

知识

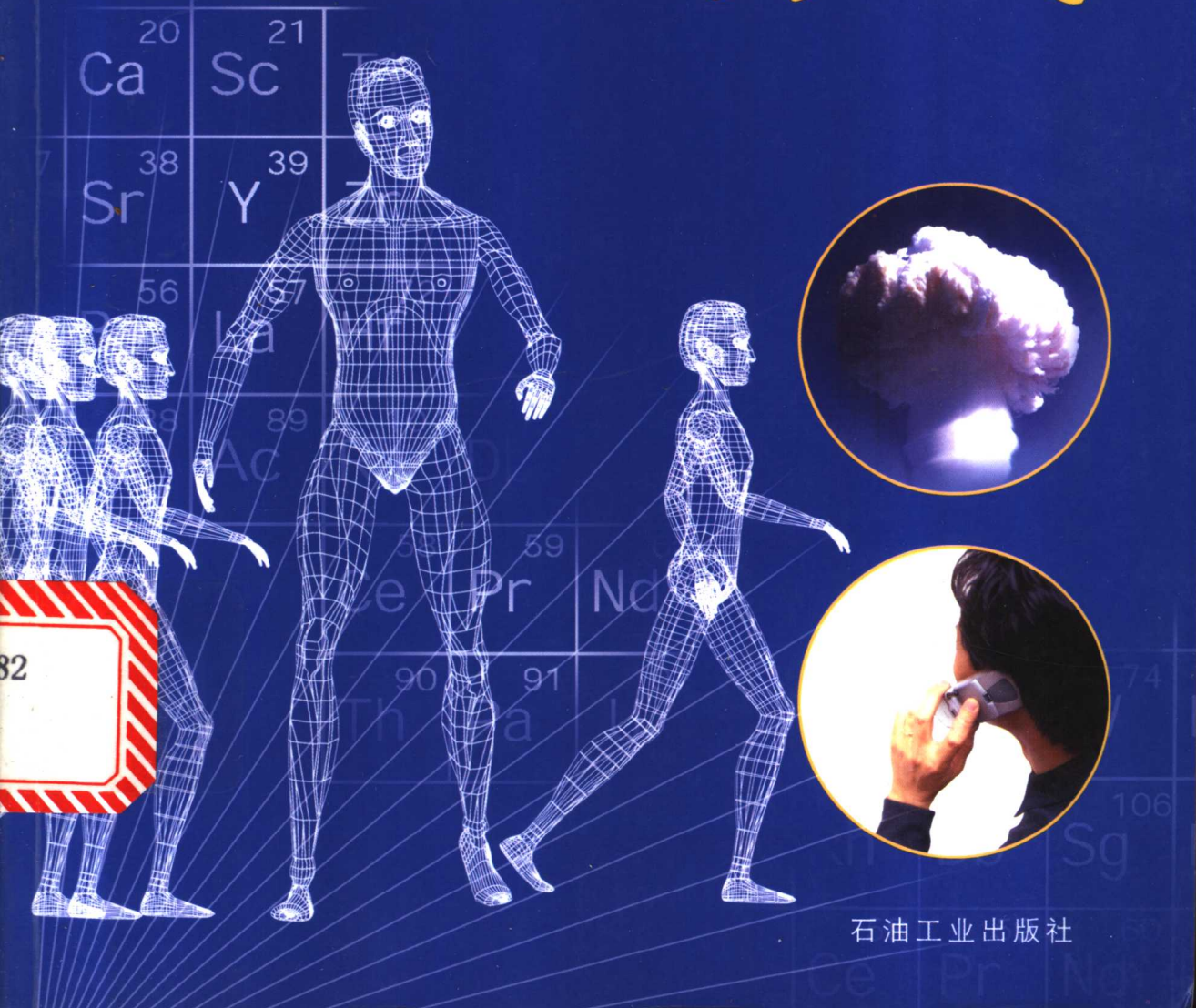


自助餐

袁之尚 张美媛 编著

核与射线

HE YU SHEXIAN



石油工业出版社

知识



自助餐

核与射线

袁之尚 张美媛 编著

石油工业出版社

《知识自助餐》丛书

编辑出版工作委员会

顾问 侯祥麟

主任 袁之尚

委员 (以姓氏笔画为序)

马 纪 王大锐 王守民 王秀亭 邓传彩

吴保国 张乙迪 张孝勤 张美媛 李俊英

邱雪峰 崔淑红

图书在版编目(CIP)数据

核与射线/袁之尚,张美媛编著.

