

第 1 章

原子结构以及电子运动特征

1.1 人们对微观世界的探索

古希腊的哲学家德谟克利特(Democritus)曾提出万物都是由原子构成的,中国战国时期,庄子也提出了“一尺之棰,日取其半,万世不竭”的观点。这表明人们在很久以前就已经开始思考“世界的本源是什么”的哲学问题了。只不过由于科技水平的限制,很多对于世界本源的推论都只停留在假说阶段。第一次工业革命以后,随着人们获取能量的效率越来越高,科学和技术的相互促进使得人们的视野能够更多地从宏观深入到微观,人们对世界本源的理解也开始从假说阶段进入实证阶段。

1.1.1 道尔顿的原子论

19 世纪的英国化学家道尔顿(J. Dalton)提出了原子论,他认为世界万物都是由不可再分的原子构成的。这个观点早在公元前就由德谟克利特提出过,为什么道尔顿提出的观点就可以称为“原子论”而德谟克利特的只叫哲学思想? 因为道尔顿用他的原子论当作工具解释了很多实验事实,换句话说,当时很多的实验事实都支持道尔顿的原子论。也就是说,一个理论之所以被称为科学理论而不是思想,主要区别并不是体系的相对完备性,而是能否通过实验事实来证明。后来哲学家卡尔·波普尔(Karl Popper)正是在此基础上提出用“可否能被证伪”来区别一个理论是否是科学理论。比如有两个理论,一个是人体的各种疾病都有相对应的原因、解释,另一个是地球其实是被一个巨大的乌龟托在背上的。这两个理论中哪个是科学理论?

我们是不是觉得肯定是第一个？因为第二个明显不靠谱，是胡说八道。但是请注意，按照科学理论的定义来看，能够被证伪的理论才是科学理论！然而第一个理论是无法证伪的，因为针对每一种疾病都有其解释，也就是说该理论是自圆其说的；我们再看第二个理论，虽然很荒谬，但是我们确实可以证伪它，只要把地球打穿或者你跑到地球背面去看一看有没有大乌龟就成了。你看科学理论不在于它高不高级、正不正确，而在于它的思维方式。

我们说回道尔顿的原子论，它是科学理论吗？很显然的，因为它可以被证伪。我们看一下道尔顿的原子论的主要观点：

(1) 化学元素由不可分的微粒——原子构成。他认为原子在一切化学变化中是不可再分的最小单位。

(2) 同种元素的原子性质和质量都相同，不同元素原子的性质和质量各不相同，原子质量是元素基本特征之一。

(3) 不同元素化合时，原子以简单整数比结合。道尔顿推导并用实验证明了倍比定律：如果一种元素的质量固定，那么另一元素在各种化合物中的相对质量一定成简单整数比。

这些观点都是——错的！这很好，因为科学就是在证伪中不断前进的。

第一个观点：原子是可以再分的，通过初中的学习我们可以知道原子是由原子核和核外电子构成的。但我们不要嘲笑以前的这些科学家们，因为科学的发展具有累积性，我们享受了前人的研究成果，前辈的科学家就像巨人，我们只是运气好有机会站在他们的肩膀上，才能看得更远。

我们再看第二个观点：同种元素的原子性质和质量都相同。这显然也是不对的。感谢同位素的发现让我们知道了可以用 ^{14}C 的半衰期来测算生物的年龄，利用 ^{18}O 来监测一些反应的断键位置和一些物质的来源。而同种元素的不同种原子（互称同位素）的原子性质和质量都是不同的。

第三个观点：确实有很多实验证实了倍比定律，但是根据道尔顿的原子论观点，既然原子是不可再分的，那么不同的原子组成化合物一定是满足倍比定律的。例如 CO 和 CO_2 ，组成它们的原子个数比是1:1和1:2，因此质量比一定满足倍数关系，即在 CO_2 中氧元素与碳元素的质量比一定等于 CO 中氧元素与碳元素质量之比的2倍。实际上倍比定律是观点1和2的推论，如果观点1和2有问题，那么推论自然也就站不住脚了。

