



前沿科学探索书系

物质的最深处

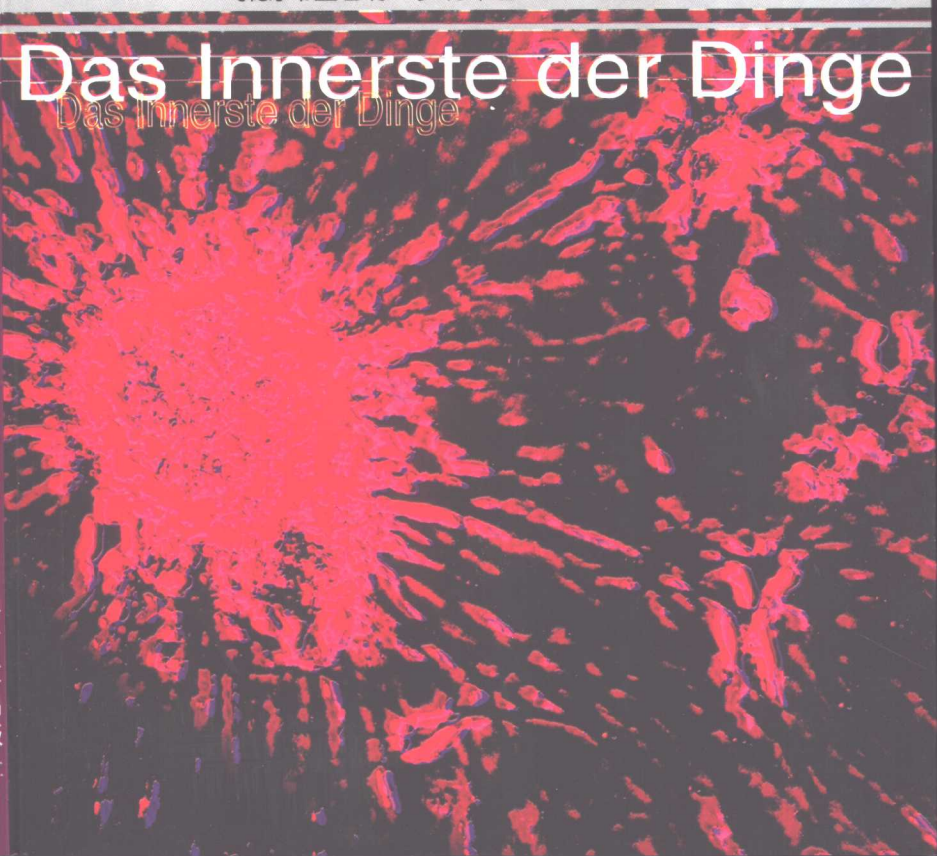
核物理学导引

百家出版社

[德] 布里吉特·罗特莱因 著 张克芸 译

Das Innerste der Dinge

Das Innerste der Dinge



物质的最深处

核物理学导引

〔德〕布里吉特·罗特莱因 著
张克芸 译

百 家 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

物质的最深处:核物理学导引/(德)罗特莱因(Rothlein, B.)著;张克芸译. —上海:百家出版社, 2001. 12

(前沿科学探索书系/(德)本钦格尔(Benzinger, O.)主编)

ISBN 7-80656-418-7

I. 物... II. ① 罗... ② 张... III. 核物理学—普及读物 IV. 0571-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 063495 号

© 1998, resp. 1999 Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG, Munich/Germany

© for the Chinese edition: 2001 Bai Jia Publishing House

版权所有,盗版必究

登 记 号 图字:09-2000-276 号

丛 书 名 前沿科学探索书系

书 名 物质的最深处——核物理学导引

编 著 者 [德]布里吉特·罗特莱因

译 者 张克芸

责任编辑 唐少波 丁翔华

封面设计 张 宁 梁业礼

出版发行 百家出版社(上海天钥桥路 180 弄 2 号)

