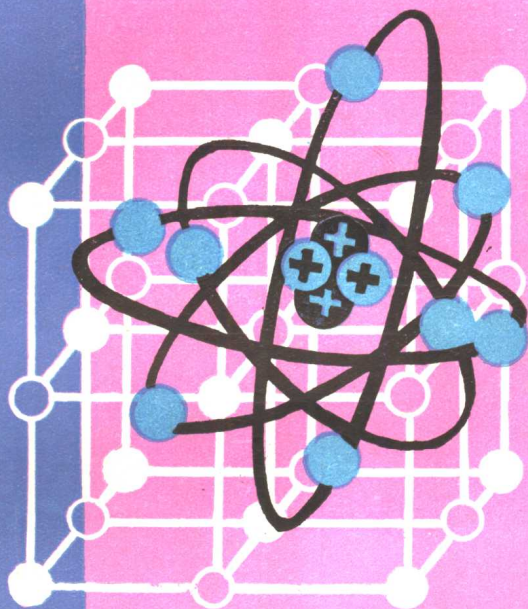


原子物理中 若干问题的辨析



上海教育出版社

中、学生文库

ZHENG WENKU

ZHENG WENKU

中学生文库



ZHONGXUESHENG WENKU

原子物理中 若干问题的辨析

谭 玉 美

上海教育出版社

责任编辑 方 棻

封面设计 范一辛

中学生文库 原子物理中若干问题的辨析

谭 玉 美

上海教育出版社出版 发行

(上海永福路 123 号)

各地新华书店经销 上海市崇明印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 3.5 插页 2 字数 64,000

1988 年 11 月第 1 版 1988 年 11 月第 1 次印刷

印数 1-6,000 本

ISBN 7-5320-1033-3/G·1016 定价: 0.94 元

前 言

原子物理学是近代科学发展的产物，它是本世纪初才开始得到迅速发展的一个物理学分科。在中学物理教学中，原子物理学虽然不占主要篇幅，但却有着独特的重要的地位。学好这部分基础知识，对学生今后进一步涉足于这个领域具有重大的意义。

原子物理学所涉及的内容大多是最新的科学知识，它正处在进一步发展与完善的过程中。叙述、解释这方面知识的书籍虽已出得不少，但适合中学生阅读的有关这方面的读物却还不多。

本书根据中学物理教学实践中，有关原子物理学方面所遇到的 17 个问题按次序编写，力求帮助学生形成正确的物理概念，并尽可能加入某些最新信息，扩大读者视野。行文力求通俗易懂，适宜于中学生阅读。然而，限于作者水平，其中错误与不妥之处恐难避免，恳请读者指正。

本书承复旦大学原子核科学系陆汉忠老师审阅，特此

致谢。

作者

1986年9月

目 录

一、原子结构的汤姆生模型与卢瑟福模型·····	1
二、原子光谱、发射光谱与吸收光谱·····	8
三、玻尔理论与量子力学·····	12
四、普通光与激光·····	20
五、 α 射线、 β 射线与 γ 射线·····	26
六、 β^- 衰变与 β^+ 衰变·····	32
七、半衰期、衰变常数与平均寿命·····	37
八、原子核的天然衰变与人工转变·····	43
九、万有引力、电磁力与核力·····	53
十、质能方程与质量守恒、能量守恒定律·····	58
十一、原子的结合能与原子核的结	



合能.....	62
十二、结合能与平均结合能.....	68
十三、裂变与聚变.....	73
十四、原子弹与原子反应堆.....	81
十五、回旋加速器与同步加速器....	88
十六、强子、轻子与媒介子.....	94
十七、坂田模型、夸克模型与层子 模型.....	102

一、原子结构的汤姆生模型与卢瑟福模型

物质是由分子构成的，分子又由原子组成。分子和原子都是肉眼所不能看见的东西。“原子”这一术语来自希腊文，它本来的涵义是“不可分割的”。1897年英国物理学家汤姆生(J. J. Thomson, 1856—1940)通过实验发现电子以后，知道电子是一切原子的组成部分，打破了原子不可分割的观念。电子是带负电的，而原子是呈中性的，说明在原子内部除了含有电子之外还有带正电的部分。那么，人们不禁会提出这样的问题：原子内部的电子到底是如何“安置”在原子里面的呢？当然，想用肉眼看一看是根本不可能的。要想凭借放大镜、显微镜去观察，在二十世纪初期，这也是根本做不到的。事实上，即使用上今天放大本领高达百万倍的电子显微镜，人们也无法看到电子在原子世界里翱翔的形象。好在人类洞察自然的本领与手段，并不只限于一个“看”字。人们可以根据已知的实验事实，提出一定的物理模型(假说)去模拟我们所研究的客体。如果

