波函数简介

量子力学中, 描述粒子状态的是波函数. 波函数是关于位置和时间的复变函数. 在经典力学中, 如果已知一个粒子的质量(以及电荷量等其他属性), 只需根据某时刻粒子的位置和动量(或速度), 就能确定粒子的状态, 进而可以求出粒子的能量, 角动量, 预测粒子的轨迹等等. 而在量子力学中, 已知粒子某时刻的波函数, 就能确定粒子这个时刻的状态, 进而求出我们所需要的其他力学量.

为什么要用波函数描述粒子的状态? 这里先介绍波粒二象性由于在微观粒子的实验中, 粒子通常表现出"波粒二象性". 在电子的双缝干涉实验中, 我们发现, 电子落到屏幕上以后是一个点, 而且电子在一个时刻只可能在一个地方被检测到, 从这种不可分割的观点来说, 它像一个粒子(但我们不能认为它的形状就是一个圆形的小球, 因为我们从来没有真正地看见过或者摸过电子, 所有把电子画成圆形小球的图片都是作者想象出来的!). 但是这个实验中电子却出现了干涉, 而这种干涉完全可以用波的叠加来计算, 这又使得电子有点像波. 毕竟光的波动说最直接的证据就是光会发生干涉和衍射. 关于微观粒子的波粒二象性的本质是什么, 我们先不做讨论. 我们只是引入了波函数这么一个工具, 来解释我们做过的实验. 注意我们只把波函数作为描述粒子行为的一个数学工具, 至于它本身到底是不是对应一种客观的东西, 我们不做探讨.

波函数被定义为这么一种东西

1.

2.

那如何用波函数来解释电子的双缝干涉呢? 因为我们规定波函数是可以叠加的, 这就使其可以产生干涉. 在接收电子的屏幕上, 波函数(的模长平方)的分布就是电子将要出现的概率. 在一次实验中, 由于电子只会出现在屏幕的一点上, 所以看不出干涉条纹. 然而在大量实验中, 概率大的地方电子密度大, 概率小的地方电子密度小, 所以最后屏幕上粒子的密度分布就是波函数(的模长平方)在屏幕上分布的情况. 有人根据这个解释提出过一种导波理论, 认为电子的本质是粒子, 但是其出发前会先发出一个波(用波函数描述), 这个波先经过进行干涉, 然后电子再"随波逐流"前进, 所以波函数大的地方电子出现的概率大, 波函数小的地方电子出现的概率小. 这种解释看似很有道理, 但是没有任何人检测到电子会发出某种类似性质的波, 所以我们还是只把波函数当成一种描述粒子状态的手段比较好.

在经典力学中, 如果我们已知一个粒子的各种内在参数(质量, 电荷等), 再用动量和位置就可以预测其轨迹, 也就能完全预测其打到屏幕上的位置. 但是对电子(或其他微观粒子)而言, 在(我们认为)完全相同的状态下分别发射两个电子, 这两个电子出现在屏幕上的位置也不一定是相同的. 所以微观粒子给人的最大困惑就是, 似乎它的一切都是飘忽不定(随机)的.

但幸好, 在其随机的行为中, 还是有规律可循的, 例如在电子的双缝干涉实验中, 屏幕上接收到电子的频率分布是有规律的, 这就是统计规律. 波函数并不能描述粒子将要出现在哪里, 而是预测粒子可能出现在哪里, 并告诉我们出现在各个地方的概率有多大. 尽管有很多人不满足于这样的解释(例如爱因斯坦, 他坚持认为微观粒子的一切也是确定的), 但物理学发展到现在, 这依然是我们能够对微观粒子做出的最好的描述. 所以量子力学不讨论粒子的轨迹, 也就是不讨论某时刻粒子的位置等, 而是给出统计性的描述, 这种描述采用的数学工具是数学上的复变函数, 由于用它来描述粒子的波动性, 我们给它起个名字叫波函数.