

中学物理教程

课本和手册

6

G633.7/122

原子核

[美] 杰拉尔德·霍尔顿
F·詹姆士·卢瑟福 编
弗莱彻·G·沃森

华中师范学院物理系翻译组译

中学物理教程
课本和手册



原子核

[美] 杰拉尔德·霍尔顿
F·詹姆士·卢瑟福 编
弗莱彻·G·沃森

华中师范学院物理系翻译组 译
李祖培 校订

文化教育出版社

The Project Physics Course

Text and Handbook 6

The Neucleus

Gerald Holton

F. James Rutherford

Fletcher G. Watson

HOLT, RINEHART and WINSTON, Inc.

New York, Toronto

1970

中学物理教程

课本和手册 6

原子核

[美] 杰拉尔德·霍尔顿

F·詹姆斯·卢瑟福 编

弗莱彻·G·沃森

华中师范学院物理系翻译组 译

李祖培 校订

*

文化教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京市联华印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 6 字数 142,000

1986年1月第1版 1987年2月第1次印刷

印数 1—2,000

书号 7057·089 定价 0.93元

内 容 提 要

这套中学物理教程(The Project Physics Course) 是美国有重要影响的改革教材。全书共分六册: 1. 运动的概念; 2. 天空中的运动; 3. 力学的成就; 4. 光学和电磁学; 5. 原子的模型; 6. 原子核。本书是根据第六册译出的, 书中从天然放射性现象的发现开始, 大致按照人类认识原子核结构的历史, 介绍了同位素、质子、中子、中微子等的发现, 裂变、聚变及放射性同位素的应用, 核结构模型以及核力等方面的知识。

这套教程的特点是突出最基本的概念和规律, 注意物理学与社会的联系和相互影响, 包括了相当丰富的物理学史资料, 重视阐明科学研究方法和思考方法, 叙述深入浅出, 生动有趣。

本书可供中学教师、学生参考, 也可供中等文化水平的读者阅读。

目 录

| | |
|----|---|
| 序言 | 1 |
|----|---|

课 本 部 分

第二十一章 放 射 性

| | |
|---|----|
| 21.1 贝克勒耳的发现 | 3 |
| 21.2 其他放射性元素的发现 | 7 |
| 21.3 α 、 β 和 γ 射线的贯穿本领 | 11 |
| 21.4 α 、 β 和 γ 射线的电荷和质量 | 13 |
| 21.5 卢瑟福的“捕鼠笼”对 α 射线的识别 | 17 |
| 21.6 放射性变化 | 19 |
| 21.7 放射性衰变系 | 21 |
| 21.8 衰变率和半衰期 | 23 |
| 学习指导 | 30 |

第二十二章 同 位 素

| | |
|---------------------|----|
| 22.1 同位素的概念 | 40 |
| 22.2 衰变规则 | 42 |
| 22.3 铅的同位素的直接证据 | 44 |
| 22.4 阳极射线 | 45 |
| 22.5 分离同位素 | 49 |
| 22.6 核素的常用符号概述与核反应 | 51 |
| 22.7 元素的稳定同位素及其相对丰度 | 53 |
| 22.8 原子质量 | 59 |
| 学习指导 | 60 |

第二十三章 探测原子核

| | |
|----------------------|----|
| 23.1 原子核结构问题 | 64 |
| 23.2 核结构的质子-电子假说 | 64 |
| 23.3 人工嬗变的发现 | 66 |
| 23.4 中子的发现 | 70 |
| 23.5 原子核是由质子-中子构成的理论 | 76 |
| 23.6 中微子 | 78 |
| 23.7 对粒子加速器的需求 | 79 |
| 23.8 核反应 | 85 |
| 23.9 人为放射性 | 89 |
| 学习指导 | 92 |

