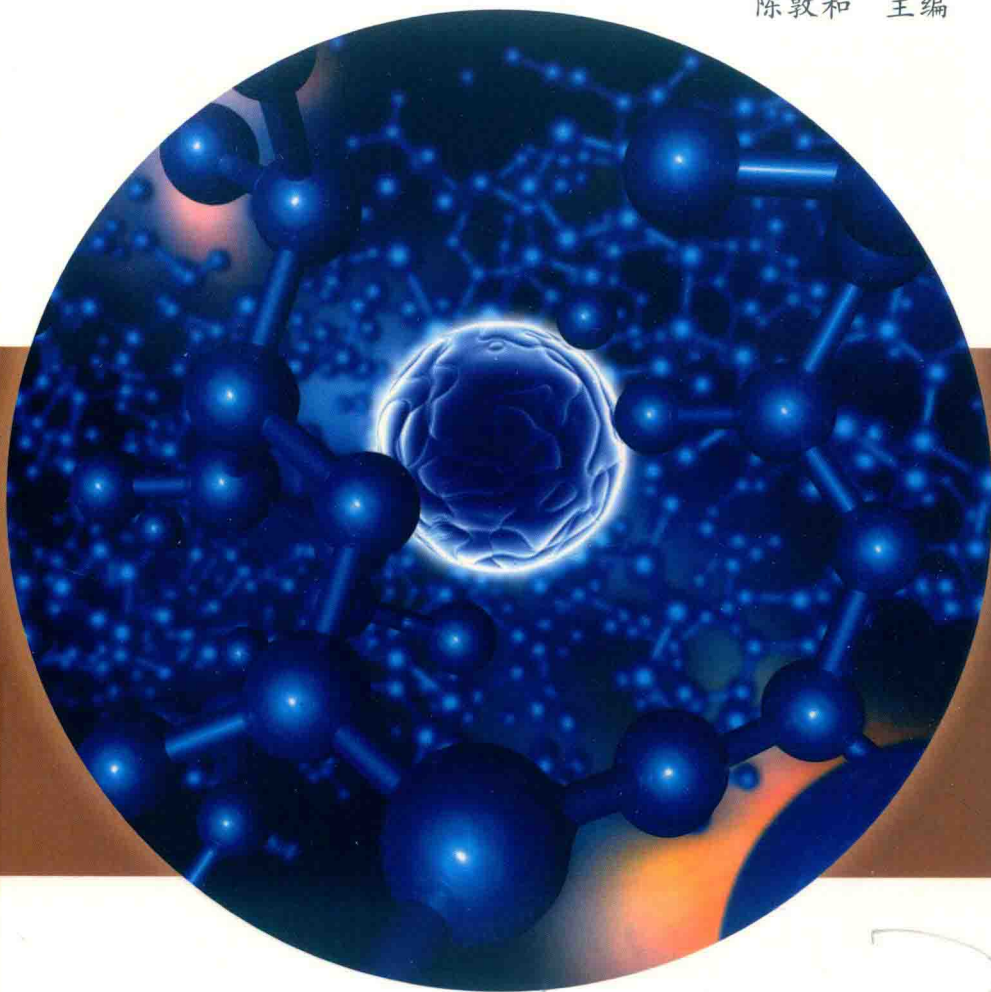


科学探索丛书

神秘核能探索之旅

陈敦和 主编



几十亿年来，太阳一直照耀着地球，促进了地面生命的演化和发展。今天的科学研究已经证明：太阳的能量来自核能。



上海科学技术文献出版社
Shanghai Scientific and Technological Literature Press



科学探索丛书

KEXUE TANSUO CONGSHU

神秘核能探索之旅

SHENMI HENENG TANSUO ZHILV

陈敦和 主编

74-48
6



贵州师范学院内部使用



上海科学技术文献出版社
Shanghai Scientific and Technological Literature Press

图书在版编目(CIP)数据

神秘核能探索之旅 / 陈敦和主编. —上海: 上海
科学技术文献出版社, 2019

(科学探索丛书)