北京:石油工业出版社,2003.1

(知识自助餐)

ISBN 7-5021-4091-3

I. 核…

II. ①袁…②张…

III. ①核理论-普及读物②放射线-普及读物

IV. 0571-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第103621号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

北京乘设伟业科技排版中心排版

北京华正印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

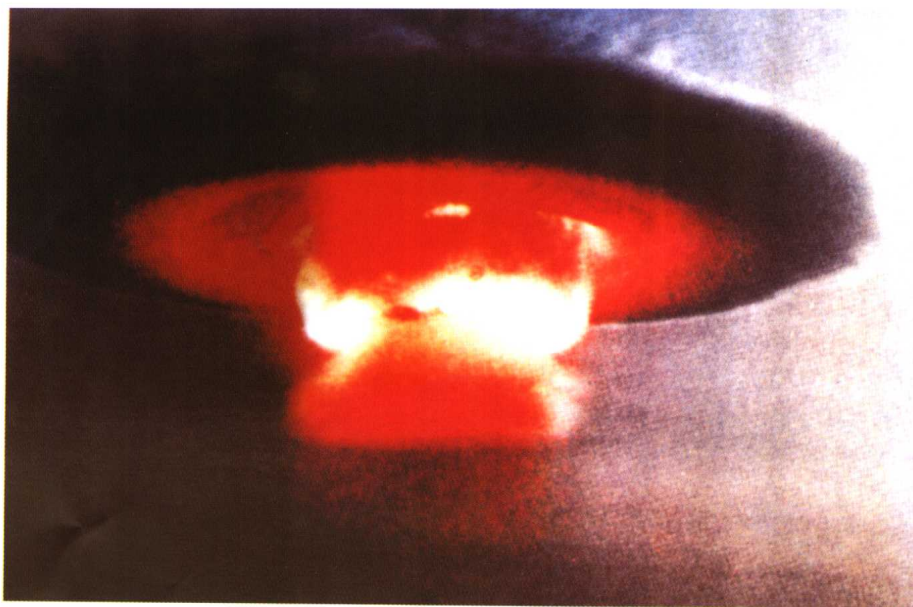
*

787×960毫米 16开本 9.25印张 2插页 138千字 印1—6000

2003年1月北京第1版 2003年1月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-4091-3/N·6

定价:15.00元



氢弹蘑菇云(中国)



大亚湾核电站



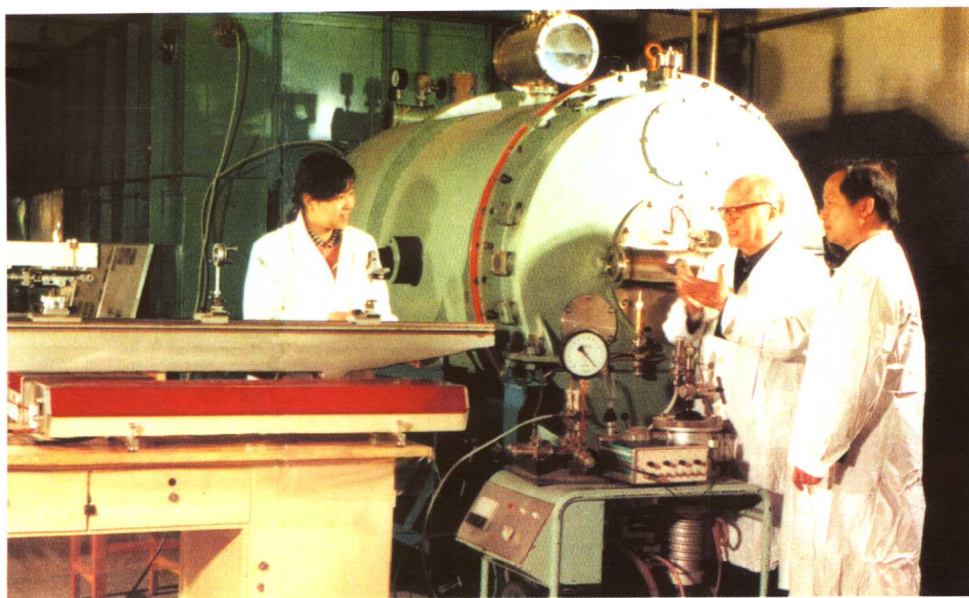
回旋加速器(中国)