经 销 全国新华书店

印 刷 商务印书馆上海印刷股份有限公司

开 本 787×1092 毫米 1/32

印 张 3.25 插页 2

字 数 59000

版 次 2001 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

ISBN 7-80656-418-7/G·595

定 价 10.00 元

导 言

仅仅是1996年和1997年的自然科学及技术出版物的数量,就超过了自有文字传播以来到第二次世界大战为止,世界上所有学者的相关著述的总和。如此大的知识量不仅使外行望而却步,就连专家也很难了解自身学科的全貌。在这种背景下,我们该如何确认哪些知识是有价值的,它们应怎样发展,会对我们产生什么影响?就显得尤为重要。因为正是自然科学与我们生活的各个方面息息相关,即使我们毫无察觉,但我们却无时无刻地要与它打交道。

本丛书旨在作为茫茫知识海洋中的航标,导引我们遨游自然科学和技术研究的最为重要的专业领域;文笔通俗易懂,重点放在基础性、关键性的知识和理论,并且自始至终刻意地省略了艰深的细节问题。

担纲本丛书写作的是一些杰出的科普作家,他们的日常工作就是用深入浅出的语言向人们讲解复杂深奥的科技内容。我感谢他们每个人,感谢他们对这一项目表现出来的自告奋勇精神和富有创造性的合作。

本书涉及的是有关原子以及亚原子的研究工作。布里吉特·罗特莱因(Britte Röthlein)以生动形象的方式追述了威廉·伦琴(Wilhelm Röntgen)、欧内斯特·卢瑟福



(Ernest Rutherford)、玛丽·居里(Marie Curie)和其他科学家的早期实验,19世纪与20世纪之交时,这些实验的结果与经典物理学完全相悖。作者一直讲述到最现代化的反应堆技术和大型粒子加速器,是它们引领我们逐渐深入遥远的微观世界。本书的读者还有机会进一步地了解,核物理学辉煌时期最具代表性的科学家的主要实验及其理论,这些科学家们包括:马克斯·普朗克(Max Planck)、阿尔伯特·爱因斯坦(Albert Einstein)、尼尔斯·玻尔(Niels Bohr)、维尔纳·海森堡(Werner Heisenberg)、理查德·费因曼(Richard Feynman)、利斯·迈特纳(Lise Meitner)和奥托·哈恩(Otto Hahn)。

此外,作者还探讨了《应用核物理学》(angewandte Atomphysik)的基础方法与应用,特别是放射性技术的应用:从核聚变氢弹到最先进的计算机层析X射线影屏照相术(Computer-Tomographen)。

奥拉夫·本钦格尔

目 录

导言	1
----------	---

天才的发现	1
-------------	---

窥探物质的最深处	6
----------------	---

一个影响重大的偶然发现	8
-------------------	---

神秘的射线	16
-------------	----

原子研究	21
------------	----

原子核力的发现	40
---------------	----

第一次铀裂变	44
--------------	----

原子的粒子动物园	49
----------------	----

元素的形成	60
-------------	----

放射性的用途和危害	67
-----------------	----

附录

术语释义	90
------------	----

其他文献	96
------------	----

天才的发现

正如他自己所说，这是他所碰到过的最不可思议的事。欧内斯特·卢瑟福(Ernest Rutherford)，这位大名鼎鼎的物理学家，上一年度诺贝尔奖的得主，生平第一次一筹莫展。这位先生素来自信，更确切地说，是以声音洪亮、嗓门很大而闻名。关于他的性格，乔治·加莫夫(George Gamow)于1965年在他的《物理学传》一书中，以一首小诗作过如下刻画：

“这个英俊魁梧的贵族，
我们所认识的卢瑟福。
来自新西兰的农家子，
从未丧失他的泥土气；
他嗓门高亢，笑声朗朗，
穿透重门四处回荡。
每当他火冒三丈，
说的话可不和畅！”

他的大嗓门甚至干扰了对震颤和声波部分反应敏感的物理实验。由于没人敢对尊严的研究所主任说这个，他们就做了个灯光牌挂到天花板上。牌子上写着：“务请小声说话。”这招是否奏效就不得而知了。

