. Фаддеев Л.Д. Калибровочно-инвариантная модель электромагнитного и слабого взаимодействия лептонов // Докл. АН СССР. – 1973. – Т. 210. – № 4. – С. 807–810.
9. Nambu Y., Jona-Lasinio G. Dynamical model of elementary particles based on an analogy with superconductivity. I, II // Phys. Rev. – 1961. – Vol. 122. – No. 1. – P. 345–368; Vol. 124. – No. 1. – P. 246–254.
10. Н.Г. Четаев. Устойчивость движения. Работы по аналитической механике. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 536 с.
11. Louis de Broglie. Recherches sur la théorie des quanta. – Paris: Fondation Louis de Broglie, 1992. – 73 p.
12. Schrödinger E. Abhandlungen zur Wellenmechanik. – Leipzig: 1927. – 160 s.
13. Давыдов А.С. Теория атомного ядра. – М.: ГИФМЛ, 1958. – 612 с.
14. Palais R. The principle of symmetric criticality // Comm. Math. Phys. – 1979. – Vol. 69. – No. 1. – P. 19–30.
15. Waterhouse W. Do symmetric problems have symmetric solutions? // Amer. Math. Monthly. – 1983. – Vol. 90. – No. 6. – P. 378–387.
16. Broglie Louis de. Nouvelles perspectives en microphysique. – Paris: Flammarion, 1992. – 356 p.

## **PHYSICS EDUCATION: PROBLEMS AND METHODS**

**Yu.P. Rybakov**

Fundamental physics today clearly has a need for new key physics ideas, which can only emerge after careful examination of the legacy of the past and implementation of effective research methods. It is physics education which is called upon to fulfill these tasks.

**Key words:** fundamental physics, legacy of the past, teaching methods, physics education, principles, Curie's symmetry law.