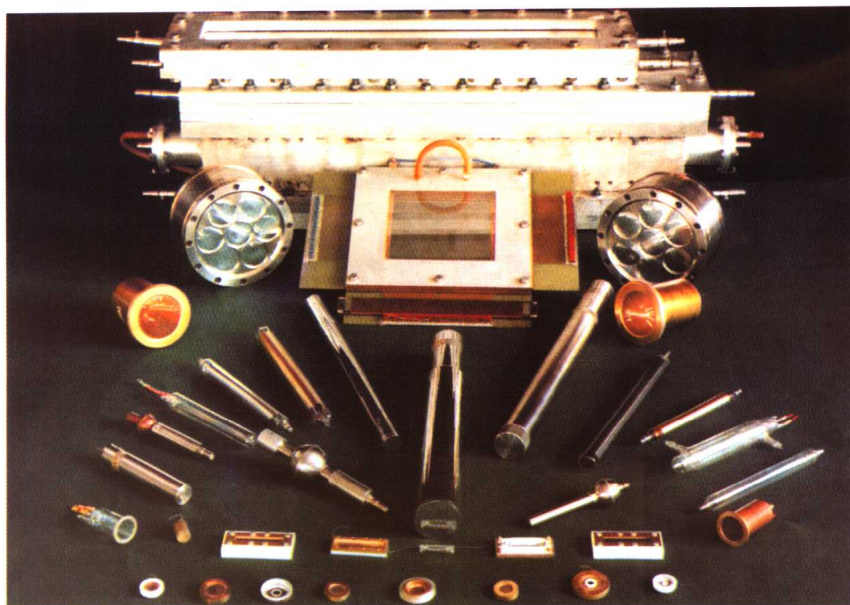
北京正负电子对撞机国家实验室



生产堆的厂房(中国)



用于激光核聚变研究的氟化氮激光器(中国)



各种核探测器



核电站的主控室(中国)

序

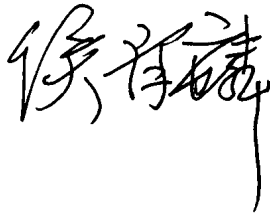
石油工业出版社组织作者编写了一套科普系列丛书,取名为《知识自助餐》丛书。其目的在于在读者、尤其是青少年中,倡导科学精神、普及科学知识、推广科学方法,这是贯彻中央关于“科教兴国”战略方针、落实《科普法》的一个实际行动,是一件十分有意义的事情。

当今,人类社会已经跨入 21 世纪,科学技术迅猛发展,社会进步日新月异,生活在这个“知识大爆炸”时代的青少年是祖国未来的建设者,也是中华民族的希望,让他们全方位了解科学知识,提高科学素养,无论是对立业兴邦还是造福人类,都具有十分重要的意义,这也是科技工作者责无旁贷的事。

这套系列丛书涉及了天文、地学、能源、气象、生命科学、电脑、核与射线等科学领域,从中选出若干具有探索性的科技话题,采用深入浅出、平直通达的表达方式,用朴实无华的语言,图文并茂的形式,将深奥的科学理论融入到有趣的故事或阐述中,对于求知若渴的青少年朋友来说,无疑是一部很好的科普读物。

本套系列丛书的作者们都是在科技领域长期从事研究和实践的专家、教育学和学者,他们认真负责地撰写了这套丛书,不仅把自己多年积累的学识传递给读者,而且把研究问题的观点和方法也传授给读者。希望这套系列丛书的广大读者尤其是青少年读者能从中获得裨益与启迪,以有助于提高科学文化素质,不断求索,更好地为祖国现代化建设和人类社会的进步建功立业。

