

## МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОФЕСІЙНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ СТУДЕНТІВ У ПРОЦЕСІ ВИВЧЕННЯ ПРЕДМЕТІВ ФІЗИКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО СПРЯМУВАННЯ

УДК 372

Е. Л. Антипин, В. Ф. Дмитриева, П. И. Самойленко

*Московский государственный университет технологий и управления*

### О ПРИНЦИПЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОСТИ В КУРСЕ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

В предлагаемой статье упоминается о связи принципа дополнительности Бора с принципом неопределенности Гейзенберга, о которой практически не упоминается в современных курсах общей физики. Яркие примеры такой взаимосвязи относятся еще ко времени 5-ой и 6-ой Сольвеевских конференций, к знаменитым дискуссиям Эйнштейна и Бора.

**Ключевые слова:** неопределенность, дополнительность, частица, волна.

Как известно, Нильс Бор первым обратил внимание на парадоксальную особенность квантовой механики – дуализм квантовых явлений (в то время как явлениям классической физики свойственно единство). Например, свет, который рассматривался как волна, начинает проявлять корпускулярные свойства, а частицы – волновые. Т.о. приходится использовать одновременно два несовместимых представления: частица и волна, или, как бы сказал сам Бор, что корпускулярная природа объекта дополняет его волновую природу. Это нашло свое отражение в одном из важнейших принципов квантовой механики – принципа дополнительности. Согласно этому принципу, для полного описания квантовомеханических явлений необходимо применять два взаимоисключающих («дополнительных») набора классических понятий (один соответствует корпускулярной природе объекта, второй – волновой природе), совокупность которых даёт исчерпывающую информацию об этих явлениях как о целостных. Если мы измеряем свойства квантового объекта как частицы, мы видим, что он ведет себя как частица. Если же мы измеряем его волновые свойства, для нас он ведет себя как волна. Оба представления отнюдь не противоречат друг другу – они именно дополняют одно другое, что и отражено в названии принципа.

Приблизительно в подобном кратком объеме рассказывается про принцип дополнительности во многих современных курсах по физике. И это вызывает известное сожаление, поскольку история его становления весьма поучительна, а проблемы, которые были подняты при его обсуждении, актуальны и по сей день [1]. **В данной работе хотелось бы осветить некоторые из них, в частности, связь принципа дополнительности с соотношением неопределенности Гейзенберга.**

Уже в 1927 году состоятельность принципа дополнительности была подвергнута серьезному испытанию на 5-ой Сольвеевской конференции, на которой главным оппонентом Бора выступал Эйнштейн [2]. В частности, им был предложена схема эксперимента, в котором можно одновременно наблюдать интерференционную картину и определить щель, через которую пролетела частица (что явно противоречит принципу дополнительности). Это была стандартная схема с тем исключением, что экран с двумя щелями мог свободно перемещаться. Пролетая через щель, частица взаимодействует с экраном и получает некоторый импульс и, в силу закона сохранения импульса, экран также получает некоторый импульс. А поскольку расстояния

от щелей до точки наблюдения на экране различны – величина импульса отдачи экрана будет зависеть от того, через какую щель пролетит частица. Следовательно, наблюдая за экраном и определяя скорость его движения, можно определить исконую щель, при полном сохранении интерференционной картины (именно в противоположность принципу дополнительности).

Ошибка в рассуждениях Эйнштейна заключалась в том, что не были учтены неопределенность положения щели и неопределенность импульса частицы. Пусть  $\Phi_1, \Phi_2$  – углы дифрагирования частицы относительно 1-ой и 2-ой щелей,  $P$  – первоначальный импульс частицы, а  $P_0(i)$  – импульс экрана от прохождения через соответствующую  $i$ -ую щель. Тогда, учитывая малость углов, можно записать, что

$$P_0(1) - P_0(2) \approx P \cdot (\Phi_1 - \Phi_2)$$

есть искомое различие в импульсах экрана. Очевидно, что импульс экрана должен быть измерен с точностью превышающей эту разность, т.е.