第二十四章 核能及核力

| | |
|----------------------|-----|
| 24.1 核反应中的能量守恒 | 97 |
| 24.2 核的结合能 | 98 |
| 24.3 核结合能与稳定性 | 100 |
| 24.4 核反应中的质能平衡 | 103 |
| 24.5 核裂变的发现 | 105 |
| 24.6 核裂变的可控链式反应 | 109 |
| 24.7 核裂变释放出大量能量及其后果 | 113 |
| 24.8 核聚变 | 117 |
| 24.9 恒星中的聚变反应 | 119 |
| 24.10 核力的强度 | 121 |
| 24.11 液滴核模型 | 123 |
| 24.12 壳层模型 | 125 |
| 24.13 核物理在生物学和医学中的应用 | 126 |
| 结束语 | 129 |
| 学习指导 | 130 |

手册部分

第二十一章 放射性

| | |
|-----------------------------|-----|
| 实验 | 135 |
| 15 无序事件 | 135 |
| 46 α 和 β 粒子的射程 | 144 |
| 47 半衰期-I | 149 |
| 48 半衰期-II | 156 |
| 49 放射性示踪物 | 160 |
| 课外活动 | 166 |
| β 射线的磁偏转 | 166 |
| 测量 β 辐射的能量 | 166 |
| 一个甜食的演示 | 170 |
| 放射性的电离作用 | 170 |
| 浓度的指数衰减 | 171 |

第二十三章 探测原子核

| | |
|--------------------|-----|
| 课外活动 | 172 |
| 中子探测问题的模拟(查德威克的问题) | 172 |
| 教学影片 | 173 |
| 影片 49 与一未知质量的物体相碰撞 | 173 |

第二十四章 核能及核力

| | |
|-------------|-----|
| 课外活动 | 175 |
| 链式反应的两个模型 | 175 |
| 关于核裂变和聚变的资料 | 176 |
| 放射性的和平利用 | 176 |
| 各节后面的问题答案 | 178 |
| 学习指导问题的简明答案 | 183 |

序 言

在第五册中我们已经知道原子是由一个很小的带正电的原子核以及围绕着原子核的电子所组成。 α 粒子散射实验表明原子核的大小具有 10^{-14} 米的数量级。由于原子直径的数量级为 10^{-10} 米，因此原子核只占原子整个体积的极小部分，正如散射实验表明的那样，原子核却几乎包含了原子的全部质量。原子核的存在及其特性引起了这样一个新的问题：原子核是由更小的基元所构成的吗？如果是那样，那么这些基元又是什么呢？它们在原子核中如何排列呢？能用什么办法得到这些问题的答案呢？有哪些实验事实能帮助我们对这些问题的作出回答呢？

我们从第五册中知道研究原子特性与结构需要新的物理方法。那些能用于研究普通物体（即具有厘米或米的数量级的物体）性质的方法，不能告诉我们有关原子结构的知识。原子核仅是原子中很小的一部分，要想知道原子核中的构造，显然是很困难的。必须得到新的实验数据，必须提出新的理论把这些数据联系起来并加以说明。就这些方面来说，在本教程中学习原子核知识是我们沿着从研究很大物体到很小物体的漫长道路上迈出的又一步。在第六册中，我们将通过研究原子核来较深入地探讨物质的组成问题。

1898年发现了放射性现象，这是认识原子核的第一步，也是最重要的一步。因此，关于核物理的讨论我们将从放射性现象开始。我们将会了解到放射性现象的研究怎样导致更多的发现，怎样导致了研究方法的发展使人们得以认识原子核的存在，并且形成原子核是有结构的观念。实际上，发现原子有一个核是研究放射性现象的结果。我们将考察实验和理论之间的相互作用，以及

关于原子核概念的逐步发展。我们将讨论某些特定的实验结果是怎样导致了新的概念，而后者反过来又怎样促使人们去做一些新的实验。由于核物理是物理学一个新的分枝，它发展起来的时间相当短，这种从历史发展来学习原子核是特别有意义和有趣的。而阐明有关发现的报告和文章又很容易找到。现在研究工作仍然在继续，而且速度日益加快。核物理的进展是与现代技术密切相关的。现代技术为进一步研究提供了手段，并使某些研究得到实际应用，其中有一些已取得重大经济和政治效果。有关这方面的新闻报导几乎每天都有，作为一个公民，有义务尽可能地了解这些消息，以便有效地参与影响人们生活的决定。