中国科学院
中国工程院 资深院士



2003 年 1 月

前 言

昨天我们刚刚别去20世纪,今天迎来了公元纪年的第三个千年。在科学的田园中,刚过去的世纪是个成果辉煌的世纪,科学技术的发展速度超过过去数千年人类对自然的探索进程。人们的视野在宏观和微观两个方向空前扩大,我们不仅认识了所处的太阳系,而且也认识了直径约有十万光年的银河系,甚至延伸到100亿光年之外的宇宙;人们洞察物质微观结构的能力亦迈出长足,从发现了尺度只有 10^{-14} 米的原子核到大小为 10^{-16} 米的粒子。在这一世纪中,科学技术的丰硕果实极大地促进了社会生产力的发展,深刻地改变了社会的面貌,同时人类的观念也发生了革命性的变化。

但世界无尽,人的认识也无穷,科学是一本永远写不完的故事。过去的世纪既给我们留下丰厚的财产,也给我们留下了许多重大的科学技术课题、难题和未解之谜。诸如确证“黑洞”的存在,寻找宇宙中的反物质,寻找地外生命和外星文明,实现旅居其他星球,控制大气运动,开发海洋,维持地球的生态平衡,揭示生命的秘密,攻克癌症和艾滋病,开发新能源,电脑能否代替人脑?研制高度智慧的机器人,深入研究粒子世界,等等。所有这一切疑难,有的目标已经在望,有许多正在进展中,有些正处于实现突破的前夜,有的可能要等待更长的岁月。但认识和攻克它们是历史赋予我们的使命,解决和探求这些问题的重任自然地落到代表新世纪和主宰新世纪的青少年朋友们身上。

我们这套《知识自助餐》系列丛书辑选了天文、地学、能源、气象、生命科学、电脑、核与射线等若干个学科的内容,广泛地涉猎了当代科技的诸多疑难和未知。作者以科学的、严肃的态度阐明本学科的发展,浓墨重彩地描述了它的现状,高屋建瓴地展望了它们的未来,提出了许多需进一步探索的、诱人的未知问题。每一学科为一分册,在结构上,它们各自从本学科的众多知识点中选出若干具有代表性的、意义重大的、探索性的话题,以若干个相对独立而彼此之间有内在联系的题目来分别进行论述,这些题目好比一颗颗悦目的珍珠,而一根无形的线又将它们串联起来形成一条美丽的项链。它们能使读者对本学科的主要内容及前沿面貌建立较完

整的概念。因此本丛书具有知识性、科学性、前瞻性、趣味性和通俗性等特色；在风格上，采用深入浅出、图文并茂、平直通达的表达方式，将深刻的科学理论融入到有趣的故事或阐述中。

我们编辑《知识自助餐》系列丛书的目的在于使渴求求知的青少年朋友们不仅能从中获得新知，扩展视野和开拓思维，而且能从中受到科学精神、科学思想、科学态度和科学方法的熏陶和培养，增强求知的欲望和探索未知的情趣，从而提高自己在科学上的修养和素质。我们也希望本套丛书能在消除少数人的愚昧无知、破除某些人头脑中的封建迷信，揭露当今社会中还有某些市场的伪科学和打着科学旗号的种种骗局中起到一定的作用。

本丛书的作者们都是在各自的领域长期从事探索、研究和实践的专家、教育家和学者，他们以辛勤的劳动、认真负责的精神撰写出这套丛书，其中每一行、每一页都渗透着他们的汗水和心血。他们不但传授知识，还传授看问题的观点和方法。读者如果从这套丛书中得益，受到启发和启迪，哪怕是或多或少的收获，都将使他们感到欣慰。

需要说明，由于我们知识水平和视角的局限，特别是有关正在研究和探索中的问题更无定论。因此书中的不足、缺陷乃至错误之处敬请读者们不吝赐教，据此我们将作进一步改进，以期将以后的编选工作做得更为出色。

编 者

2002年12月

目 录

 原子并非最小颗粒.....	(1)
 震惊世界的发现.....	(1)
 原子也有“核”.....	(2)
 原子的能级.....	(4)
 原子核的表征.....	(5)
 原子中电子的分布.....	(6)
 粒子轰开核堡垒.....	(8)
 原子核也能打破.....	(8)
 核力.....	(10)
 原子核的不同称谓.....	(11)
 原子核可变,“点石成金”可行.....	(14)
 古代炼金术士的梦.....	(14)
 原子核的衰变.....	(15)
 核反应——现代“炼金术”.....	(19)
 裂变→原子弹、核电站.....	(21)
 质—能相当.....	(21)
 为什么 $1+1<2$?	(22)
 如何释放核能?	(23)
 核裂变与链式反应.....	(25)
 曼哈顿工程.....	(27)
 原子弹的原理.....	(28)
 核电站为人类服务.....	(29)
 聚变→氢弹、人造小太阳.....	(31)
 诱人的核聚变能.....	(31)
 实现受控核聚变的方案.....	(31)

