

**ИЗУЧЕНИЕ КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВОЙ ПРИРОДЫ СВЕТА  
ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА**

Скапцов А.С., Крюковская А.А.

Учреждение образования

«Могилевский государственный университет продовольствия»

г. Могилев, Республика Беларусь

Одними из наиболее сложных разделов физики, с которым сталкиваются студенты при изучении курса в техническом университете, являются разделы «Волновая и квантовая оптика. Квантовая механика». Законы классической физики не выполняются для микрообъектов и не позволяют объяснить многие оптические и квантовомеханические явления, а математическое описание и физическая сущность объектов в квантовой механике значительно сложнее и существенно отличается от классической. Для того чтобы сформировать у студентов представление о природе света, основных понятиях квантовой механики и убедить в справедливости законов микромира в физических лабораториях выполняются учебные работы, подтверждающие как квантовую, так и волновую природу излучения.

В распоряжении учебной лаборатории кафедры физики «Оптика и основы квантовой физики» имеется несколько лабораторных столов, позволяющих исследовать явления интерференции, дифракции, дисперсии, поляризации, двойного лучепреломления, подтверждающих волновую природу света. Помимо этого в лаборатории представлены стенды, на которых можно изучать явления фотоэффекта и теплового излучения тел, исследовать спектры излучения в видимой области. Существование этих явлений доказывает квантовый характер излучения и можно объяснить только с квантовой точки зрения. Таким образом, корпускулярно-волновая природа света может быть экспериментально проверена в процессе выполнения лабораторного практикума.

Для расширения и углубления представлений о природе света на кафедре физики разработана и поставлена новая лабораторная работа по изучению дифракции Фраунгофера на узкой щели, результаты которой можно интерпретировать с точки зрения квантовой оптики, что позволяет проверить справедливость соотношения неопределенностей Гейзенберга для фотонов. При постановке лабораторной работы использован инновационный подход, который заключается в возможности экспериментальной проверки двойственной природы света.

Сущность работы заключается в следующем. Узкий пучок монохроматического света, источником которого является полупроводниковый лазер, пропускается через тонкую щель. Набор тонких щелей различной ширины размещен на револьверной головке. За щелью помещается экран, на котором наблюдается дифракционная картина. В

процессе выполнения лабораторной работы необходимо измерить ширину центрального дифракционного максимума  $2l$ , возникающего на экране, для различных щелей и расстояние от щели до экрана  $L$ . Зная длину волны лазерного излучения  $\lambda$ , ширину щели  $b$  и измеренные величины, можно рассчитать произведение неопределенности координаты  $\Delta x$  на неопределенность импульса фотонов  $\Delta p_x$ , если рассматривать свет как поток частиц:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x = b \frac{E}{c} \cdot \frac{1}{L}, \quad (1)$$

где  $E = \frac{hc}{\lambda}$  - энергия фотона;

$h$  - постоянная Планка;

$c$  - скорость света в вакууме;

$\lambda$  - длина световой волны.

После выполнения вычислений по формуле (1), студентам предлагается сравнить результаты расчетов со значением постоянной Планка. Оказывается, что рассчитанные числа, соответствующие левой части уравнения (1), всегда больше значения постоянной Планка, что находится в полном согласии с соотношением неопределенностей Гейзенберга. Таким образом, рассматривая дифракцию света на щели, т.е. явление, которое доказывает волновую природу света, результаты измерений можно обработать, представляя свет, как поток отдельных частиц (фотонов). В этом наглядно проявляется двойственность природы света. Помимо того, что в лабораторной работе рассматривается дуализм света, большое внимание уделено пониманию сущности соотношения неопределенностей Гейзенберга.

Согласно гипотезе де Бройля, корпускулярно волновой дуализм присущ не только свету, но и любым материальным объектам. Проявление волновых свойств в окружающем мире наблюдается только для микрообъектов (элементарных частиц, атомов, молекул) Для описания микрочастиц используются то волновые, то корпускулярные представления. Поэтому приписывать им все свойства частиц и все свойства волн нельзя. Естественно, что необходимо внести некоторые ограничения в применении к объектам микромира понятий классической механики. В классической механике состояние материальной точки (классической частицы) определяется заданием значений координат, импульса, энергии и т.д. (перечисленные величины называются динамическими переменными). Строго говоря, микрообъекту не могут быть приписаны указанные динамические переменные. Однако, информация о микрочастицах поступает через наблюдение их взаимодействие с приборами, представляющими собой макроскопические тела. Поэтому результаты измерений поневоле выражаются в терминах, разработанных для описания макротел, т.е. через значения динамических характеристик. В соответствии с этим измеренные значения динамических переменных приписываются микрочастицам. Например, говорят о состоянии электрона, в котором он имеет такое-то значение энергии.

Волновые свойства частиц и возможность задать для частицы лишь вероятность ее пребывания в данной точке пространства приводят к тому, что сами понятия координаты частицы и ее скорости (или импульса) могут применяться в квантовой механике в ограниченной мере. В классической физике понятие координаты в ряде случаев тоже непригодно для определения положения объекта в пространстве.

Корпускулярно-волновая двойственность свойств частиц, изучаемых в квантовой механике, приводит к тому, что в ряде случаев оказывается невозможным, в классическом смысле, одновременно характеризовать частицу ее положением в пространстве (координатами) и скоростью (или импульсом). Неопределенности значений  $\Delta x$  и  $\Delta p_x$  удовлетворяют соотношению, предложенному Гейзенбергом:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq h \quad (2)$$

Из (2) следует, что чем меньше неопределенность одной величины ( $\Delta x$  или  $\Delta p_x$ ), тем больше неопределенность другой. Возможно такое состояние, в котором одна из переменных имеет точное значение ( $\Delta x$ ), при этом другая переменная оказывается совершенно неопределенной ( $\Delta p_x$  – ее неопределенность равна бесконечности), и наоборот. Таким образом, для микрочастицы не существует состояний, в которых ее координаты и импульс имели бы одновременно точные значения. Отсюда вытекает и фактическая невозможность одновременного измерения координаты и импульса микрообъекта с любой наперед заданной точностью.

Соотношение неопределенностей получено при одновременном использовании классических характеристик движения частицы (координаты, импульса) и наличия у нее волновых свойств. Так как в классической механике измерение координаты и импульса может быть произведено с любой точностью, то соотношение неопределенностей является квантовым ограничением применимости понятий классической механики к микрообъектам. Соотношение неопределенностей указывает, в какой мере можно пользоваться понятиями классической механики применительно к микрочастицам. Соотношение неопределенностей не связано с несовершенством измерительной техники, а является объективным свойством материи: таких состояний микрочастиц, в которых и координата, и импульс частицы имеют определенное значение, просто не существует в природе.