ISBN 978 - 7 - 5439 - 7901 - 7

I. ①神… II. ①陈… III. ①核能—普及读物
IV. ①TL - 49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 081263 号

组稿编辑: 张 树
责任编辑: 王 珺
助理编辑: 朱 延

神秘核能探索之旅

陈敦和 主编

上海科学技术文献出版社出版发行
(上海市长乐路 746 号 邮政编码 200040)

全国新华书店经销
四川省南方印务有限公司印刷

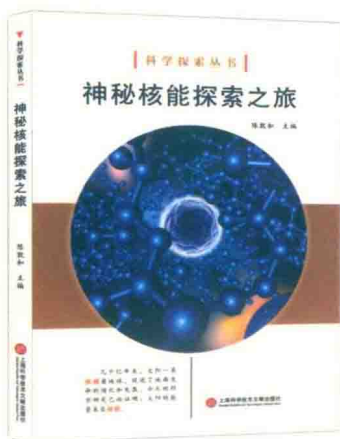
开本 700 × 1000 1/16 印张 10 字数 200 000
2019 年 8 月第 1 版 2019 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5439 - 7901 - 7

定价: 39.80 元

<http://www.sstlp.com>

版权所有, 翻印必究。若有质量印装问题, 请联系工厂调换。





| 科学探索丛书 |

UFO未解之谜

大洋深处之谜

地球未解之谜

恐龙帝国之谜

历史未解之谜

化学发现之旅

天文学发现之旅

物理学发现之旅

神秘核能探索之旅

宇宙黑洞探索之旅



P 前言

Preface

人类祖先还没有学会使用火的时候，他们就已经在不知不觉地享受着核能的赐予了。几十亿年来，太阳一直在照耀着地球，促进了地面生命的演化和发展。今天的科学研究已经证明：太阳的能量来自核能。

核能是通过转化其质量从原子核中释放的能量，核能通过核裂变、核聚变、核衰变三种核反应之一进行释放。人类对核能的巨大威力的真正认识是从第一颗原子弹爆炸开始的。

1945年8月6日8时15分，美军在日本广岛上空投下一颗代号为“小男孩”的原子弹。这是人类历史上首次将核武器用于实战，广岛成为第一座遭受原子弹轰炸的城市。原子弹瞬间的爆炸让广岛满目疮痍：靠近爆炸中心的人大部分死亡，广岛瞬间就变成了一片废墟。

核能的巨大威力让人们震惊的同时，也开始反思，如何才能更好地利用核能，让它为人类造福而不是震慑、危害人类？在战后，许多国家开始致力于核武器和核能的开发，人们开始广泛关注核军备竞赛和核反应堆的发展。现在核能除在军事方面的应用之外，在工业、农业、医疗等领域也有着较为广泛的应用，不过核能最主要的应用还是在发电方面。当今，全世界几乎16%的电能是由441座核反应堆生产的，而其中有9个国家的40%多的能源生产来自核能，特别是法国核能发电占其发电总量的75%。如何将能量巨大的核能更多更安全地进行应用，以解决人类对能源的不断需求，是现今各国科学家共同努力的目标。