现在，核技术的应用与控制常常是头版新闻。很难想象原子核的研究是同 1896 年的一次偶然发现相联系。但是，正是这一发现导致了我們称之为核物理的出现，我们正是要从这一发现开始。

课本部分

第二十一章 放射性

21.1 贝克勒耳的发现

物理学的传奇性的篇章是在 1896 年初由法国物理学家亨利·贝克勒耳(Henri Becquerel)发现的称为“放射性”现象开始的。这又一起“意外事件”，说明训练有素和有准备的人遇到意外的发现时，是怎样作出反响的。(学习指导 21.1)

在两个月之前，即 1895 年 11 月，伦琴发现了 X 射线，这样他就不自觉地为发现放射性铺平了道路。伦琴曾指出 X 射线是从玻璃管上被阴极射线束（高速电子）所击中的炽热斑点发出的（参见第 18.2 节和 18.6 节）(图 21-1)。当阴极射线束停止发射时，玻璃管面的光斑就消失了，而从光斑发出的 X 射线也消失了。

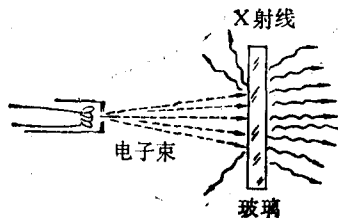


图 21-1 电子束(阴极射线)

轰击玻璃产生 X 射线

玻璃管受到阴极射线束的激发而发射光是所谓荧光现象的一个实例，这在伦琴的发现之前就已经为人们所熟知了。在十九世纪末期关于荧光已作了相当大量的研究。一种物质如果用较短波长的可见光或是由诸如紫外线之类的不可见光，或是由构成阴极射线的电子束照射时，随即发射可见光，这种物质就叫做荧光物质。当激发光停止照射时，荧光也就停止(磷光这个词一般是用于在激

发光停止照射后仍继续发射可见光的有关现象)。

伦琴观察到的 X 射线也来自出现荧光的斑点，引起了一种猜想，认为在 X 射线和荧光(或磷光)之间有密切关系。贝克勒耳有幸具备必要的物质和教育条件去研究这个问题。此外，他还是在荧光和磷光领域内作出重要贡献的物理学家后继者。他在他的巴黎实验室里，设计了一种仪器。这种仪器能够把经过明亮光线照射的物质一瞬间就放在完全的黑暗中进行检查。贝克勒耳所想的问题是：当物体产生足够强的可见的荧光(或磷光)时，除可见光外它们还发射 X 射线吗？他把多种材料暴露在太阳光下进行试验。他的方法是根据伦琴的观点检验这些物质是否还放射不可见的 X 射线，即看看一个包封好的照相底片是否被这样的不可见射线所曝光。贝克勒耳所用的样品之一碰巧是金属铀的盐，即一种硫酸双氧铀钾的样品。他写到：

我用两张厚黑纸……把一张照相底片……包封好，黑纸厚得使底片在阳光下暴露一整天也不能变色。把一小片磷光物质放在纸上，并把整个东西在阳光下暴露几个小时，当我将照相底片显影时，在底片上看到有黑色的磷光物质的轮廓。如果我在磷光物质和纸之间放上一个硬币或钻孔的金属隔板，那么这些物体的影像就显现在底片上。把一块薄玻璃放在磷光物质和纸之间，再进行这样的实验，就可以排除化学变化的可能性，这种化学变化是由于太阳光线照热了磷光物质，而蒸发出的蒸气可能引起的。

