ИЗ ОПЫТА ЭФФЕКТИВНОГО ИЗУЧЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ

Х.Г.Ахунов, А.Артыков, Э.Дадахаджаев, Ж.Каххоров, У.Исмаилов

Мақолада квант физикасининг асосий тушунчалари ва принципларини ўрганишнинг ўзига хос қийинчиликлари ва уларни ўрганишни осонлаштириш методлари бўйича муаллифларнинг иш тажрибалари баён қилинади. Оламни классик-макроскопик тушунчалар асосида тасаввур қилиш доим ҳам тўғри натижаларга олиб келмайди. Мақолада электронлар дифракцияси ҳодисаси асосида квант физикасини ўрганиш жараёнини икки босқичга бўлиш методи таклиф қилинади

***Калит сўзлар**: квант физикаси, макроскопик, дифракция, координата, импульс, энергия, тўлқин дуализми, монохроматиклик, элементар зарра.*

В статье изложены своеобразные трудности изучения основных понятий и принципов квантовой физики и опыт их упрощения, являющиеся результатом методических исследований, проведенных авторами по преподаванию основ квантовой физики. Исследование процессов с помощью классических – макроскопических понятий, не всегда приводит к верному результату. Предложено разделение процесса изучения квантовой физики на два этапа на основе дифракции электронов.

***Ключевые слова**: квантовая физика, макроскопическая дифракция, координата, импульс, энергия, волновой дуализм, монохроматичность, элементарная частица.*

The article contains some results of multiflight methodical researches of difficulties of studying the basic concepts of quantum physics and ways of their settlement in the approach on the education. Feature of quantum physics demands also the special approach in its studying. An example of consideration of diffraction electrons is offered to divide studying process into two stages.

***Key words**: the Quantum physics, macroscopical, diffraction, process, a principle, co-ordinate, an impulse, energy, time, wave dualism, the mechanism, monochromatic, a learning efficiency, the elementary particle adequate, paradox.*

Статья преследует две близкие цели: увеличить эффективность обучения квантовой физике – первая, а вторая цель – дать элементарное представление о тех квантовомеханических закономерностях, которые в скором времени будут в основном использоваться в информационных технологиях. Это относится к таким понятиям как чистые и смешанные состояния, соотношения неопределенностей, квантовая логика, ядерно-магнитный резонанс, квантовые шумы и т.д. Поэтому хорошее знакомство с квантовой физикой приобретает большое значение не только для физиков, но и для очень большого круга людей. Информационными технологиями в той или иной мере пользуется громадное число потребителей.

Особенность квантовой физики заключается в том, что наши макроскопические предположения и понятия не позволяют ясно представить себе некоторые явления. Соответственно квантовая физика требует и особого подхода при её изучении. В статье, в частности, на примере рассмотрения дифракции электронов предлагается разделить процесс её изучения на два этапа. Первый – это соглашаться с любыми предположениями авторов «пятен», что позволит легче изучить их работы. И второй этап – для более углублённого понимания молодому специалисту необходимо провести самостоятельное логическое исследование.

Всем известно, что в квантовой физике не всегда можно напрямую использовать понятия координата, импульс, энергия или время. Эти и другие понятия многим порою очень трудно поддаются. Так как это одни из основных понятий физики, то ясно насколько важна эта проблематичность.

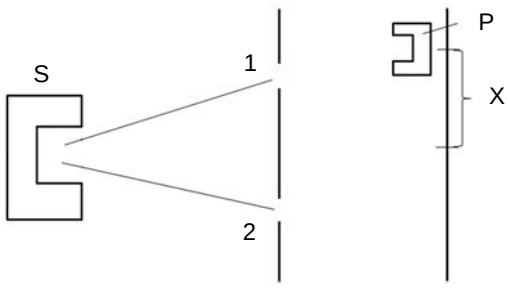
Многие «тёмные пятна» в современной физике, так или иначе связаны с этими фундаментальными понятиями [1]. Для развития навыков исследовательской работы, например, у магистров, полезно подобрать очевидные проблемы, такие, как принцип Паули, соотношение неопределённостей Гейзенберга, волновой дуализм частиц. Конечно, взяв для «тренировки», скажем, решение проблемы неопределённостей Гейзен-

***Х.Г.Ахунов** - АДУ физика кафедраси катта ўқитувчиси, физика-математика фанлари номзоди;*
***А.Артыков** – шу кафедра доценти, физика-математика фанлари номзоди;*
***Э.Дадахаджаев** – шу кафедра доценти, педагогика фанлари номзоди;*
***Ж.Каххоров, У.Исмаилов** – кафедра ассистентлари.*