□□ 引力约束·····	(35)
□□ 惯性约束·····	(36)
□□ 磁约束·····	(42)
 射线是洪水猛兽吗? ·····	(46)
□□ 射线与人相伴·····	(46)
□□ 多种射线源·····	(47)
□□ 过量辐照有危害·····	(50)
 射线在医学上显身手·····	(53)
□□ 辐射的生物效应·····	(53)
□□ 医学诊断·····	(54)
□□ 辐射治疗·····	(56)
 射线和同位素在工业上的神通·····	(60)
□□ 放射性测井·····	(60)
□□ 示踪技术·····	(62)
□□ 消除静电·····	(66)
□□ 辐射改性·····	(67)
□□ 射线照相·····	(68)
 射线之花在农业上盛开·····	(69)
□□ 示踪术用于农业研究·····	(69)
□□ 辐射育种和增产·····	(70)
□□ 辐射防治病虫害·····	(71)
□□ 辐射消毒和保鲜·····	(72)
 科技领域的同位素和射线·····	(74)
□□ 核电池·····	(74)
□□ 同位素光源·····	(76)
□□ “核时钟”·····	(77)
 同位素分离技术种种·····	(81)
□□ 为何要分离同位素? ·····	(81)
□□ 质谱分离法·····	(82)

□ 气体扩散法·····	(83)
□ 离心分离法·····	(85)
□ 重水的分离·····	(86)
📖 探测射线的“眼睛”·····	(90)
□ 认识射线的“眼睛”·····	(90)
□ 电离室·····	(91)
□ 正比计数器·····	(92)
□ 闪烁计数器·····	(93)
□ 半导体探测器·····	(96)
□ 中子探测器·····	(99)
□ 云室·····	(99)
□ 核乳胶·····	(102)
□ 气泡室·····	(103)
📖 使粒子腾飞的加速器·····	(106)
□ 加速器是什么? ·····	(106)
□ 带电粒子在电、磁场中的行为·····	(106)
□ 加速器的种类和基本结构·····	(108)
□ 离子源·····	(109)
□ 静电加速器·····	(112)
□ 直线加速器·····	(113)
□ 回旋加速器·····	(116)
□ 电子感应加速器·····	(119)
□ 对撞机·····	(121)
□ 加速器前途广阔·····	(123)
📖 物质结构更深层次的探查·····	(125)
□ 物质结构的又一层次·····	(125)
□ 粒子的特性和行为·····	(126)
□ 粒子的分类·····	(133)
□ 禁闭的夸克·····	(134)

原子并非最小颗粒

震惊世界的发现

在科学史上一段相当长的时间内,“原子是构成物质的最小微粒”的观念被当成了科学真理,可就在19世纪末的最后几年里,科学界的三大发现震惊得物理学家们目瞪口呆,他们无法解释“物质的最小颗粒”里为什么还有其他的東西跑出来。所谓三大发现,那就是X射线、放射性和电子。特别是,实验上测量出电子是比原子小得多的带电粒子,而且它还是各种原子的共同成分,由此推断原子内部必定有结构。可是原子是怎样组成的呢?根据当时掌握的有限的事实,科学家们开始为原子画像了——他们提出了种种原子模型,其中比较有名的是汤姆逊的“西瓜模型”以及后来卢瑟福提出的“核式模型”。英国科学家汤姆逊在发现了电子后分析,在通常情况下,原子是电中性的,现在知道了原子中可以放出带负电的电子,那么原子中还一定存在带正电的部分,只有这样才能保持正、负电荷的中和,即保持原子的电中性。另外,电子是比原子小得多的粒子,那么原子中带有正电荷的部分一定占有原子的绝大部分质量。本着这些想法,汤姆逊认为原子的结构可能像西瓜,其内部均匀地分布着带正电的主体部分——瓜瓤,在主体部分中又嵌入了若干个电子——瓜子。这样正、负电荷中和,所以原子呈电中性。西瓜模型在一段时间内得到人们的认可,因为它能解释若干微观世界的某些现象。但是新的实验现象面前,西瓜模型不能给人以有说服力的答案,这时,人们感到有必要建立新的更符合实际的原子模型来取而代之。