因此，我们从这些实验可得到结论：我们所论述的这种磷光物质发射一种辐射线；这种辐射线能穿透对光不透明的纸……

贝克勒耳在他发表的文章中，对他从实验得到的从磷光物质发射出“有穿透能力的辐射线”的结论是很谨慎的。他并没有写发

射 X 射线，因为他还没有完全证实辐射的就是 X 射线(虽然辐射线跟 X 射线一样能穿透黑纸)，他也没有写这种辐射线实际上与磷光有关(虽然他强烈地猜想它们是与磷光有关)。还没有研究这些可能性之前，他就发现了：

……在上述实验中的某些实验已在 1896 年 2 月 26 日(星期三)和 27 日(星期四)两天准备好了。因为在那些天里，太阳只是间断地出现，我将所有的设备都准备好，然后把它们放回到箱子抽屉里的暗处，并且留了一小块铀盐。因为太阳又有几天没有出来，我在 3 月 1 日把照相底片显影，期待会发现非常微弱的影像。结果相反，所显示的轮廓十分鲜明。我立刻想到，这种作用可能是在黑暗中也能进行……

进一步的实验证明了这一意外的想法——甚至当铀化合物没有因太阳光激发而发磷光时，它仍然发射能穿透黑纸和其他(诸如薄铝片或薄铜片之类的)不透光物质的某种东西。贝克勒耳发现所有的铀化合物——其中很多完全不是磷光物质——都和金属铀本身有同样的特性，对相底片的作用程度，不取决于是哪种铀化合物，而只取决于化合物中所含铀的多少。

贝克勒耳还发现，来自铀样品的持久辐射，在强度上或性质上都不随时间的推移而发生变化。当铀或某种铀化合物的样品受到紫外线、红外线或 X 射线照射时，放射强度也不发生变化。此外，铀辐射(或者称它们为“贝克勒耳射线”)的强度在室温(20°C)下，在 200°C 时以及在氧和氮(空气)液化的温度下(即约 -190°C 左右)都是一样的。因此，这种射线似乎不受通常的物理(以及化学)变化的影响。

贝克勒耳还说明了来自铀的辐射在周围空气中产生电离的情况。它能使带正电或带负电的物体(如验电器)放电(图 21-2)，所以铀射线在穿透力和电离作用两个重要方面与 X 射线相似。这

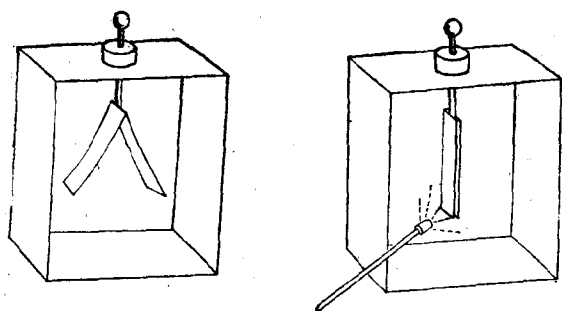


图 21-2 贝克勒耳射线的电离效应，能够用一个带电的验电器来验证（左图）。当拿着轴样品接近验电器的箔片时（右图），射线引起空气中气体分子电离——即变成带电的离子。与验电器箔片带异种电荷的离子，漂移到箔片上将它的电荷中和。箔片落下的时间长短是气体电离率的量度，也是铀的放射性的量度。

两种射线都是肉眼看不见的，但都能对照相底片起作用。X射线与贝克勒耳射线至少在以下两个重要方面是有区别的：同X射线相比，这些新发现的来自铀的射线不需要阴极射线管，甚至不需要光去诱发它们，并且没有办法使它们停止发射。贝克勒耳指出，甚至在三年之后，给定的一块铀及其化合物还继续自发地发射射线。

1896年和1897年在物理学发展史上是激动人心的时期，这在很大程度上是由于对新近发现的X射线和阴极射线发生极大兴趣。人们很快就证实X射线能够用于医疗，并且它们成为大量研究的课题。相比之下，贝克勒耳射线的性质当时不那么引人注目，因为从1896年5月末直到1897年这段时间，关于这方面的研究做得很少。不知由于什么原因，似乎当时认为贝克勒耳射线是X射线的特殊情况。就连贝克勒耳本人也把他的注意力转向其他工作了。但是，来自铀及其化合物的不可见射线，不需要特殊准备