从最小的原子、电子、质子的研究，到核能的收集，再到现今人类对核能的广泛应用，科学家们付出了巨大的努力。本书将向您介绍人类对核能的发现之旅。





目录

Contents



第一章 | 天然放射性的发现

1

解析核能之“核” / 2

物质的基本粒子：电子 / 20

X射线的发现 / 5

钋和镭的发现 / 30

物质的天然放射性 / 15

专题讲述：正确认识放射性 / 43



第二章 | 质能公式与核能

45

将核能“量化”的质能转换公式 / 46

发现原子核裂变 / 74

原子核模型的提出与人工核反应的实现 / 56

专题讲述：放射性同位素 / 84

开启核能的钥匙——中子 / 68



第三章 | 核与能的转换

87

核裂变 / 88

核衰变 / 99

核聚变 / 94

专题讲述：放射性的防护 / 104





第四章 | 天使与魔鬼

107

第一座核反应堆的建立 / 108

魔鬼面：核能的危害 / 133

天使面：人类对核能的应用 / 116

专题讲述：各种类型的核电站 / 141



第五章 | 核能新动向

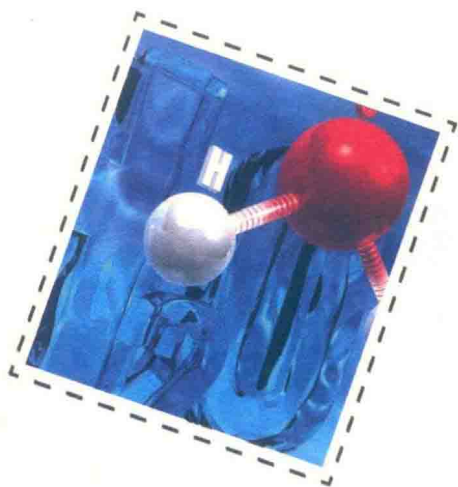
143

第四代先进核能系统 / 144

小核电的发展 / 149

受控热核聚变能 / 147

专题讲述：核废物的处置 / 152





科学探索丛书

第一章

天然放射性的发现



放射性的发现被称为人类20世纪三大物理发现之一。它使人们对物质的微观结构有了更新的认识，并由此打开了原子核物理学的大门。



解析核能之“核”



引言：

在今天，核能已经被人们熟知，给人类输送能量的核电站，原子弹、氢弹等核武器都是人类对核能应用的证明，那核能之“核”指的是什么呢？

原子

核能（或称原子能）是通过转化其质量从原子核释放的能量，核即是指原子核。

世界所有物质都是由分子构成，或直接由原子构成。而分子又是由原子构成，原子通过一定的作用力，以一定的次序和排列方式结合成分子。以水分子为例，将水不断分离下去，直至不破坏水的特性，这时出现的最小单元是由两个氢原子和一个氧原子构成的一个水分子（ H_2O ）。简单些说，“分子”通常指的是多个原子的化学化合物。

原子就是一种元素能保持其化学性质的最小单位。一个原子包含有一个致密的原子核及若干围绕在原子核周围带负电的电子。原子直径的数量级大约是 10^{-10} 米。原子质量极小，且

99.9%集中在原子核。

大约在公元前450年，希腊哲学家德谟克利特创造了原子这个词语，“原子”这一术语在希腊文中是“不可分割”的意思。并且德谟克利特在当时就已经提出原子的概念，认为一切物质都是由不可分割的小微粒——原子构成，但缺乏科学实验的验证。17和18世纪时，化学家发现了物理学的根据：对于某些物质，不能通过化学手段将其继续的分解。19世纪晚期和20世纪早期，物理学家发现了亚原子粒子以及原子的内部结构，由此证明原子并不是不能进一步切分。

核能之核——原子核

原子核简称“核”。位于原子的核心部位，由质子和中子两种微粒构成。原子核是由带正电荷的质子和不带电荷的中子构成，原子中，当带正电荷的质子数与核外带负电的电子数量相同时，正负抵消，原子就不显电。

原子核极小，体积只占原子体积的几千亿分之一，在这极小的原子核里却集中了99.96%以上原子的质量。原子核的密度极大，核密度约为 $10^{14}g/cm^3$ 。