果然道尔顿的理论很快（在一个世纪以内）就被证伪了。

1.1.2 卢瑟福的发现

1911年英国物理学家卢瑟福(E. Rutherford)在用 α 射线(就是氦核 ${}^4_2\text{He}$)轰击金箔的时候发现了异常的现象,按照经典的理论,原子是一个实心球体,那么大部分射线打到金箔应该发生偏转,就像乒乓球打到了篮球上。但是实际情况却是:绝大多数 α 粒子畅通无阻,少数出现一些偏转,还有极少数居然被反弹了回来。

根据这个现象,卢瑟福思考到:原子不是一个实心球体而是大部分都空空如也,这样就可以解释为什么绝大部分 α 粒子都畅通无阻;原子的质量一定集中在某一个地方,这个地方一定非常小,因此可以解释为什么只有极少数 α 粒子可以被反弹了回来(它们运气不好恰巧撞到了“结实”的原子核)。于是卢瑟福提出了近代原子结构模型:原子核在原子的中心很小的位置,电子在绕核做高速运动。我这么说你想起了什么?这怎么那么像地球绕着太阳转,或者月球绕着地球转。对的!所以卢瑟福提出的原子模型又叫作“行星模型”。

这个模型就是我们在初中学习过的原子结构示意图的样子,这个理论也是科学理论,因为它不久后就被证伪了。这到底是怎么回事?别着急,我们还得从普朗克开始说。

1.2 量子力学揭开新篇章

1.2.1 量子力学之父——普朗克

1900年,在新世纪到来之初,虽然人们对物理学的大一统表示出极度的乐观,但泰斗级人物威廉·汤姆森(William Thomsons,即开尔文男爵)还是在英国皇家研究所举行的报告中说出了他的担忧:“动力学理论断言,热和光都是运动的方式。但现在这一理论的优美性和明晰性却被两朵乌云遮蔽,显得黯然失色了……”这两朵“乌云”,一朵是迈克尔逊-莫雷实验的失败,它颠覆了人们对于“以太”的假设;另一朵“乌云”则是黑体辐射实验,其结果无法用经典力学解释。这两朵乌云最终引发了广义相对论和量子力学的发展,而黑体问题则引起了年轻的德国科学家普朗克(M. K. E. L. Planck)的注意。

我们可以想象一个“黑体”,它不反射任何光,所以是黑色的。它只能向外发射光。你看这样是不是就可以控制变量,只研究黑体随着温度的变化向外辐射光的情

况。按照经典的麦克斯韦理论,黑体辐射的光应该是连续的,就是无论在什么温度下都应该既有长波的红光,也有短波紫光。但实际情况却是,黑体辐射的光波是非连续的!怎么理解这种情况呢?我举个例子,比如你给一块木炭加热(木炭是黑色的,所以可以看作黑体——好吧,我开玩笑的。黑体不是指物质的颜色,而是指它只向外辐射能量而不反射能量,从这个角度看,太阳、烤面包机里面的加热线圈都是黑体),按照经典的理论,木炭在不同温度下都会辐射出连续的光波,既有可见光,又有红外和紫外,只不过温度不同这些光波的比例会不同。那么宏观上的结果是什么?就是一块木炭随着温度的升高应该一直保持蓝白色(辐射连续光波叠加起来就是白色的,而如果紫外区的部分光波多一些,再加点紫色就显出一定的蓝色)。但实际情况是,我们看到一块木炭在被加热的过程中先是红色,随着温度的上升逐渐会出现蓝色和白色(在生活中,因为温度不会上升到那么高,所以我们很少看到蓝色和白色,但是在实验室中这些都是可以观察到的)。莫言在他的小说中形容天气热的时候曾用上了“蓝得发白”,现在想想还真是有道理啊。所以我们可以得出结论,黑体辐射出的电磁波(光的本质是电磁波)在低温时倾向长波区域,故显出红色,在高温的时候倾向短波区域,所以表现出蓝色,如果温度再高,叠加的结果就是白色。根据实验结果,普朗克发现黑体辐射是非连续的,这与经典物理学中能量的连续性理论是不符的。那应该怎么解释呢?普朗克的伟大之处就在于能够创造性地利用粒子的观点(传统的观点认为光是波)来解释这种不连续性,他认为,把光分成一份一份的再发射出去才能解释非连续性的现象。普朗克给这个一份一份的光所具有的能量提出了一个公式: $E = h\nu$ (E 代表能量, ν 是光的频率, $h = 6.62607015 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, 即普朗克常数)。也许普朗克当时还不知道,这个 h 就像一把钥匙打开了微观世界的大门。这一点爱因斯坦(A. Einstein)意识到了。