原子也有“核”

确定正确的原子结构模型的主要人物，是英国的物理学家卢瑟福。人们要认识一种事物往往需要进入它的内部或者是打破它。例如，要知道梨子的滋味，就要尝一尝它；要想知道一部机器的结构，就要将它拆开；要了解人体的构造，就要进行人体解剖。想认识原子，应如法炮制。但是原子非常小，它们的平均半径是 10^{-8} 厘米，无法使用任何普通的刀、锯等切割工具来切开它们。卢瑟福在做放射性实验时，认识到 α 粒子的能量很高，它又是微观粒子，他想能否用 α 粒子打入原子中去，看看能打出什么结果来。于是，他和他的助手一起做了有名的大角 α 散射实验。那是用 α 粒子打在很薄的金箔上，再用荧光屏观测 α 粒子穿过金箔后打在屏上的位置。他们在实验中发现，大多数 α 粒子都径直穿过金箔打到荧光屏上，但有少数 α 粒子被散射到很大的角度去，有的几乎被弹了回来(图1)，这样大角度的散射使他们颇感意外。认真仔细地分析实验之后，一种新的原子图像在卢瑟福的大脑中出现了。他想，原子中的物质大概不像自己的老师汤姆逊描绘的那样是均匀分布的，否则绝不会有 α 粒子的大角散射现象发生。由此他大胆地、创造性地提出了原子的“核式模型”(图2)：原子是很小的颗粒，但它也有构造。它的中心有一个非常小的带正电的原子核，其半径大概只有 10^{-12} 厘米，整个原子的质量都差不多集中在这个小原子核上。在核的周围有若干个电子，它们围绕着中央的原子核不停地旋转。原子核所带的正电荷数正好与绕它旋转的电子数相等，所以整个原子表现为电中性。

