**波粒二象性**

光的波粒二象性

光既能显示出波的特性，又能显示出粒子的特性，但是在任何一个特定的事例中，光要么显示波动性，要么显示粒子性，两者绝不会同时出现。光在传播时显示波动性，在转移能量时显示粒子性。

物质波理论

德布罗意假设：所有的物质粒子都具有波粒二象性。

任何物体伴随以波，而且不可能将物体的运动和波的传播分开。

**态叠加原理**

**由于薛定谔方程是线性的，解具有叠加性；**

**若**和都是方程的解，则它们的线性叠加

也是方程的解，其中、是任意复数。

**不确定原理**

当粒子被局限在方向的一个有限的范围内时，它所相应的动量分量有一个不确定的数值范围。

应用：

束缚粒子的最小平均动能

谱线的自然宽度

**泡利不相容原理**

在一个多电子系统中，不可能有两个或两个以上的电子具有完全相同的四个量子数（）。

原子中的每一个状态只能容纳一个电子。

在费米子组成的系统中，不能有两个或更多的粒子处于完全相同的状 态。

对于相同费米子组成的系统，其波函数必须是反对称的。

**全同粒子**

内禀属性：所有电子都有相同的质量、电荷、大小以及自旋。

全同粒子：内禀属性完全相同的粒子。

电子是全同粒子，电子是不可分辨的。

交换对称性：如果将两个电子相互交换，则原子的状态不发生任何变化。

**交换算符**

考虑两个全同粒子组成的体系，其波函数由表示。

与描述的量子态完全一样，最多相差一个常数

作用两次，

由于两次作用后，体系须回到原来的状态， ，则。

对称波函数

反对称波函数

体系波函数可以有和

体系总的波函数是和的线性叠加

对于对称波函数，，两个粒子可以同时处于相同状态；对于反对称波函数，，两个全同粒子不能同时处于相同的状态。

全同粒子体系波函数的交换对称性与粒子自旋：

**玻色子**：**自旋为或为整数倍**的粒子（如介子、光子、……），全同粒子**体系的波函数是对称的**；交换对称的；两个全同粒子可以同时处于相同状态；

**费米子**：**自旋为的半奇数倍**的粒子（如电子、质子、中子、……），全同粒子**体系的波函数是反对称的**；交换反对称的；两个全同粒子不能同时处于相同的状态；

表示空间部分；表示自旋部分。

体系的波函数是反对称的：当对称时，是反对称的；当反对称时，是对称的。

两个电子自旋的合成，合成后的总自旋波函数

交换对称的：

交换反对称的：

表示自旋向上的状态；表示自旋向下的状态。

此处两个电子相互独立，忽略了它们之间的相互作用

总的反对称波函数

若空间部分是反对称的，则自旋部分是对称的；反之亦然。

和分别表示一个粒子处于基态另一个粒子处于激发态。

应用

原子的基态

原子的大小

金属中的原子

原子核内独立核子的运动

核内的有色夸克