故事发生在1909年。在曼彻斯特大学的实验室里，



38 岁的欧内斯特·卢瑟福委托一位名叫欧内斯特·马斯登(Ernest Marsden)的年轻人用 α 粒子进行散射实验。这种在几年前才被发现的粒子,是由某种放射性物质释放出来的,比如镭。数年来卢瑟福一直在进行一项研究,想通过周密计划、精心实施的实验来弄清楚粒子的特性。用同今天相比说得上是原始的器械和测量仪器来做这些,无疑是艰难的冒险行为,这要许多耐心,毅力和直觉。不过至少人们在 1909 年就已知道,所谓的 α 射线是由带正电的粒子组成。此外卢瑟福还和他的同事们测量出,跟其他的粒子如电子相比这种粒子相当重。因此卢瑟福形象地把它设想为小型导弹,由于质量相对较大,速度很高而具有了穿透力。测量结果也同样表明,它们以大约每秒 10 000 公里的速度在空气里飞驰。

眼下马斯登根据上司的指示进行以下实验:他用这种 α 粒子对着一片金箔射击并且测量这些粒子是否会以及如何从它们直线轨道上偏转、散射。人们估计,粒子在穿透金箔时会同金属原子相撞并因此发生微小的偏差。这可以用实验来证实。先用一个窄窄的分瓣光圈将粒子聚集成束,然后拿它射穿金箔,接着在涂有荧光的屏幕上接收射线。 α 粒子在屏幕上出现的地方,荧光物质会瞬间发亮。观察屏幕的研究人员就能够把它记录下来,数点数。如粒子在金箔里发生轻微偏转,屏幕上形成的缝隙就不清晰,而是有点模糊不清。

除了这个已经估计到的结果外还出现了另一个现象,令马斯登和他的导师始料未及:有些为数不多的粒

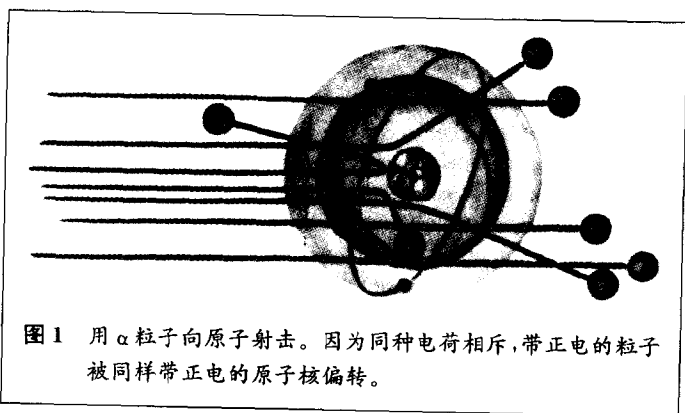


图1 用 α 粒子向原子射击。因为同种电荷相斥,带正电的粒子被同样带正电的原子核偏转。

子,它们在屏幕上不是紧靠缝隙图像出现,而是远离,有些穿过金箔甚至发生90度以及更大的偏转。此外,使用铂箔时射出的每8 000个 α 粒子中就有一个被弹回来。“这真是不可思议,”卢瑟福后来在一次讲课时说道:“就好像人们用手枪冲着一张薄纸射击,子弹却被反弹回来击中了手枪。”

要理解他们对这个始料未及的结果的惊奇,人们必须了解上个世纪之交时物理学家对原子的设想:原子是在固体里一个挨一个紧紧挤在一起类似台球珠子的小圆球。人们确信,绝大部分的空间为原子所充斥,只有当一个物体,如 α 粒子高速度运动时才可能穿透原子箔,而它自己则轻微偏转。

1903年物理学家菲利浦·莱纳德(Philipp Lenard)进一步完善了这种设想。他在多次实验中证实,高速电子事实上能够不受阻碍地穿过箔纸。他由此推导出原子



的大部分应是空的,并假定原子是由一个负电子和一个带正电的粒子组成的电子对组成。他把这个电子对称作“狄那米德”(Dynamiden)。这种“狄那米德”只应占据很小的空间部分,其余部分全是空的。