$$\Delta P_0 < P \cdot (\Phi_1 - \Phi_2).$$

Следовательно, согласно принципу неопределенности, неопределенность положения щелей не может быть меньше, чем

$$\Delta z_i > \frac{h}{P \cdot (\Phi_1 - \Phi_2)},$$

где  $z$  – координата щели. Проведя простые математические выкладки, можно записать:

$$\Delta z > \frac{d\lambda}{a},$$

где было использовано соотношение де Бройля между импульсом частицы  $P$  и длиной волны  $\lambda$ .  $a$  – расстояние между щелями,  $d$  – расстояние между экраном с щелями и экраном, на котором формируется интерференционная картина. Но выражение, стоящее справа, представляет собой расстояние между ближайшими максимумами интерференционной картины. Следовательно, эта неопределенность приводит к исчезновению картины интерференции и, тем самым, спасает принцип дополнительности.

Таким образом, уже в данном мысленном эксперименте проявилась тесная связь между двумя основополагающими принципами квантовой физики. А спустя три года, уже на 6-м Сольвеевской конференции, Эйнштейн снова возвраща-

ється к этой теме. На этот раз им был предложен другой мысленный эксперимент [3]. Суть была в следующем. Имеется некоторая полость, например, коробочка с абсолютно отражающими стенками. Внутри этой полости содержится какое-то количество фотонов, которые, в силу наличия собственной энергии, увеличивают ее вес. В коробочке есть отверстие, которое связано с часами, фиксирующими момент его открывания на произвольно короткий период времени. В определенный момент времени отверстие открывается так, что вылетает всего один фотон, после чего производится взвешивание коробочки с произвольной точностью, что позволяет узнать точное значение энергии вылетевшего фотона в точно определенный момент времени. Таким образом, принцип дополнительности, согласно которому одновременное измерение с произвольной точностью энергии вылетающего фотона и времени его вылета невозможно, вновь был поставлен под сомнение.

И здесь принцип неопределенности сыграл решающую роль. По своей схеме, вылетающий фотон нарушает равновесие весов – указатель смещается от нулевой отметки. Измерение массы фотона производится путем добавления дополнительной массы к полости так, чтобы вернуть указатель в исходное нулевое положение. Очевидно, что величина добавленной массы совпадает с массой самого фотона. И здесь видно, что процесс измерения связан с перемещением самой полости. Пусть  $\Delta z$  – точность положения указателя, вернувшегося на нулевую отметку. Тогда согласно соотношению неопределенности,

$$\Delta P_z = \frac{h}{4\pi\Delta z},$$

есть неопределенность импульса вдоль соответствующей оси. И эта неопределенность импульса приводит к принципиальной ошибке в получаемом значении дополнительной массы. Дело в том, что импульс изменяется под действием силы (в общем случае, это интеграл от силы по времени) и само его изменение можно зафиксировать только тогда, когда величина его изменения не меньше  $\Delta P_z$ . Этой неопределенности импульса соответствует неопределенность массы  $\Delta m$ , которую добавляется к полости, и неопределенность  $\Delta mg$  гравитационного поля Земли, которое действует на измерительную систему в течение времени  $T$  всего наблюдения. Используя связь энергии и массы, получается следующее выражение:

$$\Delta E = \frac{\Delta P_z c^2}{gT}.$$

Получается, что неопределенность импульса полости переходит в неопределенность энергии фотона. Учитывая явный вид неопределенности импульса, можно записать:

УДК 378.14

Л. В. Антонюк

Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського

## ФОРМИ І МЕТОДИ ОРГАНІЗАЦІЇ НАВЧАЛЬНО-ДОСЛІДНИЦЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ СТУДЕНТІВ (НДДС) У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

У статті проаналізовано можливі форми і методи організації навчально-дослідницької діяльності студентів у навчальному процесі. Пропонується модель організації дослідницької діяльності студентів.

