**30. Волновая функция , ее нормировка и физический смысл.**

   Экспериментальное подтверждение идеи Луи де Бройля об универсальности корпускулярно-волнового дуализма, ограниченность применения классической механики к микрообъектам, диктуемая соотношением неопределенностей, а также противоречия ряда экспериментов с применяемыми в начале XX века теориями привели к новому этапу развития квантовой физики – созданию квантовой механики, описывающей законы движения и взаимодействия микрочастиц с учетом их волновых свойств. Ее создание и развитие охватывает период с 1900 г. (формулировка Планком квантовой гипотезы) до 20-х годов XX века и связано, прежде всего, с работами австрийского физика Э. Шредингера, немецкого физика В. Гейзенберга и английского физика П. Дирака.

       Необходимость вероятностного подхода к описанию микрочастиц является важнейшей отличительной особенностью квантовой теории. Можно ли волны де Бройля истолковывать как волны вероятности, т.е. считать, что вероятность обнаружить микрочастицу в различных точках пространства меняется по волновому закону? Такое толкование волн де Бройля уже неверно, хотя бы потому, что тогда вероятность обнаружить частицу в некоторых точках пространства может быть отрицательна, что не имеет смысла.

       Чтобы устранить эти трудности, немецкий физик М. Борн в 1926 г. предположил, что *по волновому закону меняется не сама вероятность*, *а величина*, *названная* ***амплитудой вероятности***и обозначаемая C:\Documents and Settings\DSG\Мои документы\Загрузки\Понятие о волновой функции_files\image444.png. Эту величину называют также ***волновой функцией*** (или C:\Documents and Settings\DSG\Мои документы\Загрузки\Понятие о волновой функции_files\image446.png-функцией). Амплитуда вероятности может быть комплексной, и вероятность *W* пропорциональна квадрату ее модуля:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| C:\Documents and Settings\DSG\Мои документы\Загрузки\Понятие о волновой функции_files\image448.png |  | (4.3.1) |  |

где C:\Documents and Settings\DSG\Мои документы\Загрузки\Понятие о волновой функции_files\image450.png, где C:\Documents and Settings\DSG\Мои документы\Загрузки\Понятие о волновой функции_files\image452.png– функция комплексно-сопряженная с Ψ.

       Таким образом, описание состояния микрообъекта с помощью волновой функции имеет *статистический*, *вероятностный* характер: квадрат модуля волновой функции (квадрат модуля амплитуды волны де Бройля) определяет вероятность нахождения частицы в момент времени в области с координатами *x* и d*x*, *y* и d*y*, *z* и d*z*.

Итак, в квантовой механике состояние частицы описывается принципиально по-новому – с помощью волновой функции, которая является основным носителем информации об их корпускулярных и волновых

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| C:\Documents and Settings\DSG\Мои документы\Загрузки\Понятие о волновой функции_files\image454.png | . | (4.3.2) |  |

       Величина C:\Documents and Settings\DSG\Мои документы\Загрузки\Понятие о волновой функции_files\image456.png (квадрат модуля Ψ-функции) имеет смысл ***плотности вероятности***, т.е. *определяет вероятность нахождения частицы в единице объема в окрестности точки*, *имеющей* *координаты x*, *y*, *z*. Таким образом, физический смысл имеет не сама Ψ-функция, а квадрат ее модуля C:\Documents and Settings\DSG\Мои документы\Загрузки\Понятие о волновой функции_files\image458.png, которым определяется ***интенсивность волн де Бройля***.

       Вероятность найти частицу в момент времени *t* в конечном объеме *V*, согласно теореме о сложении вероятностей, равна:

C:\Documents and Settings\DSG\Мои документы\Загрузки\Понятие о волновой функции_files\image460.png.

       Т.к. C:\Documents and Settings\DSG\Мои документы\Загрузки\Понятие о волновой функции_files\image462.png определяется как вероятность, то необходимо волновую функцию Ψ представить так, чтобы вероятность достоверного события обращалась в единицу, если за объем *V* принять бесконечный объем всего пространства. Это означает, что при данном условии частица должна находиться где-то в пространстве. Следовательно, условие нормировки вероятностей:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| C:\Documents and Settings\DSG\Мои документы\Загрузки\Понятие о волновой функции_files\image464.png |  | (4.3.3) |  |

где данный интеграл вычисляется по всему бесконечному пространству, т.е. по координатам *x*, *y*, *z* от C:\Documents and Settings\DSG\Мои документы\Загрузки\Понятие о волновой функции_files\image466.pngдо C:\Documents and Settings\DSG\Мои документы\Загрузки\Понятие о волновой функции_files\image468.png. Таким образом, условие нормировки говорит об объективном существовании частицы во времени и пространстве.

       Чтобы волновая функция являлась объективной характеристикой состояния микрочастицы, она должна удовлетворять ряду ограничительных условий. Функция Ψ, характеризующая вероятность обнаружения микрочастицы в элементе объема, должна быть:

       ·        конечной (вероятность не может быть больше единицы);

       ·        однозначной (вероятность не может быть неоднозначной величиной);

       ·        непрерывной (вероятность не может меняться скачком).

       Волновая функция удовлетворяет принципу суперпозиции: если система может находиться в различных состояниях, описываемых волновыми функциями C:\Documents and Settings\DSG\Мои документы\Загрузки\Понятие о волновой функции_files\image470.png, C:\Documents and Settings\DSG\Мои документы\Загрузки\Понятие о волновой функции_files\image472.png, … C:\Documents and Settings\DSG\Мои документы\Загрузки\Понятие о волновой функции_files\image474.png, то она может находиться в состоянии, описываемом линейной комбинацией этих функций:

,

где (*n* = 1, 2, 3…) – произвольные, вообще говоря, комплексные числа.

*Сложение волновых функций* (амплитуд вероятностей, определяемых квадратами модулей волновых функций) *принципиально отличает квантовую теорию от классической статистической теории*, в которой для независимых событий справедлива теорема сложения вероятностей.

*Волновая функция* Ψ *является основной характеристикой состояния микрообъектов*. Например, среднее расстояние электрона от ядра вычисляется по формуле

C:\Documents and Settings\DSG\Мои документы\Загрузки\Понятие о волновой функции_files\image476.png,

где вычисления проводятся, как и в случае (4.3.3).