这种模型不但能够解释各种已知的事实，而且由它推得的结论(预言)还能经受得住实验的检验，那么这种模型(假说)就是客观事物的真实写照，就可上升为公认的理论。反之，如果由此推得的结果不能完满解释实验所观察到的事实，那么，这种模型就是不完整的或是错误的，人们就应当在它基础上进行修正，或提出新的假设，进行新的模拟，再进行探索。人们对物质结构的认识过程，正是无数科学家们通过实验——假设——预言——验证的途径而去探索自然的过程。

关于原子的结构问题，在二十世纪初期，科学家们曾提出了许多见解，其中比较典型的有两种。这两种模型都是关于原子内部构造的假说，但它们又反映了人类对客观规律认识的不同阶段。

第一种假说是1903年汤姆生首先提出的“无核原子模型”。他设想，原子里面带正电的部分均匀地分布在原子球体中(直径约为 10^{-10} 米)，而带负电的电子则在这个球体中游动，如图1-1所示。在静电力作用下，这些电子被吸引到中心并又互相排斥，从而达到稳定状态。汤姆生借用了如图1-2所示的实验装置来说明这种原子模型的稳定性。他用一盆盛放液体的容器来代表整个原子；液体是表示原子中带正电的部分；液面上漂浮着的软木塞则代表电子，每个软木塞中间放置一根小磁针，用磁针之间的作用力来代替静电力。又在容器的正上方设置一块大磁铁，使软木塞向中心会聚，可以推证，其效果相当于汤

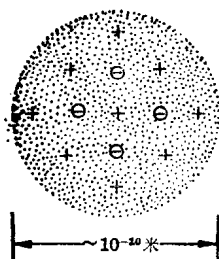


图 1-1

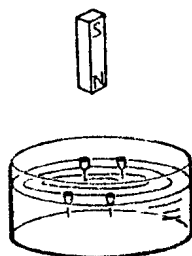


图 1-2

姆生模型中的正电荷对电子的吸引力。在软木塞向容器中心漂移的过程中，小磁针之间的排斥力阻碍它们完全靠在一起。如果被模拟的原子只有一个电子，那么仅有的一个软木塞就处于容器的中心；如果模拟的是含两个电子的原子，那么与它相对应的两个软木塞便漂浮在容器中心的两侧；三个电子的情形将使三个软木塞位于一个等边三角形的三个顶点；四个电子时，四个软木塞位于一个正方形的四个角上；以此类推。这时原子处于稳定状态。一旦受到扰动，电子就在平衡位置附近作简谐振动，从而辐射一定频率的电磁波，可以解释明线光谱的成因。当然，在软木塞过多的情况下，这种布局就显得不大稳定了。如果把过多的电子分为内层电子与外层电子，那么又可以使原子达到稳定的状态。用这种办法，汤姆生居然得到了与门捷列夫周期律颇为类似的电子排列规律。因此，在一段时间内，汤姆生的原子模型得到了广泛的承认。他的这个原子模型，后来被人们形象地称为“葡萄干蛋糕模型”或“西瓜

模型”。

但是，这个模型带有明显的人为性质，因为在这模型中的电子是以单个微粒状态存在着，而正电荷则在很大体积内以连续的状态分布着，后者没有任何依据。同时，为了要说明为什么正电荷在库仑力作用下不致飞散，必须假定它们之间无相互作用，这又和电学中的规律相违背，或者假定除库仑力之外还存在着某些其他的力，这些力正好可以抵消库仑力的作用。否则这种模型就不能成立。以后，有人在进行电子和金属膜的散射实验中，发现高速电子很容易穿透原子，说明原子不象实体球，用汤姆生模型很难解释。1909年，英国物理学家卢瑟福(E. Rutherford, 汤姆生的学生)和他的同事们做了有名的 α 粒子散射实验，彻底否定了汤姆生的模型，建立了第二种关于原子结构的假说。