电子的发现者,约瑟夫·约翰·汤姆生(Joseph John Thomson)也在1910年前思考过原子的构成。他的看法与莱纳德相反:原子是由一个带正电的圆球组成,为平衡正电荷负电子被包入其中。他认为,它们在球体内呈同心圆规则分布。

这两种模式虽然可以解释 α 粒子为什么在穿过箔纸时,即通过多次小的碰撞后会发生轻微偏转,然而它们仍未能对有些粒子被反弹回来的现象作出解释。两年来卢瑟福苦苦思索着这个结果。作为经验丰富的实验者他不相信,这同测量错误或污染影响有关。1911年初,看起来他似乎找到谜底了。他的同事汉斯·盖革(Hans Geiger)——他因发明了盖革计数器而出名——后来讲述道:“一天卢瑟福来到我的房间,显然他的心情很不错,他说,他现在知道原子是什么样子以及该如何解释 α 粒子发生的大偏差。”他得出结论, α 粒子每次大的偏差都可以归因于一次碰撞,并且一定是同一个很小很重的微粒发生的碰撞。因此原子不是由中等密度的球体组成,而一定包含着一个中心微粒,这个微粒较之原子的整个体积来说很小,可实际上却集中了原子的全部质量。此外,这个后来被称作原子核的中心微粒还带有电荷,在重元素中是元电荷的若干倍。然而该电荷是正还是负,仅凭



上述的测量结果卢瑟福还不能作出判断,因为测量结果既可以在中心微粒是正电子也可以是在负电子的情况下得出。因为原子向外部显示出中性,其带有电荷的核心必然由一个带相反电荷的外壳所包围。

1911年,卢瑟福在曼彻斯特给文学界和哲学界做报告,其中阐述了原子结构的变革性的发现。两个月后他把这个发现刊登在《物理学杂志》上。尽管当时公众非常关注如伦琴射线、放射现象那样的自然科学发现,卢瑟福的理论起初也只引起了业内人士的重视。即便他本人大概开头也未完全意识到他这个发现的重大意义。1913年他出版了《放射性物质及其放射》一书,书中他再次简短地介绍了他的原子模型理论,并第一次使用了“原子核”这个词。在此他明白无误地判断原子核带正电,由带负电的电子包围着,这一设想后来被证实。

以今天的眼光看来,卢瑟福的发现(即原子由核和壳组成,其质量集中于带正电的核中)是人类迈向现代物理途中最重要的一个里程碑。正是这个发现才使人们有可能了解元素的结构,掌握放射性衰变,破解基本的自然力,并将其进一步用于研究以及技术运用。欧内斯特·卢瑟福本人后来预感到他的思想的重要性。1932年他在致汉斯·盖革的信中写道:“那是在曼彻斯特的美好时光,我们做出来的成绩比我们意识到的还要大。”

窥探物质的最深处

“你见到过一个原子了吗？”恩斯特·马赫(Ernst Mach)，这位令人生畏的物理学教授在 19 世纪末还冲着每个胆敢谈论原子的人发难。原则上，他反对用理论机械模型来解释自然现象的倾向。而在当时尤其深得化学家喜爱的原子论更被他视作眼中钉。

马赫倘若能到今天科学家的实验室瞧一瞧的话，他定会眼界大开。在 90 年代(属于某世纪不作特别说明的，指 20 世纪，下同。——编者注)，人们已经成功地运用光栅隧道显微镜(Raster-Tunnelmikroskop)和光栅力学显微镜(Raster-Kraftmikroskop)，两项均为德国诺贝尔奖获得者盖尔德·宾尼希的发明，对原子进行真实细微的观察并令其显形。

早在公元前 400 年，希腊哲学家德谟克利特就提出了物质由原子构成的猜想。他试图以此解释世界上现象的多样性。他写道：“按照通常的方式看来，它们有颜色、或甜、或苦之分，可事实上只存在原子和空间。”数百年来，学者们对原子问题几乎无动于衷。人们忙于研究如场、以太(Äther)、流体以及诸如此类的东西。只有 19 世纪时化学在科学上愈显其重要性后，人们思考的重心才又回到这个问题上来，即是否真有原子存在。这种看法