берга, мы вовсе не рассчитываем решить её. Но студент должен надеяться, что он может найти какое-либо решение. Для этого он должен сначала изучить проблему, а затем попытаться решить её. Обычно при изложении подобных тем видим различные совершенно неправильные суждения учащихся. Самое существенное в их предположениях то, что они обычно явно противоречат в конечном итоге фундаментальным законам: закону сохранения энергии, сохранению количества движения и т.д. Ясно, чтобы этого не было нужно, сначала необходимо досконально изучить тему. Для этого, проще всего, студент должен полностью согласиться с авторами изучаемой теории. Тогда ему будет легко изучить соответствующие теоретические положения. Это есть первый этап (самого простого, эффективного изучения данной науки) подготовки. Затем студент может самостоятельно попытаться ответить на вопросы типа: каков механизм того или иного явления, почему явление происходит так а не иначе и т.д. В этой попытке заключается второй этап подготовки. Напомним, что с нашей точки зрения выбор подобных «сильных тем» вызван наглядностью и очевидностью проблем. Это и составляет эффективность обучения. Но студент, конечно, должен думать, что мы ждём от него нахождения ответа на тот или иной вопрос. Для демонстрации предлагаемого способа выберем задачу дифракции электронов на двух щелях. Изучение проведём, следуя [2].

Первый этап. Студент, следуя авторам, считает, что электрон – это волна и частица одновременно.

Пусть на пути монохроматического потока электронов (E_i – тые равны между собой) находятся две щели (рис 1.).



*1 и 2 щели, S – источник электронов, P – индикатор.

Мы хотим изучить явление дифракции электронов на квантово- механическом языке. Для этого на первом этапе мы упрощённо проследим за движением электронов. В квантовой физике движение частиц характеризуется волновой функцией ψ. Для удобства и сокращения записей выгодно использовать Дираковские обозначения:

$$\langle r_2 / r_1 \rangle = \frac{e^{ipr_{12}/\hbar}}{|r_2 - r_1|} \qquad (1)$$

Здесь $p = \frac{h}{\lambda}$ – импульс частицы, $\hbar = h/2\pi$ – постоянная Планка, $P/\hbar = (h/\lambda)/(h/2\pi) = 2\pi/\lambda$ – волновое число. $\langle r_2 / r_1 \rangle$ – это выражение читается как свободная частица выходит из точки r_1 и переходит в точку r_2. А выражение $\exp(ipr_{12}/\hbar)/|r_2 - r_1|$ – функция Грина, взятая в качестве волновой функции ψ. Итак:

$$\langle r_2 / r_1 \rangle = \psi(r_2, r_1) \qquad (2)$$

В этих обозначениях проследим за движением электронов из r_1, т.е. от источника S до X через 1-ю или 2-ю щели, что будет выглядеть так:

$$\psi_1 = \langle x/1 \rangle \langle 1/s \rangle = \frac{e^{ip|r_1 - r_s|/\hbar}}{|r_1 - r_s|} \cdot \frac{e^{ip|r_x - r_s|/\hbar}}{|r_x - r_s|}$$

Т.е. частица свободно распространяется до щели 1 и далее от щели до X.

Аналогично через щель 2:

$$\psi_2 = \langle x/2 \rangle \langle 2/s \rangle = \frac{e^{ip|r_2 - r_s|/\hbar}}{|r_2 - r_s|} \cdot \frac{e^{ip|r_x - r_2|/\hbar}}{|r_x - r_2|}$$

Напомним, наша цель – изучить изложение известного явления. Для этого мы соглашаемся с тем, что частица имеет свойства волны. Тогда мы можем правильно написать выражения для полной волновой функции. А именно, нам нужно учесть, что электрон одновременно рассеивается с некоторыми амплитудами от щелей 1 и 2. Будем точнее. Электрон, летящий через щель 1, рассеивается на нём с вероятностью $a=e^{i\alpha}$ и $a=e^{i\beta}$ одновременно рассеивается на щели 2 с вероятностью.

Для полной амплитуды вероятности получим:

$$\psi = \psi_{x_1} + \psi_{x_2}$$

Здесь

$$\psi_{x_1, x_2} = \frac{e^{ip|r_{1,2} - r_s|/\hbar}}{|r_{1,2} - r_s|} \cdot e^{i\alpha} \cdot \frac{e^{ip|r_x - r_{1,2}|/\hbar}}{|r_x - r_{1,2}|} +$$

$$+ \frac{e^{ip|r_2 - r_s|/\hbar}}{|r_2 - r_s|} \cdot e^{i\beta} \cdot \frac{e^{ip|r_x - r_2|/\hbar}}{|r_x - r_2|} \qquad (2')$$

$$\psi_{x_2} = \frac{e^{ip|r_2-r_s|/\hbar}}{|r_2-r_s|}\cdot e^{i\alpha}\cdot\frac{e^{ip|r_x-r_2|/\hbar}}{|r_x-r_2|}+$$

$$+\frac{e^{ip|r_1-r_s|/\hbar}}{|r_1-r_s|}\cdot e^{i\beta}\cdot\frac{e^{ip|r_x-r_1|/\hbar}}{|r_x-r_1|}$$

В случае обучения магистров для получения функции ψ нужно решить уравнение Шрёдингера с соответствующими граничными условиями. Но ответ, конечно, с точностью до нормировки будет таким же, как в формуле (2').