**Ключові слова:** навчально-дослідницька діяльність студентів (НДДС), форми, методи і прийоми організації НДДС.

**Постановка проблеми.** Оволодіння студентами формами і методами навчально-дослідницької діяльності – це процес розвитку студентів як творчих особистостей, здатних до інтелектуальних зусиль та активного пошуку. Володіючи системою методів та прийомів, студенти, здобуваючи знання та вміння, привчаються діяти самостійно. Перед ними ставиться мета не лише розв'язати конкретну задачу, а навчитись аналізувати факти, висувати гіпотези, вишукувати можливі розв'язки та відбирати з них раціональні, узагальнювати власний досвід розв'язання і складати алгоритм, завдяки чому студенти набувають досвіду організації

проблемного навчання. Якщо в процесі вивчення певної дисципліни викладач підготує студентів до застосування певних прийомів та методів дослідження у результаті узагальнення частинних випадків, покаже різноманітні ситуації, в яких їх можна використати, то лише тоді такі прийоми та методи стануть продуктом діяльності і надбанням студентів. Однак, ніяка програма, ніякий набір спеціальних задач без активної позиції викладачів і вмотивованості дій самих студентів не зможе забезпечити ні розвиток творчого мислення, ні дослідницьких здібностей.

$$\Delta E = \frac{c^2}{gT} \frac{h}{4\pi\Delta z}.$$

С другой стороны, согласно общей теории относительности, ход часов зависит от их положения в гравитационном поле. И если положение часов измерено с неопределенностью  $\Delta z$ , то интервал времени  $T$  будет иметь неопределенность  $\Delta T$  такую, что

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{g\Delta z}{c^2}.$$

Решая последние два уравнения, получаем

$$\Delta E \Delta T = \frac{h}{4\pi},$$

что представляет собой соотношение неопределенности.

Таким образом, согласно вышеизложенному, в основе принципа дополнительности лежит соотношение неопределенности. Полагаем, что будет нелишним упомянуть об этом факте при разборе соответствующего раздела физики. Ради полноты изложения следует также отметить, что существует и другая точка зрения, которая не связывает эти два принципа вместе. Последние работы в этой области показывают, что принцип дополнительности может иметь несколько интерпретаций, и что он не полностью решает вопросы, поднятые современными экспериментами [4-7].

### Список использованной литературы:

1. Wheeler J.A. and Zurek W.H. Quantum Theory and Measurement. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1983.
2. Ehrenfest P. Letter to S. Goudsmit, G.E. Uhlenbeck and G.H. Dieke. 3 November 1927, In N. Bohr, Collected Works. Vol. 6. P. 37.
3. Schilpp P.A. (ed.), Einstein Albert; Philosopher-Scientist. Evanston, IL: Library of Living Philosophers, 1949.
4. Diirr S., Norm T. and Rempe G. Origin of quantum-mechanical complementarity probed by a "which-way" experiment in an atom interferometer. Nature. Vol. 395. Pp/ 33-37, 1998.
5. Aharonov Y. and Bohm D. Significance of electromagnetic potentials in the quantum theory. Phys. Rev. Vol. 115. Pp. 485-491, 1959.
6. Wiseman H.M., Harrison F.E., Collett M.J., Tan S.M., Wallis D.F. and Killip R.B. Nonlocal Momentum Transfer in Welcher Weg Measurements. Phys. Rev. A. Vol. 56. Pp. 55-75, 1997.
7. Wiseman H. and Harrison F. Uncertainty Over Complementarity? Nature. Vol. 377. P. 584, 1995.

In offered clause it is mentioned communication of a principle addition the Pine forest with a principle of uncertainty Heisenberg which practically it is not mentioned in modern rates of the general physics. Vivid examples of such interrelation concern to time of 5-th and 6-th Solveevskiyh conferences, to Einstein's well-known discussions and the Pine forest.

**Key words:** uncertainty, addition, particle, wave.

Отримано: 27.06.2010