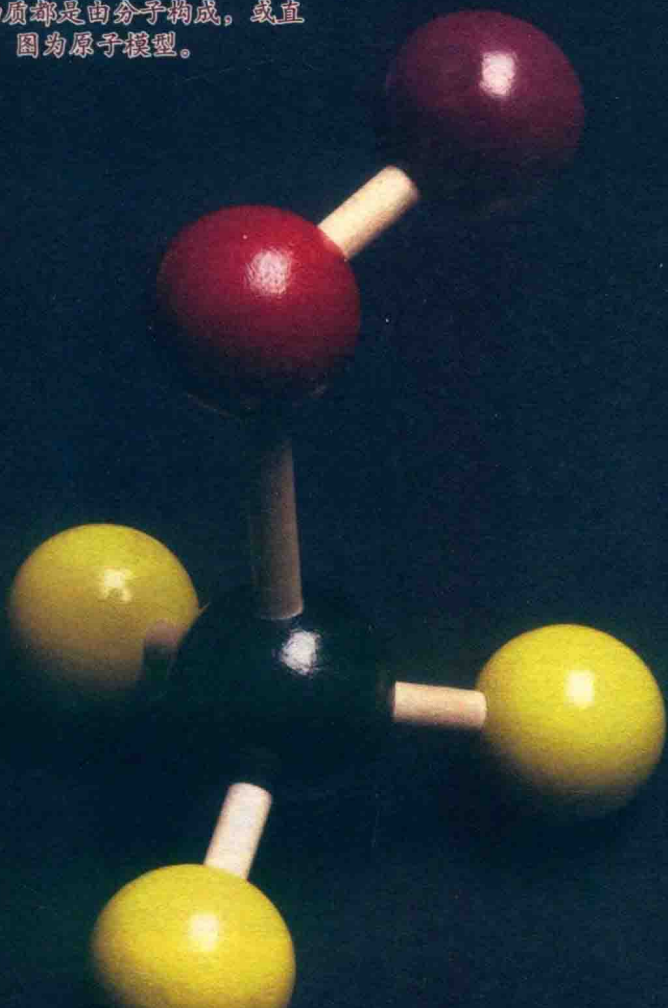
cm^3 。原子是个空心球体，原子中大部分的质量都集中在原子核上，电子几乎不占质量，通常忽略不计。

原子核的能量极大。构成原子核的质子和中子之间存在着巨大的吸引力，能克服质子之间所带正电荷的斥力而结合成原子核，使原子核在化学反应中不发生分裂。当一些原子核发生裂变（原子核分裂为两个或更多的核）或聚变（轻原子核相遇时结合成为重核）时，会释放出巨大的原子核能，即原子能，又称为核能。

核力

核子之间的核力，是一种比电磁作用大得多的相互作用。原子半径很小，质子间库仑斥力很大，但原子核却很稳定。所以原子核里质子间除了库仑斥力外还有核力。只有在 2.0×10^{-15} 米的短距离内才能起到作用。质子和质子之间、质子和中子之间、中子和中子之间都存在这种力。

★ 世界所有物质都是由分子构成，或直接由原子构成。图为原子模型。



核能之材料来源

国际原子能机构将任何源材料或特种可裂变材料称为核材料。

源材料主要包括天然铀、贫化铀、钍及含上述任何物质的金属、合金、化合物或浓缩物的材料。

特种可裂变材料主要包括钚-239 (^{239}Pu)、铀-233 (^{233}U)、含有富集同位素235 (^{235}U) 的铀。所谓富集,是指铀-235与铀-238的丰度比大于天然铀中这两个同位素的丰度比。

需要重点加以控制和保护,防止其被盗、被破坏、丢失、非法转移和非法使用的核材料是特种可裂变的核材料。因为这类材料可被恐怖分子用于制造裂变核武器(原子弹)。通常所说的核材料控制、核材料实物保护(指对存

★ 有些核燃料就蕴藏于矿石之中,对矿石的开采、加工,是人类获得核燃料的重要途径。

放核材料的建筑物、车辆建立安全防护系统,以实施对核材料的保护),也是针对这类核材料而言的。

世界上有比较丰富的核资源,核燃料有铀、钚、钍、锂、硼等等,世界上铀的储量约为417万吨。地球上可供开发的核燃料资源,可提供的能量是矿石燃料的十多万倍。

钚

钚是一种放射性元素,是原子能工业的重要原料,可作为核燃料和核武器的裂变剂。投于长崎市的原子弹,使用了钚制作内核部分。

钚的原子序数为94,元素符号是Pu,是一种具放射性的超铀元素。半衰期为24万5千年。它属于锕系金属,外表呈银白色,接触空气后容易锈蚀、氧化,在表面生成无光泽的二氧化钚。





X射线的发现

引言:

X射线的发现是19世纪末20世纪初物理学的三大发现之一，这一发现标志着现代物理学的产生。

x射线

X射线又被称为艾克斯射线、伦琴射线或X光，是一种波长范围在0.01纳米到10纳米之间（对应频率范围30PHz（拍赫）到30EHz（艾赫））的电磁辐射形式。X射线具有很高的穿透本领，能透过许多对可见光不透明的物质，如墨纸、木料等。这种肉眼看不见的射线可以使很多固体材料产生可见的荧光，使照相底片感光以及产

波粒二象性

波粒二象性是指某物质同时具备波的特质及粒子的特质。波粒二象性是量子力学中的一个重要概念。在经典力学中，研究对象总是被明确区分为两类：波和粒子。前者的典型例子是光，后者则组成了我们常说的“物质”。

生空气电离等效应。

X射线是不带电的粒子流，因为它在电场磁场中不发生偏转，其X电磁波的能量以光子（波包）的形式传递，因此，它具有波粒二象性。X射线属于游离辐射等这一类对人体有危害的射线。

分类

根据波长X射线可分为硬X射线和软X射线。

波长越短的X射线能量越大，叫做硬X射线，波长长的X射线能量较低，称为软X射线。

按照辐射类别，X射线可分为两类。

当在真空中，高速运动的电子轰击金属靶时，靶就放出X射线，这就是X射线管的结构原理。放出的X射线分为两类：

(1)如果被靶阻挡的电子的能量，不越过一定限度时，只发射连续光谱的辐射。这种辐射叫做轫致辐射；

(2)一种不连续的，它只有几条特殊的线状光谱，这种发射线状光谱的辐射叫做特征辐射。连续光谱的性



★ 伦琴发现X射线之后，X射线就被应用于医学检查、诊断，现在已经形成了放射诊断学。

质和靶材料无关，而特征光谱和靶材料有关，不同的材料有不同的特征光谱，这就是称之为“特征”的原因。

特征

1、频率高

X射线的特征是波长非常短，频率很高，其波长约为 $(20 \sim 0.06) \times 10^{-8}$ 厘米之间。因此X射线必定是由于原子在能量相差悬殊的两个能级之间的跃迁而产生的。所以X射线光谱是原子中最靠内层的电子跃迁时发出来的，而光学光谱则是外层的电子跃迁时发射出来

的。X射线能产生干涉、衍射现象。

2、辐射同步

X射线谱由连续谱和标识谱两部分组成，标识谱重叠在连续谱背景上，连续谱是由于高速电子受靶极阻挡而产生的轫致辐射；标识谱是由一系列线状谱组成，它们是因靶元素内层电子的跃迁而产生，每种元素各有一套特定的标识谱，反映了原子壳层结构。同步辐射源可产生高强度的连续谱X射线，现已成为重要的X射线源。

伦琴生平

威廉·康拉德·伦琴，德国试验物理学家，于1845年出生在德国尼普镇。他在1869年从苏黎世大学获得哲



学博士学位。在随后的十九年间，伦琴在一些不同的大学工作，逐步地赢得了优秀科学家的声誉。

1888年他被任命为维尔茨堡大学物理所物理学教授兼所长。1895年伦琴在这里发现了X射线。

1900年，伦琴任慕尼黑大学物理学教授和物理研究所主任。

1923年2月，他在慕尼黑逝世。

由于X射线的发现具有“实际应用结果”，而且间接地影响着后来放射性的一系列发现，因此1901年，第一个诺贝尔物理学奖被颁发给了伦琴。为了纪念伦琴，很多国家都将X射线称为伦琴射线。不仅如此，人们还

将伦琴作为放射性物质产生的照射量的一个单位。英文代号为R，即在0摄氏度、760毫米汞柱气压的1立方厘米空气中造成1静电单位（ 3.3364×10^{10} 库仑）正负离子的辐射强度为1伦琴单位。

2003年，国际化学联合会正式承认了该研究中心首先发现了化学元素111，并在2004年接受了将其命名为Uuu的建议。在2006年，即在伦琴发现X射线111年之际，位于德国达姆斯施塔特的重离子研究中心举行仪式，正