1.2.2 爱因斯坦的见解

摆在爱因斯坦前面的是德国的物理学家赫兹(H. R. Hertz, 赫兹也是频率的单位)在1887年发现的“光电效应”:当我们把光照射到抛光金属表面时,可能会有电子打出来。简单说就是“光打进去,电子出来”。这个有什么可好奇的呢?我们一般认为“只要功夫深,铁杵磨成针”,只要我们投入足够高的光强,就会有电子飞逸出来。但是实验现象却反常识:我们用红光打一个金属板,无论我们怎么调高红光的强度(明亮度),除了能使金属微微发热以外,都没有电子逸出。此时你不要放弃,换个思路,不改变光强而是改变光的颜色(频率),把光从红颜色变为紫颜色。神奇的

事情发生了,无论这个紫光是明亮或者昏暗,都有电子逸出了(只不过明亮时电子逸出会多一些,昏暗时会少一些,只是多少的差别)!怎么解释这个现象呢?

如果从经典的麦克斯韦电磁波的角度来看,光所具有的能量与强度有关而与频率无关,而光电效应所展示的事实却是电子是否逸出(或者说光具有的能量)与频率有关。这时爱因斯坦想到了普朗克关于黑体辐射理论的解释,也许普朗克公式中描述的并不仅仅是热力学中复杂的辐射问题,也是对光本质的描述!如果光本身就是一个一个粒子(爱因斯坦把这个一个一个粒子叫作光子或者光量子),那么光量子与电子直接碰撞的过程中,光量子的能量要么全都给了电子,要么丝毫不给。如果光量子的能量大于某个阈值(电子逸出的最低能量),那么电子就会逸出,否则就不会逸出。而 $E=h\nu$ 中的 ν 就是频率,不同的光量子由于频率不同,所具有的能量也不同。频率越高能量就越高,紫光的能量高于红光(波长越短,频率越大,能量就越高),因此紫光比红光更能产生光电效应,这与实验事实相符。

爱因斯坦凭借对光电效应的研究和解释获得了 1921 年的诺贝尔物理学奖。我们今天在用太阳能电池的时候能否想起一百多年前人们对光电效应的研究呢?牛顿(I. Newton)说光是波,惠更斯(C. Huygens)说光是粒子,爱因斯坦说,你们俩别争了,光的本质既是波也是粒子,这就是波粒二象性!

1.2.3 波粒二象性

我们试着将一些公式联立或者变换,看看能得出什么有意思的结论。

首先是普朗克公式: $E=h\nu$, 然后是爱因斯坦的质能方程: $E=mc^2$ (m 是质量, c 是光速)。都是 E (能量),为什么公式不一样?你能否感觉到,实际上爱因斯坦的质能方程表示的是宏观物质,而普朗克公式则表示的是微观物质。那么我们不妨通过 E 把这两个公式联立起来: $mc^2=h\nu$ 。我们知道动量 $p=mc$ (动量等于质量乘速度,这里速度就是 c),而频率 $\nu=\frac{c}{\lambda}$ (频率等于光速除以波长)。好的,就要大功告成了,我们把 $mc^2=h\nu$ 变成 $pc=\frac{hc}{\lambda}$,消去 c ,得 $p=\frac{h}{\lambda}$ 。这个公式代表什么意义?我们看,左侧 p 代表粒子,因为动量是粒子才具有的性质;右侧 λ 代表波。这不正是波粒二象性的公式表达吗!粒子和波通过 h 就可以相互转化。我们再一次感受到了 h 的厉害之处, h 就是宏观通往微观的一把钥匙。