Чтобы вычислить полную вероятность мы должны сложить вероятности P_1 и P_2: $P_1 = \left|\psi_{x_1}\right|^2$ и или $P_2 = \left|\psi_{x_2}\right|^2$

$$P = \left|e^{i\alpha}\psi_1 + e^{i\beta}\psi_2\right|^2 + \left|e^{i\alpha}\psi_2 + e^{i\beta}\psi_1\right|^2 = \left|e^{i\alpha}\psi_1\right|^2 +$$

$$+\left|e^{i\beta}\psi_2\right|^2 + \left|e^{i\alpha}\psi_2\right|^2 + \left|e^{i\beta}\psi_1\right|^2 + 4\left|e^{i(\alpha+\beta)}\psi_1\psi_2\right|$$

Если одна из щелей отсутствует, то для вероятности попадания в точку x получим: $P_1 = \left|e^{i\alpha}\psi_1\right|^2$ – при отсутствии щели 2, и $P_2 = \left|e^{i\beta}\psi_2\right|^2$ – при отсутствии щели 1.

В обоих случаях слагаемые, ответственные за интерференцию, а именно $\left|e^{i\alpha}\psi_2\right|^2$, $\left|e^{i\beta}\psi_1\right|^2$, $\left|e^{i(\alpha+\beta)}\psi_1\psi_2\right|^2$, так же отсутствуют, то есть интерференция не наблюдается.

Итак, в случае изучения данной теории, мы считаем, что электрон – волна и сам проходит частью через щель 1 и частью через щель 2 (именно частью, а не вероятностью, потому что ясно видно, при отсутствии одной из щелей интерференция не наблюдается).

Следовательно, подтвердив, что электрон – волна (с некоторыми оговорками) исходит из результатов эксперимента с дифракцией частиц.

После того, как мы поняли это явление, нам достаточно, что вычисления на базе предположений (из которых следуют наши трактовки) подтверждаются опытом.

Итак, из вычислений имеем: если щель одна, то электрон, скорее всего, частица, если щелей две, то электрон «перестраивается» в волну.

Вывод получается такой: элементарная частица адекватна окружающему условию. Видимо, она имеет очень сложную структуру. И может «перестроится» в частицу или в волну в зависимости от условий. Таким образом, хотя мы совершенно не продвинулись в направлении ответа на вопрос почему элементарная частица ведёт себя как волна-частица, и тем не менее мы хорошо себе уяснили, что понятие одновременно не отвечает положению вещей. Это первое. Второе, самое главное – элементарная частица каким-то образом «чувствует» наличие двух или одной щели. Вот мы явно, определённо для себя, выяснили одну из проблем, связанных с дуализмом, а именно необходимость найти ответ на вопрос о механизме «осведомлённости» элементарной частицы. Это очень важно, когда, исследуя какую-либо задачу учащий сознательно способен поставить вполне определённый вопрос и выяснить сущность проблемы [3]. Конечно, мы далеки даже от надежды нахождения ответа на подобные вопросы, связанные с тёмными пятнами в физике. Но кто-то из будущих хорошо подготовленных специалистов, как всегда бывает, может найтти ответы и на подобные вопросы. Ведь возникновение совершенно нового подхода к изучению законов природы, как обычно бывает связано с проблемами, которые не укладываются в повседневные понятия.

Выводы

Таким образом, дуализм элементарных частиц для нас хоть и не разрешим, но его правильное изучение может быть полезным для выработки навыков исследовательской работы.

Ещё один очевидный вывод. Анализ поведения электрона в дифракционном эксперименте говорит, по крайней мере о том, что наши макроскопические понятия мешают правильно понять законы микромира. Известно, что о правильности открываемых законов квантовой физики мы судим по приложениям к ним. Но при этом мы не можем считать, что правильно трактуем их. Например, трактовка наблюдаемой дифракции электронов. Подобный анализ, хотя и не достигает решения проблемы, но повышает уверенность в себе у учащихся. Для будущего исследователя это очень важно. Пока нам достаточно, что вычисления на базе предположений (из которых следуют наши трактовки) подтверждаются опытом[3].

Таким образом, для эффективности подготовки самостоятельных специалистов мы предлагаем тренировочные занятия, связанные с попыткой решения известных «тёмных пятен» физики, например: принцип Паули, соотношения неопределённостей, дифракция электронов и другие.

Литература:

1. Френкель Я.И. Принципы теории атомных ядер.- М.-Л.: Изд. АН., 1955

2. Фейнман Р., Лейтон К.В., Сендс М. Фейнмановские лекции по физике.- М.: Мир, 1965

3. Артыков А. и др. Информационный бум и необходимость в новых педагогических методах обучения точных наук.// АДУ «Илмий хабарнома»си.- 2013.- №2.

2014 йил 4 июнда қабул қилинган

(Тақризчи: проф. И.Н.Каримов)