★ 慕尼黑不仅具有浓厚的艺术气质，还因有了像伦琴这样的科学家而散发着浓浓的人文气质。



式将化学元素111命名为“鰐”。

伦琴一生在物理学许多领域中进行过实验研究工作，并作出了一定的贡献。如对电介质在充电的电容器中运动时的磁效应、气体的比热容、晶体的导热性、热释电和压电现象、光的偏振面在气体中的旋转、光与电的关系、物质的弹性、毛细现象等，由于他对X射线的发现赢得了巨大的荣誉，所以这些贡献大多不为人关注。

发现过程

1869年，德国物理学家、化学家希托夫观察到真空管中的阴极发出的射线，当这些射线遇到玻璃管壁会产生荧光。后来，这种射线被戈尔德斯坦命名为“阴极射线”随后，英国物理学家克鲁克斯研究稀有气体里的能量释放，并且制造了克鲁克斯管。这是一种玻璃真空管，内有可以产生高电压的电极。他还发现，当将未曝光的相片底片靠近这种管时，一些部分被感光了，但是他没有继续研究这一现象。1887年4月，尼古拉·特斯拉开始使用自己设计的高电压真空管与克鲁克斯管研究X光。他发明了单电极X光管，在其中电子穿过物质，发生了现在叫做韧致辐射的效应，生成高能X光射线。1892年特斯拉完成了这些实验，但是他并没有使用X光这个名字，而只是笼统称为放射能。他继续进行实验，并提醒科学界注意阴极射线对

生物体的危害性，但他没有公开自己的实验成果。1892年赫兹进行实验，提出阴极射线可以穿透非常薄的金属箔。赫兹的学生伦纳德进一步研究这一效应，对很多金属进行了实验。

1895年间，伦琴使用他的同行赫兹、希托夫、克鲁克斯、特斯拉设计的设备研究真空管中的高压放电效应。因为阴极射线是由一束电子流组

★ 伦琴妻子是在X光作用下在照相底片上留下痕迹的第一人。现在X光检查已经非常普遍。





成的。当位于几乎完全真空的封闭玻璃管两端的电极之间有高电压时，就有电子流产生。阴极射线并没有特别强的穿透力，连几厘米厚的空气都难以穿过。这一次伦琴用厚的黑纸完全覆盖住阴极射线，这样即使有电流通过，也不会看到来自玻璃管的光。可是当伦琴接通阴极射线管的电路时，他惊奇地发现在附近一条长凳上的一个荧光屏（镀有一种荧光物质氰亚铂酸钡）上开始发光，就好像受一盏灯的感应激发出来似的。他断开阴极射

线管的电流，荧光屏即停止发光。由于阴极射线管完全被覆盖，伦琴很快就认识到当电流接通时，一定有某种不可见的辐射线自阴极发出。由于这种辐射线的神秘性质，他称之为“X射线”——X在数学上通常用来代表一个未知数。

这一偶然发现让伦琴十分兴奋，接下来他开始专心致志地研究起了X射线。

他先把一个涂有磷光物质的屏幕放在放电管附近，结果发现屏幕马上发出了亮光。接着，他尝试着拿一些平时不透光的较轻物质——比如书本、橡皮板和木板放到放电管和屏幕之间去挡那束看不见的神秘射线，可是却无法将它挡住，它甚至能够轻而易举地穿透15毫米厚的铝板！直到他把一块厚厚的金属板放在放电管与屏幕之间，屏幕上才出现了金属板的阴影。看来这种射线还是没有能力穿透太厚的物质。实验还发现，只有铅板和铂板才能使屏幕不发光，当阴极管被接通时，放在旁边的照相底片也将被感光，即使用厚厚的黑纸将底片包起来也无济于事。

接下来更为神奇的现象发生了。一天晚上伦琴很晚也没回家，他的妻子来实验室看他，于是他的妻子便成了在那不明辐射作用下在照相底片上留下痕迹的第一人。当时伦琴要求妻子用手捂住照相底片。当显影后，夫妻俩在底片上看见了手指骨头和结婚