1.2.4 物质波

物理学家德布罗意(L. de Broglie)更是类比波粒二象性提出了物质波的概念。什么是物质波？简单来说就是一切物质都具有波动性，只不过显示的程度不同而已。怎么从公式上理解物质波呢？再次请出这个神奇的公式 $p = \frac{h}{\lambda}$ 。我们把 $p = mc$ 代入得到 $mc = \frac{h}{\lambda}$ ，整理一下得 $\lambda = \frac{h}{mc}$ 。这个公式有什么意义呢？你看，左边是波长，右边分母中有一个质量 m ，所以这个公式告诉你，只要有质量就有波，这就是物质波的来源。那么我们不禁会问，为什么宏观物质看起来不是波呢？毕竟你不会天天在震荡中前进。其实只要我们看一下这个公式就会明白，波长 λ 和质量 m 是成反比的，也就是说质量越大，波长越小，质量越小，波长越大。这能够说明宏观物质和微观物质都是具有波粒二象性的，只不过宏观物质质量大，所以波动性几乎观察不到，而微观粒子质量小，波动性才体现得更加明显！好极了！这正是我们希望看到的样子，科学家的努力就是想找到统一的公式来解释宏观和微观世界。为了让你更好地理解波和质量的关系，我们看一个例子：

已知电子的质量为 10^{-31} kg(为了方便计算，我们只取数量级)，枪弹的质量为 10^{-2} kg；电子运动的速率接近光速，我们按照 10^8 m · s⁻¹ 来计算，枪弹的速率大概是 10^3 m · s⁻¹。下面我们来分别按照德布罗意的物质波公式计算一下它们的波动性。

解：根据公式

$$\lambda = \frac{h}{m\nu}$$

$$\lambda(\text{电子}) = 6.626 \times \frac{10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{10^{-31} \text{ kg} \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} = 6.6 \times 10^{-11} \text{ m}$$

你别看这个波长很小，但是电子的直径为 2.8×10^{-15} m，远远小于其物质波的波长，所以电子的运动具有显著的波动性。我们再看子弹的情况怎么样：

$$\lambda(\text{枪弹}) = 6.626 \times \frac{10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{10^{-2} \text{ kg} \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} = 6.6 \times 10^{-35} \text{ m}$$

枪弹的直径为 10^{-2} m，远远大于其物质波的波长，所以枪弹的运动不体现其波动性。

通过上面的例子，我们似乎可以看到任何物质都具有波粒二象性，质量则是一个砝码。我们接下来再来看看质量在测不准原理中的作用。

1.2.5 测不准原理

在化学中,电子是非常关键的要素,那么电子运动到底有什么特点呢?我们总希望从经典物理学的视角去研究电子,想要知道电子运行的轨迹和每一时刻电子运动的速度。但这样的想法被海森堡(W. K. Heisenberg)否定了,海森堡说我们不可能同时知道电子的速度(动量)和位置。这个就叫作“测不准原理”。

如果我跟你说,我们无法测量一个数据,你一定会认为,要么是我在偷懒,要么是我在抱怨说工具不够精密。是的,至少在宏观上我们可以这么归因,但是在微观上,电子的运动是真的测不准。我们来看一下海森堡提出的公式: $\Delta x \times \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$ 。怎么理解这个公式呢? Δx 你可以理解为位置的误差, Δp 你可以理解为动量的误差,而这两个误差的乘积一定大于一个常数 $\left(\frac{h}{4\pi}\right)$ 。不知道你有没有看出点什么门道,这是不是有点像 $[\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = K_w$? 一个小,另一个必然大,不可能两个都大或者都小,有点像我们生活中的跷跷板。难道这就是命运吗,为什么是这样呢? 这里我需要给你讲一个数学上的见解: 我们都知道 $a \times b = b \times a$, 这个没错吧,因为乘法有交换律。但是你有没有想过有些东西是不能交换相乘的,比如我做一件事情的顺序。如果想取得好成绩的话,我们必须先复习再考试。这时 $\text{复习} \times \text{考试} \neq \text{考试} \times \text{复习}$! 所以在数学中,表示乘号的“ $\times$ ”和“ $\cdot$ ”意义是不同的,具体说就是“ $\times$ ”前后的项是不能交换顺序的,而“ $\cdot$ ”前后的项是可以交换顺序的。

下面我们再看测不准原理的公式: $\Delta x \times \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$, 看见了吧, Δx 与 Δp 之间是 $\times$ 号而不是 $\cdot$! 这说明 Δx 和 Δp 的测量顺序会影响最终的结果。想象一下,我们看见一个小球的位置,也能感受到它的速度,这个没有丝毫的问题。但是这个事情发生在微观就不同了,如果我们看见一个电子,这里的“看见”说明至少得有一个光子打到了电子身上并且返回到我们的眼睛(测量设备)中。可是电子不是宏观的小球啊,它的质量(又是质量!)太小了,所以哪怕一个光子打到了它的身上也会把电子撞成“天外飞仙”,我们确实看到了那一刻的位置($\Delta x = 0$),但是却因为看到了位置而得不到动量($\Delta p = \infty$)了。你看,我们想知道位置 Δx 就无法知道 Δp , 因为位置的测量行为破坏了 Δp 的测量; 同理,我们想知道动量 Δp 就无法知道 Δx , 因为同样的观测行为会破坏下一个物理量的测量。如果微观世界真的这样测不准,我们总觉得没着没落的。人类可不喜欢这样的感觉,所以总要找出点办法来对待这微观的