越来越被肯定,因为在科学的各个领域已经得到实验证明,物质一定有其最小的组成单位。于是人们发现,特定的元素总是按整个数量的比例彼此化合而成,比如 1 升氧和 2 升氢组成 1 升水蒸气。就是对重量比例而言也存在这些类似的数字游戏。这可以解释为,原子以精确的比例关系化合在一起。人们还把原子的这种化合成果叫做“分子”。此外,实验使人们设想,在同体积的每种气体里包含有同等数量的微粒。前提是,这些气体的温度和压力相同。这条规则后来得到证实,今天被称作“阿伏加德罗定律”。

奥地利人约翰·约瑟夫·洛施米特(Johann Joseph Loschmidt)终于第一个成功地计算出 1 升气体里所含的微粒的数量,即 2.687×10^{22} 个分子。这是个惊人的数目,它也让人想像到,原子和分子一定非常微小。

天文学家鲁道夫·基彭哈恩(Rudolf Kippenhahn)在他的《原子》一书中,以两个十分形象的例子对分子的微小及其数量的庞大作过如此描画:“人们把一杯水倒进海里,接着把地球上所有的海洋都搅匀。然后又在澳大利亚的海里舀起一杯水来,这杯水中就有先前倒进海里的水的 200 个左右的分子。”第二个例子:“当公元前 44 年盖朱斯·朱利叶斯·恺撒(Gaius Julius Gäsar),在被谋杀前说出他的名句‘啊,我的儿子布鲁图斯’之时,他因此喷出了约四分之一升的空气。当时的分子和大气层相混合。我们每两次呼吸中就吸入了恺撒临终遗言的一个分子。”



一个影响重大的偶然发现

1869年,俄国人第米特伊·伊瓦诺维奇·门捷列夫(Dimitrij Iwanowitsch Mendelejew)和德国人尤利乌斯·洛塔尔·迈耶尔(Julius Lothar Meyer)彼此独立地发明了化学元素周期表(参看书后附录)。这张表把到当时为止已知的化学元素按照一定的标准排列起来。其中一个标准就是原子量,此外还有关于元素的特性和物理性质方面的知识。因此人们认识到,氟、氯、溴、碘显示出相似的特性。相应的特性适合于我们今天称作“惰性气体”的元素。门捷列夫和迈耶尔将性质相似的元素混合在一起,并且把它们按序数(质子数)水平排列。首先,门捷列夫可以从他的图表出发作出理论性的推断,部分推断在后来才被证实。他在元素周期表上发现了空缺,并预言正好适合这个空位的具有特定性质的元素。他为这些元素发明了好听的名字:类硼、类铝、类硅。事实上他没能亲身经历,在1879年至1886年间,那些被他预言的元素被一个个找到。类硼在今天叫作钪,类铝叫作镓,类硅叫作锗。元素周期表作为顺序表被证明是可靠的。

但是,当时人们对隐藏在图表后面的真实顺序仍然一无所知。没有一个参与者想得到:原子由核和壳组成,它的质量取决于核的重量,而它的性质取决于壳,并且这两个特点都体现在周期表中。直到几十年后,一些知名研究人员才得以揭示原子的秘密。人们必须看到这种状



况：当时有把握的只是，原子小得令人无法看见。如果人们着手研究它的特性的话，就不得不把它看做“黑匣子”（Black Box）——把它当做里面可能有原子的黑匣子来看待。

进一步的详情，人们只能通过黑匣子里或多或少的盲目摸索来得知。因此，这时就需要精心制定出实验计划来帮助人们打开这个名叫物质的黑匣子。

首先，自然界帮了研究者的大忙。19 世纪末一些现象的发现提供了源自物质深处的信息。那就是一些物质发出的不同类型的射线。

这一切始于 1895 年的一次偶然发现。在维尔兹堡大学的实验室里，威廉·康拉德·伦琴（Wilhelm Conrad Röntgen），用各种放电管包上黑纸做实验。接通高压电后他注意到临近的写字台上闪过一星绿色荧光。可是当他切断电子管后，亮光又转瞬即逝。伦琴的贡献在于，他对这个出乎意料的现象及其原因穷根究底。很快他就确定，亮光是由碰巧放在那儿的发荧光的晶体发出的。他猜测可能是所谓的阳极射线从管子里出来击中晶体从而引发闪光。