也不需要专门的电气装置就能自发地放出，这一事实开始吸引了人们的注意力。

在科学家面前提出了两个问题：第一，产生铀射线并使其能穿透不透明物质的能源是什么？第二，在当时已知的那七十多种元素中的其他元素是否也有类似于铀所有的那些特性？第一个问题虽然被认真地研究过，但当时还回答不了。第二个问题在1898年初已由居里夫妇回答了。他们开辟了物理科学研究的新领域。

问题1 为什么贝克勒耳用铀的化合物进行实验？试描述他的实验。

问题2 为了发射“贝克勒耳射线”，对铀化合物应如何进行处理呢？

问题3 “贝克勒耳射线”的使人费解的特性是什么？在哪些方面它们类似X射线？

21.2 其他放射性元素的发现

贝克勒耳在巴黎的同事之一，物理学家皮埃尔·居里(Pierre-Curie)，他刚同波兰出生的物理学家玛丽·斯克洛多夫斯卡(Marie-Sklodowska)结了婚。玛丽·居里承担了对贝克勒耳射线的系统研究，并寻找能发射这种射线的其他元素和矿物质。她利用她丈夫新发明的灵敏静电计，测量了当射线电离空气时所产生的微小电流。这个电流被认为是(而实际上也是)与射线的强度成正比。用这种新技术，她能对射线产生的电离效应给出一个数值，并且这个数值在对同一样品多次进行重复实验时误差在百分之几以内。

她的最初成果之一是发现了元素钍(Th)以及它的化合物，发射具有类似于铀射线的辐射。(盖尔哈特·C·斯密特(Gerhardt. C. Schimide)在德国几乎在同一时间独自作出同样的发现。)钍发射

象铀所发射的一样的射线，这一事实是十分重要的。它表明这种神秘的射线不是只为某一种元素所特有。这一发现刺激了继续对其他可以发射类似射线的元素进行研究。铀和钍是已知的具有最大原子量的元素，这一事实表明，很重的元素可能有着不同于较轻元素的特殊性质。

显然，由铀和钍射线的发现引起的问题十分重要，这使得皮埃尔·居里撇开他在物理学的其他领域里所进行的研究工作，而同他的妻子一起从事这个新课题的研究。他们开始了一件非常艰巨的工作。首先他们发现，从任何钍化合物发出的射线的强度与含金属元素钍的重量百分比成正比。而贝克勒耳也发现铀化合物有类似的结果。此外，辐射的多少与放射性元素的物理条件或化学组成无关。这些结果导致居里得出这样一个结论：即射线的发射，只取决于铀或钍这两种元素中的任一种原子的存在。其他元素的原子是无放射性的，或者是要吸收一些辐射。

这些概念是特别重要的，因为它们有助于居里夫妇说明他们后来的实验。例如，在他们对矿物放射性的研究中，他们检验了沥青铀矿——一种含有约百分之八十的氧化铀(U_3O_8)的矿物。他们发现沥青铀矿的放射线在空气中的电离作用，大约是根据矿物中的铀含量所推得的4~5倍。当时所知道的沥青铀矿中和铀在一起的其他元素有铍和钡，已经知道它们是无放射性的。如果射线的发射是一种原子现象，那么沥青铀矿的额外放射性只能解释为来自沥青铀矿中的其他元素，一种比铀本身的放射性更强的元素。

为了证实这个假设，居里夫妇对大量沥青铀矿样品进行化学分离，试图提纯这种假设的放射性物质。在每次分离过程之后，对分离物进行检验，弃掉无放射性部分，而对放射性部分进一步分离。最后，居里夫妇得到一种具有很强的放射性的物质。它几乎主要是由未知元素所组成。1898年7月在他们提交给法兰西科