粒子。是时候放下传统的宏观视角,重新为微观量身打造一套适合它的测量工具和方法论了。1900 年的开尔文男爵绝对没有想到,物理学界的两朵乌云居然会引起这样的“轩然大波”,带来的是经典物理学大厦的崩塌和废墟中新大厦的重生。

1.3 电子运动的规律

1.3.1 波尔的工作

让我们先暂时放一放怎么研究电子的事情,因为摆在丹麦物理学家波尔(N. Bohr)面前的工作更加棘手。还记得先前说过的卢瑟福的“行星模型”吗? 如果电子绕核高速旋转会产生什么后果呢? 根据经典电磁学的理论,电子是要向外辐射电磁波(能量)的,然后电子就会越飞越“没劲儿”,最后落在带正电的原子核上。尽管我不想举这个例子,但是这个例子实在太形象了:想象一只苍蝇围绕着它的食物盘旋,最终落在上面的样子,你就会明白如果电子也是这样,那么就不会有稳定的物质存在了。这个例子告诉我们电子绝对不会落在原子核上。是什么让电子不会因为“筋疲力尽”而落在原子核上呢?

波尔决定再次请出普朗克方程,毕竟 h 是打开微观世界的钥匙。波尔打算从最简单的氢原子入手,看看能不能成功解释氢原子的发射光谱(如图 1.1,光谱并不是连续的,而是出现了不同的线)。

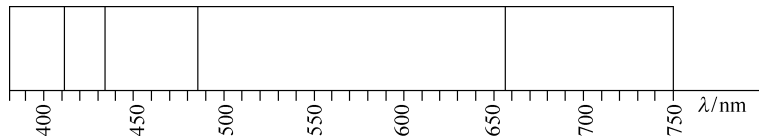


图 1.1 氢原子光谱

虽然下面的推导有些麻烦,不愿意看的可以直接跳过看后面的结论,但是如果你能坚持看完,也许它会对你的理科思维有些帮助。波尔在規定了一些假设之后打算从角动量入手:先想象一个模型,中间是正电荷(H^+ 就是一个质子,没有中子,这很好,便于我们研究问题而不用担心被别的因素影响),电子在距核 R_n 的地方运动。由于是绕核运动,这时的动量叫角动量,表征的是一个微粒旋转的能力与程度。角动量的大小为 $L = mvR_n$ (L 代表角动量, m 代表质量, v 代表速率, R_n 代表绕核运动的运动半径)。

我们来看一下角动量是什么。这次我们将从单位入手,帮助你理解角动量的含

义： mvR_n 的单位是 $\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \text{m}$ ，似乎看不出什么所以然。别急，这时我们试着乘 $\frac{\text{s}}{\text{s}}$ （乘一个 s 同时再除以一个 s，分数值不变），上面的单位就变成了 $\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \text{m} \cdot \frac{\text{s}}{\text{s}}$ ，整理一下得 $\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$ 。现在你对这个单位有感觉了吗？好吧，如果没有，我们再整合一下： $\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ 就是 N(牛顿)，因为 $F=ma$ (kg 来自质量 m ， m/s^2 来自加速度 a)，然后原本的单位就变为了 $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$ ，而 $\text{N} \cdot \text{m}$ 可以表示力在位移上的累积，也就是做功，单位则是 J。因此我们通过对单位的变化整合似乎得出了一个结论：角动量的单位可以转化为 $\text{J} \cdot \text{s}$ 。你会说这个单位有什么意义吗？很有意义，因为它居然和普朗克常数 h 的单位是一样的。这很有趣，我们又一次体会到了 h 的厉害，它可以与角动量联系起来。角动量会涉及圆周运动，因此再乘上一个系数 $\frac{n}{2\pi}$ ，我们最终可以获得一个与普朗克常数相关的公式： $\frac{nh}{2\pi} = mvR_n$ 。