卢瑟福采用了高速飞行的 α 粒子去轰击金箔，根据 α

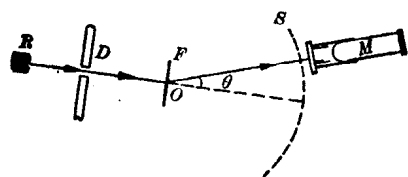


图 1-3

粒子飞行路径的改变，便可推算出靶原子(金原子)的构造概况。实验装置如图1-3所示。作为“炮弹”使用的 α 粒子由

放射源R提供，金箔F则作为被轰击的靶子。为了便于定量分析实验结果，要求射到F上的 α 粒子飞行方向垂直于金箔片，为此，在R与F之间放上一道“关卡”D(铅

板)，把沿其他方向飞行的 α 粒子挡住不让穿过 D 板。尽管 α 粒子与金箔原子碰撞的细节我们无法直接看到，但是它们的碰撞结果可以在荧光屏 S （涂硫化锌）上反映出来——打到 S 上的 α 粒子会使荧光屏发出微弱的闪光，通过放大镜 M 可以观察到这样的闪光。而且，荧光屏 S 设计得可以绕碰撞中心 O 点转动，从而能够数出在各种不同的方向上（ θ 在 5° — 150° 范围内）被散射的 α 粒子的个数。此外，为避免空气分子对 α 粒子的碰撞影响，整个实验都置在真空中进行（放大镜 M 除外）。

实验指出：绝大多数 α 粒子穿过金箔后与原来的运动方向偏离不多，即散射角很小（平均只有 2° — 3° 的偏转），但有约 $1/8000$ 的 α 粒子散射角大于 90° ，有的甚至接近 180° 。根据汤姆生原子模型预料 α 粒子的散射角是非常小

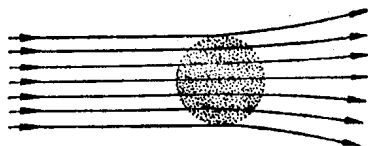


图 1-4

的，大于 90° 的大角散射几率几乎为零，这使汤姆生模型陷入困境。上述实验结果引起人们假定 α 粒子的偏折是由于它们受到原子内正电荷的排斥而发生的，碰上电子的话，好似一颗子弹碰上一粒灰尘，是不会被撞回来的（ α 粒子的质量是电子质量的 7300 倍）。

α 粒子的散射结果与原子内正电荷的分布情况有很大关系。如果正电荷是分布在一个颇大的体积内的话， α 粒子在通过时将偏折一个很小的角度（图 1-4）。只有当正电

荷分布在一个很小体积内的情况下，排斥力才会大到使 α

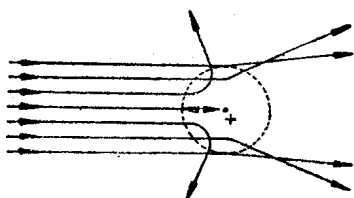


图 1-5

质点的轨道偏折一个颇大的角度(图 1-5)。

为了解释这个实验结果，卢瑟福在 1911 年提出了如下的原子核式结构学说：(1)在原子中心有一个

很小的核，称为原子核；(2)原子的全部正电荷和几乎全部质量都集中在原子核里；(3)带负电的电子在核外空间里绕着核旋转。原子核所带的正电荷数等于核外的电子数，所以整个原子是呈中性的。电子绕核旋转所需的向心力就是核对它的库仑引力。

在相同条件下用不同金属的箔片进行实验，情况基本相似，但沿同一偏转角散射的 α 粒子数不同。卢瑟福对此作了如下解释：不同金属的原子核所带的正电荷数不同，因而对 α 粒子的作用力也不同。

卢瑟福根据这个学说建立了它的散射理论，计算了沿一定偏转角散射的 α 粒子数与偏转角的关系。1913 年，他的学生盖革(H. Geiger)和马斯登(E. Marsden)用实验证实了这个关系，实验结果与理论计算符合得相当好。从此，卢瑟福的原子核式模型很快被人们所承认。

