玻尔氢原子理论以及物理进步

刘正浩 2019270103005

【摘要】本文简要介绍了玻尔氢原子理论的内容、局限，以及后续对其的修正。同时，简单介绍精细结构常数的由来和作用。

【关键词】氢原子 光谱 相对论 精细结构常数

1. 玻尔氢原子理论

玻尔的氢原子理论有三个假设：定态假设、轨道量子化假设、跃迁理论。

1.1 定态假设

玻尔假设，原子中的核外电子只能在一系列特定的轨道上稳定运动，电子在这些轨道上既不向外辐射能量、也不吸收能量，这些特定的轨道状态称为稳定态，简称定态。相应地，由于电子轨道不是连续的，所以原子的能量取值也是分立的，这些不连续的取值称为原子的能级，记为。

1.2 轨道量子化假设

分立的原子轨道取值也不是任意的，只有满足下面的条件的轨道才是可能的轨道：

式中为普朗克常量，叫做主量子数。这个式子又叫做量子化条件。

1.3 跃迁理论

当原子从高能级的定态跃迁到低能级的定态，即电子从高能量的轨道跃迁到低能量的轨道时，要发射频率为的光子，且有

这个式子又叫做频率条件。

2. 玻尔氢原子理论的局限性

既然玻尔已经对氢原子的结构做了一种假设，我们就可以用实验现象——氢原子光谱来验证这个假设是否正确。下面就用玻尔氢原子理论的假设来计算里德伯常量，并与实验值进行比较。

既然电子绕原子核做圆周运动，不妨假设

由轨道量子化假设，r只能取一系列分立的值。将代入上式解得

原子的总能量包括动能和势能两部分：

不妨假设电子从半径为的轨道跃迁到半径为的轨道，由能量表达式、半径表达式和频率条件可以解出在跃迁过程中发出的光子的频率：

将上式中带入并与巴尔末公式进行比较，可以得出里德伯常量的表达式：

在玻尔提出氢原子理论时，光谱实验可以得到的里德伯常量为

两者的差值仅为0.05%。然而，当时光谱实验的测量精度为万分之一，也就是说，玻尔氢原子理论仍然不够精确。

2. 氢原子光谱的精细结构以及对玻尔氢原子理论的修正

科学家们进一步对氢原子光谱研究发现，氢原子的光谱线具有精细结构，即原来人们看到的一条谱线实际上是由几条相距很近的光谱线叠加而成的，玻尔原子模型并不能解释光谱的精细结构。

德国科学家索末菲在玻尔氢原子模型的基础上做了一些改进，建立了索末菲模型。在这个模型中，电子绕原子核的轨道并不是正圆形，而是椭圆形。同时，电子的能级并不只与主量子数有关，还与角量子数有关。不同角量子数的轨道之间的能级差正比于某个无量纲常数的平方，这个无量纲常数也就是精细结构常数。

以下为索末菲模型的推导过程：

氢原子的角部分是一个旋转子，这里给出量子数。径向部分是在位势作用下的一维运动。

给予固定的总角动量L后，一个经典开普勒问题的哈密顿量H为：

其中，r是径向坐标，p是径向动量。设能量为常数E，径向动量就为

同样，可以通过前面的条件解出两个拱点的径向坐标：

由量子条件，可以得到表达式：

经过运算可以得到

由量子化的角动量，可以解出能量的表达式：

可以看出，两个量子数共同决定了能量。

后来，索末菲又从这种处理中得出了玻尔的氢原子公式：

这个公式相比于开始时得到的氢原子能级公式更加详细。这也说明，量子条件并不限制经典力学的适用性，而只是确定动力学问题的初始值。

接着，索末菲把相对论效应应用到量子化椭圆模型，详细推导了考虑相对论效应后电子的能量表达式。这里只给出表达式结果：

式中，为电子与原子核的静这和质量，为里德伯常数，即为精细结构常数。

参考文献

[1]陈慧清.氢原子理论的修正过程[J].韶关学院学报(自然科学版),2004(03):36-39.

[2]维基百科.精细结构常数. <https://zh.m.wikipedia.org/wiki/%E7%B2%BE%E7%BB%86%E7%BB%93%E6%9E%84%E5%B8%B8%E6%95%B0>

[3] 索末菲, 阿诺.Brose, Henry Leopold, Atomic structure and spectral lines 3rd., Methuen & Co., 1934，英文翻译。