眼下伦琴把书本放在放电管和晶体之间，试图挡住这些射线。这时他吃惊地发现晶体照样开始发光。这一定是另一种射线，因为管子里出来的电子不可能穿透书本。于是伦琴有系统地进行实验，看哪些物质让这种新的射线（他将之称为 X 射线）通过，哪些将它挡住。

这种射线能穿透木材、玻璃、象牙、硬橡胶和别的较



轻的物质。只有铅和铂才能挡住它。此外，伦琴还发现射线使胶片变黑。他开始拿各种东西用射线照射，并拍成照片。他妻子贝尔塔(Bertha)的手也不例外。这张于1895年12月22日拍摄的、早已举世闻名的照片，清晰地显现出指骨和婚戒。

伦琴在他1895年12月28日发表的报告中写道，如果让一个较大的“鲁门”阔感应线的放电装置通过“希托尔夫”真空管或一个抽成真空的“勒纳德”电子管、“克鲁克思”管等类似的仪器，把电子管用薄薄的黑色硬纸片裹紧，将一个上了亚铂氰化钡涂层的纸屏移近仪器，人们就会在黑暗的屋子里看到纸屏在每次放电过程中发出亮光或荧光，不管是把屏幕上有涂层的一面还是另一面朝向放电仪器结果都一样。荧光甚至可在距离仪器两米远处看到。

威廉·康拉德·伦琴，这位1901年的物理学诺贝尔奖获得者，自认为被他发现的射线是以太波。今天我们知道，伦琴射线——的命名缘起1896年1月的一次报告会——同无线电、光或紫外线一样是电磁波。不过，这点直到1912年才由两个慕尼黑的研究者所证实。

1896年1月20日，在巴黎科学院的大会上，法国学者昂立·亨利·贝克勒尔(Antoine Henri Becquerel)第一次听说了伦琴发现的新射线。贝克勒尔是荧光研究领域公认的专家，数年来一直同他父亲进行这方面的实验。如今他的好奇心被唤醒了。他把一片未感光的胶片包在不透光的黑纸里，在纸上放了一个铜十字架，并依次把他



知道的荧光物质撒在上面。然后他把这包东西每次都放到太阳下曝晒,因为荧光物质需要阳光来激活。

实验毫无结果,只有一个例外:当他把铀盐撒在纸包时,冲印出来的胶片上出现了一个十字架的阴影。据说贝克勒尔本想继续研究这一现象,并且准备了好些带铀盐的胶片。可因为天气阴沉沉的,他就把胶片放进了一个抽屉里。

在一次检测中他吃惊地发现,就在这些胶片上也出现了十字架的阴影,可他并没把它们放到阳光下晒过呀。这一定不是未知的发光辐射,而是铀一直所具备的自身的辐射。

贝克勒尔为这一现象引入了“放射性”(Radioaktivität)这个名称。他起初设想,这是与伦琴射线相似的射线。今天我们知道,事实并非如此。胶片变黑是由 β 射线引起的。

贝克勒尔立即将他的发现告诉了科学院的同事,并在1896年2月学院的论文中也对此作了报道。进一步的研究表明,这种射线不仅引发荧光使胶片变黑,还能令空气导电。这一发现同样要归功于贝克勒尔,以此为基础人们才发明了放射性射线的测量方法。

1928年,基尔大学实验物理学教授汉斯·盖革和他的助手瓦尔特·米勒(Walther Müller)在《物理学杂志》上发表了一篇不足三页的文章,文章的名字也毫不起眼:《电子计数管》。这两位研究者在报告中所写的乃是他们20年来的研究成果,这个成果后来发挥的作用几乎超过