汤姆生模型和卢瑟福模型的本质差别是：前者认为正电荷均匀分布在原子整个体积内，后者认为正电荷集中在

原子内体积很小的原子核($\sim 10^{-16}$ 米)上。

从汤姆生模型发展到卢瑟福模型，标志着人类对原子结构的认识又迈出了一大步。

二、原子光谱、发射光谱 与吸收光谱

我们用分光镜来观察一束由稀薄气体或金属的蒸气发射的光时，可以看到这束光被色散成一系列波长不同的单色光的细条纹(条纹被黑暗的间隔分开)，这就是光谱。光谱中每一条条纹叫做谱线，它们都是狭缝的像。光色散后各种色光偏折的程度与它们的波长(或频率)有关。上述许多分离的谱线组成的光谱，反映了游离状态的原子发射的一系列一定波长的光波。我们把这种光谱称为原子光谱，也称为明线光谱。那么，原子发光的机理究竟是什么？发射光谱和吸收光谱又是怎么回事呢？

前面，已经阐述了卢瑟福的原子核式结构模型。而原子中核外电子是按一定的壳层结构排列的(详见“玻尔理论与量子力学”这节内容)。当原子受到某种外界作用(如受到高速质点的碰撞时)，原子中某一电子可以脱离它原来所占据的电子壳层，而使这壳层中留下一个空位。当别的能级较高的电子跳跃到这空位时，原子就放出单色光。电子跳

跃时两能级的能量差越大，单色光的频率就越高。这就是一般原子的发光机理。

在原子光谱中，可以分为两大类型。第一，电子在外部壳层各轨道之间跳跃时所产生的光谱称为光学光谱。当原子的最外层电子作这种跳动时，原子的能量变化较小，发出的光的频率较低，一般在可见光区域或其附近。第二，内部的电子改变轨道时所产生的光谱称为线状伦琴光谱。这类电子跳跃时，原子的能量变化大，发出的光的频率很高，就是伦琴射线范围内的谱线。要产生线状伦琴光谱，必须有强烈的外界作用，将内层电子击出原子之外，使原子电离，于是在离子的内层上有了空位，这空位就被邻近壳层的电子填充，这样就发生了相邻内壳层之间的电子的跳跃，从而引起伦琴射线的发射。由此可见，第一类光学光谱是由最外层电子跳跃所引起的，它们离原子核远，受核的作用力不大，而受到位于同层的其他电子的影响较大，所以它的谱线结构在极大的程度上，决定于原子最外壳层的电子分布状态。第二类线状伦琴光谱是由内壳层电子的跳跃所引起的，它们离原子核很近，受核的作用力很大，位于原子外部的电子对内层电子的作用力很小。所以，线状伦琴光谱与原子的核电荷(或原子序数)之间有密切的关系，因而也称为标识伦琴射线。

每一种元素所发射的一组谱线总是落在与一定波长相对应的某些位置上。如高中物理(甲种本)第三册彩色插页中钠、氢、汞、铜等元素的谱线，根据标尺可以读出每条

谱线所对应的有一定的波长。(光谱的谱线不仅限于可见光的区域,而且可扩展到红外和紫外区域。虽然不能直接观察,但可采用照相或其他方法测定。)也就是说,各种元素都有一组特定的谱线,表征了各元素的特征。所以,原子光谱中的这些谱线又叫做原子特征谱线。

现在,从光谱的产生条件来谈一谈关于发射光谱与吸收光谱的问题。

由发光物体直接产生的光谱叫做发射光谱。如果发光物体是炽热的固体、液体及高压气体,那么它发出的光谱是一组连续分布的、具有一切波长的光的光谱,称为连续光谱[参见高中物理(甲种本)第三册彩色插页]。若发光物体是稀薄气体,发出的是由一些不连续的亮线组成的谱线,这种光谱就是前面提到的明线光谱(同上)。由原子组成的分子能级比原子复杂得多。分子所发出的光谱线,其区域性的密集程度很高,以致在通常的摄谱仪中,形成若干条有一定宽度的而且每条看起来都是连续的光带,这种光谱称为带光谱,又称为分子光谱。

让炽热固体发出的白光通过某种透明物体(固体、液体或气体)后,在连续光谱背景上会产生一些暗线或暗区,而这些暗线或暗区的波长正好与这种原子特征谱线或分子带光谱谱线位置相对应(同上),这表明了该透明物体从通过它的白光中吸收了跟它的原子特征谱线或分子光谱谱线波长相同的那些光,使白光的连续光谱中出现了暗线或暗区。因此,我们把高温物体发出的白光通过物质时,某些波长