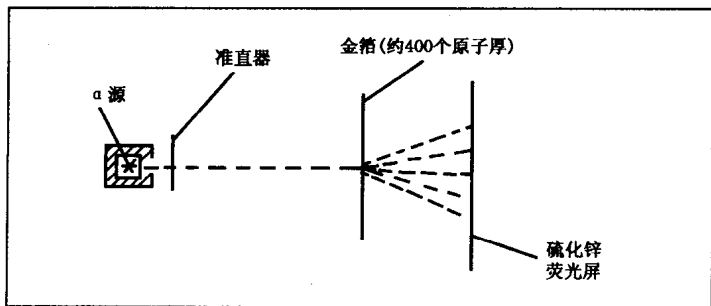


图1 α 散射实验

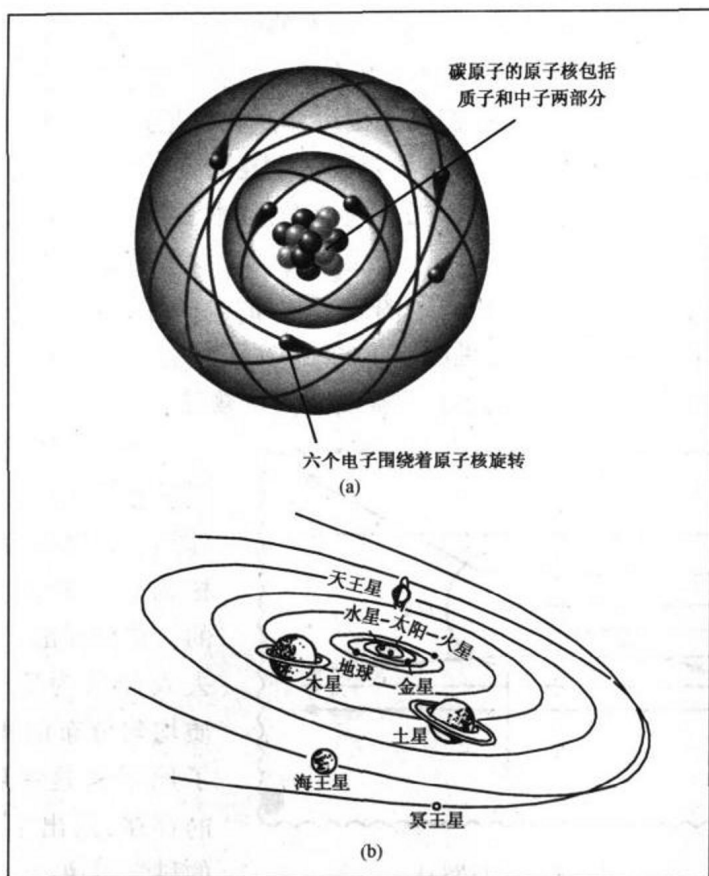


图2 原子的核式模型
(a)碳原子的核结构;(b)太阳系

原子的这一形象与太阳系颇为相似，所以人们又称原子的“核式模型”为“微型太阳系模型”。不过，原子的这种结构与太阳系只是“形似”而并非“神似”，其内部物质运动与太阳系中星体的运动迥然不同。比如说，绕原子核运动着的电子，事实上并不像太阳系中的行星那样每个都有确定的运行轨道，且在确定的时刻它们在空间都有确定的位置。天文学家们现在能准确地计算出日月食以及许多天象发生的时间，就是行星及其他星体运动特征的反映。可是电子在原子核周围的行踪却不是这样，它们像幽灵一样，一会儿在这里



出现,一会儿又在那里出现。在某一确定的时刻,只能知道它在某处出现的“几率”(机会),却不能确定它究竟在哪里,它们在核周围构成了“电子云”。假如电子能够发光,我们又能用一台照相机拍摄最简单的氢原子核周围的电子云的话,就会看到这种“云”是发亮的。它有时呈球形,有时又呈椭球形或8字形,有的地方云亮一些,有的地方云暗一些,亮的地方电子出现的次数多,而暗的地方电子出现的次数少。这些就是核周围的电子的运动特性。平时人们所画的原子图像,其中的电子都沿着一条条轨道转,那只是为了粗略地、形象地说明原子的结构而已。宏观世界与微观世界的运动有着本质的区别,它们各自遵循着自身的规律。

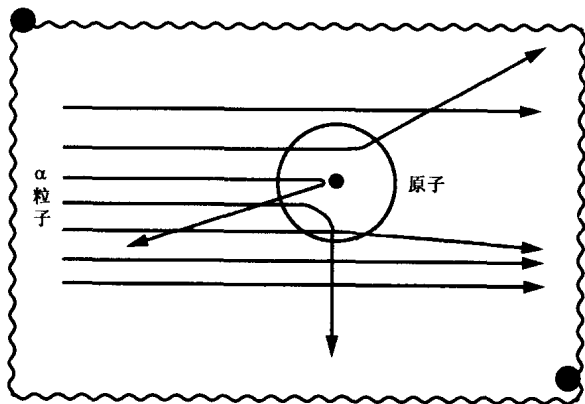


图3 α 大角散射的解释

原子的核式模型成功地解释了 α 大角散射实验(图3)。它也被后来的许多核物理实验证实是正确的。它的提出,改变了过去人们认为原子中的物质均匀分布的概念,揭示了原子核这一物质层次的存在,给出了原子结构的科学图像。

原子的能级

卢瑟福在提出原子的核式模型时,有一个理论问题他未能解决,从而使人们对这一模型心存疑虑。根据核式模型,原子中的正电荷和质量都集中在中心位置的原子核上,由库仑定律可知,电荷间的相互作用是“同性相斥,异性相吸”的,那么带负电的核外电子为什么不为核所吸引而落到核上去呢?如果说那是因电子在绕核旋转,原子核对它的吸引力变成为它们作圆周运动的向心力了,可是这样解释还是站不住脚。因为经典电磁理论告诉人们,所有作加速运动的电荷都要向外辐射电磁波而损失能量。绕核作圆周运动的电子具有向心加速度,它也应该不断向外辐射能量,速度逐渐减低,最后落到原子核上。这样一来,核外电子都将逃脱不了被原子核