学院的题为《论沥青铀矿中所含的新放射性物质》的报告中，他们写道：

通过这些不同的实验……最后，我们得到了一种放射性比铀的放射性约大 400 倍的物质……。

因此，我们相信，我们从沥青铀矿中提出的物质含有一种至今还不知道的金属，其化学特性与铋相似。如果这种新金属的存在被确定了，我们建议，在我们俩人中，以玛丽的祖国的名字来命名它为钋(*polonium*)。

在发现钋之后六个月，居里夫妇用化学方法从沥青铀矿分离出另一种物质并发现它的射线非常强，表明还存在另一种甚至比钋的放射性更强的新元素。这种物质每单位质量的放射性为铀放射性的 900 倍，并且在化学结构上完全不同于铀、钍和钋。对这个元素进行光谱分析，显示出它的光谱具有无放射性的元素钡的谱线特征，但是在紫外线区还有一根线似乎不属于任何已知元素。居里夫妇表示他们相信此物质，“虽然大部分由钡组成，却含有另外一种新元素，它产生放射性并且在其化学特性上很接近钡。”由于这种新元素有如此非凡的放射性，他们建议命名为镭(*radium*)。

为了使新发现的元素更令人信服，下一步工作是确定它们的性质，特别是它们的原子量。居里夫妇知道，他们还没有能够把钋或镭提纯为纯金属形态，甚至还没有能获得其中一种元素化合物的纯样品。他们从含有称为镭的强放射性物质的材料中，分离出了氯化钡与很少量的氯化镭所组成的物质。再进一步分离使得氯化镭所含比例增加。居里夫妇说：这项研究之所以困难是由于镭的化学性质很接近于钡，而将化学性质相近的物质分离开是非常困难的。此外，为要获得可供使用的数量的强放射性物质，他们需要大量的沥青铀矿。

居里夫妇在皮埃尔从事教学工作的物理学研究所里找到一间

破旧的小木房子,用 100 千克的沥青铀矿开始进行工作(这些沥青铀矿已经分离出去了铀盐用于制造玻璃)。在谋求财政上的支持遭到失败后,居里夫妇在没有技术帮助的情况下,在他们的这个“实验室”里进行他们的研究工作。后来玛丽·居里写道:

“我一次处理 20 千克材料,弄得这个小屋到处都是装满沉淀物和液体的大瓶子。经常要搬运容器,倒各种化学溶液以及搅拌在熔炉上沸腾着的材料,这都是繁重的劳动,一干就是几个小时。”

根据他们研制出的氯化镭和氯化钡的混合物,只能算出钡和镭的平均原子量。同钡的原子量 137 相比,第一次得到的平均值是 146,经多次纯化,使氯化镭的比例增大,原子量的平均值上升到 174。漫长的纯化过程持续了四年。在此期间她处理的沥青铀矿残渣重达数吨之多。1902 年 7 月玛丽·居里宣布:她已提纯了 0.1 克氯化镭,其纯度用光谱鉴定证明没有任何钡的残余存在。她计算镭的原子量为 225(现在的值是 226.03),镭的放射性比同样质量的钡的放射性要大百万倍。(学习指导 21.2)

问题 4 一个元素的放射性辐射是否受到该元素化合物组成情况的影响?受到怎样的影响?

问题 5 为什么居里夫妇设想在铀矿中除了铀之外还存在另一种放射性物质?

问题 6 在提取纯的元素镭样品的过程中,主要困难是什么?

皮埃尔·居里(1859~1906)曾在巴黎的索尔本就学,1878 年他成为那里的物理实验室的助教,几年之后成为物理学教授。因为他在研究有关晶体和磁学方面取得成就而闻名。1895 年他与 28 岁的玛丽·斯克洛多夫斯卡结婚。他们结婚后,玛丽开始了她的关于放射性的博士学位研究。1898 年皮埃尔与他妻子共同从事这