波尔认为，电子在做绕核运动的时候，由库仑力提供向心力（很遗憾，波尔仍然试图用经典力学的方式来研究微观世界），于是有如下的公式：

$$F_{\text{向}} = \frac{k \cdot e^2}{R_n^2}$$

其中， $k=8.987551 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$ ，称为库仑常数； e 是一个质子所携带的电荷（一个电子的电荷为 $-e$ ）。将 $F_{\text{向}} = \frac{mv^2}{R_n}$ 代入上面的公式得

$$\frac{mv^2}{R_n} = \frac{k \cdot e^2}{R_n^2}$$

再将我们刚才得出的结论 $\frac{nh}{2\pi} = mvR_n$ 中的 v 代入上面的公式，整理得

$$R_n = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m k e^2}$$

看， $\frac{h^2}{4\pi^2 m k e^2}$ 这“一坨”其实就是一个常数，我们记作 C 。于是公式可以表示为 $R_n = n^2 \cdot C$ 。由于 n 只能取正整数，所以 R_n 也只能整数倍地变化，而不能是任意值，这不就是量子化嘛（什么是量子化？打个比方，就是只有 1 块、2 块和 5 块，而不存在几角几分的钱数。虽然波尔引入了量子化的理论，但是他的工作仍然是不彻底的，这也为他无法成功解释除了氢原子以外的模型埋下了伏笔。我们就只能等待

“薛定谔的猫”登场了)!

波尔非常兴奋,因为氢的发射光谱告诉我们,氢原子向外辐射出的能量不是连续的,而是某些特定的值。波尔心想,如果 R_n 是量子化的,那么我把 R_n 代入能量公式可以求得电子的总能量=动能+势能。经过波尔的一顿操作(这里面涉及积分的一些知识,有兴趣的同学可以自己推导一下),他得出了结论:能量也是量子化的。而且波尔的计算结果与实验事实相符,可以说波尔用量子化工具完美解释了氢原子光谱的问题。波尔成功了!

我们总结一下波尔的工作。波尔利用普朗克方程推导出了结论:电子的角动量、半径和能量都是不连续的,是量子化的。并且这套理论计算结果与实验事实相符。

波尔的工作是开创性的,因为他告诉了我们微观世界到底是什么样子的。波尔模型虽然能解释氢原子,但是在多电子体系中却失效了,哪怕最简单的多电子体系(He)与他的理论也不是很吻合。这说明什么?说明我们需要建立起一个新的数学模型来解释微观世界,而不是在经典力学模型上进行修补。这个工作就交给那个时代的年轻人吧,我们不会等太久,因为薛定谔来了。

1.3.2 薛定谔方程的基本思想

奥地利物理学家薛定谔(E. Schrödinger)在他 37 岁那年(1925 年)读到了德布罗意关于物质波的那篇论文,获得了一些灵感。遗憾的是德布罗意并没有给出物质波的方程,因此薛定谔决定自己试一试。要不说数学好还真是厉害呢,这一试还真让薛定谔弄出一个方程来,这个方程就是薛定谔方程:

$$-\frac{\hbar^2}{2\mu} \frac{\partial^2 \psi(x,t)}{\partial x^2} + \underbrace{U(x,t)}_{\text{势能}} \psi(x,t) = i\hbar \frac{\partial \psi(x,t)}{\partial t}$$

动能

好吧,我知道你一脸问号,这都是什么?别急,我们不需要看懂这个方程,也不需要会解这个方程,也许这是大学化学系学生才要干的事。我们只需要了解一下薛定谔的研究思路。首先这个方程(我才不说它是一个二阶偏微分方程呢)中的数学语言要表达一种什么意思呢?我给你翻译一下:电子作为波时,这个波在不同时间和不同位置的变化情况是什么样的。你要在意的只有 $\psi(x,t)$ (ψ 是波函数, x, t 对应空间和时间)。

你看,薛定谔的厉害之处就是用波去描述电子而不是用粒子。波尔不是用粒子去描述电子吗,在解释多电子模型的时候不是碰壁了吗?所以薛定谔说,我要换个思路,不用粒子的模型去研究电子而是用波!薛定谔方程右边是电子的波函数,而