

NUCLEAR

刘学公 郭建友 徐师国 盛六四 编著

核辐射普及读本

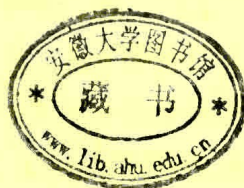


全国百佳图书出版单位
时代出版传媒股份有限公司
黄山书社

nuclear radiation

核辐射普及读本

刘学公 郭建友 徐师国 盛六四 编著



全国百佳图书出版单位
时代出版传媒股份有限公司
黄山书社

图书在版编目(CIP)数据

核辐射普及读本/刘学公,郭建友等编著.—合肥:
黄山书社,2011.3

ISBN 978-7-5461-1725-6

I. ①核… II. ①刘… ②郭… III. ①辐射防
护—普及读物 IV. ①TL7-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 040937 号

核辐射普及读本

刘学公 郭建友 徐师国 盛六四 编著

出版人:左克诚 总策划:赵国华 整体设计:任耕耘 汤吟菲
责任编辑:汤吟菲 装帧设计:尹晨 责任印制:戚帅
编辑:徐娟娟 江汇 徐佩兰 刘春 王海宏 郝敏 余俊

出版发行:时代出版传媒股份有限公司(<http://www.press-mart.com>)

黄山书社(<http://www.hsbook.cn/index.asp>)

(合肥市蜀山区翡翠路 1118 号出版传媒广场 7 层 邮编:230071)

经销:新华书店

营销部电话:0551-3533762 3533768

印制:合肥杏花印务股份有限公司

电话:0551-5657639

开本:710×1000 1/16

印张:4.75

字数:100 千字

版次:2011 年 3 月第 1 版 2011 年 3 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978-7-5461-1725-6

定价:16.00 元

版权所有 侵权必究

(本版图书凡印刷、装订错误可及时向承印厂调换)



序

2011年3月11日,日本发生里氏9.0级大地震,引发海啸和福岛核电站事故,核污染问题引起周边国家和地区的恐慌。由于社会上传言食用碘盐可以防核辐射,而且海水已受到核污染,今后产的海盐不安全,自3月14日始,我国部分地方出现抢购碘盐现象,3月17日,造成全国性食盐脱销。国内的食盐抢购潮反映了人们对核电站事故的恐惧,暴露出公众对核辐射安全与防护知识的缺乏。

其实核辐射在自然界无处不在,我们吃的食物、住的房屋、天空大地、山川草木、人体都存在放射性。日常生活中,我们会受到天然本底照射和人工照射,一般情况下,不会对人体健康造成危害。为了帮助广大公众正确理解核辐射对人体的影响,科学看待日本福岛核电站事故造成的核污染,黄山书社组织一批核科技专家编写了这本《核辐射普及读本》,旨在普及公民的核防护知识,促进核辐射技术更好地造福于人类。

本书正文共分6章,分别介绍核辐射基础知识、电离辐射生物效应、反应堆与核电站、核技术在医学上的应用、核技术在其他领域中的应用、辐射的防护与监测。书后附录有关国际性组织和机构、历史上几次重要的核事故对环境和人类的影响等。其内容尽量通俗易懂,深入浅出,以普及核辐射基础知识和核辐射应用和防范为主线,涵盖了现代物理学、核技术应用、医学等多学科,是多学科专家合作撰写的一部跨学



科科普读物。这种专家的社会责任感和探索精神值得推崇,这种读物也是目前我国社会公众所急需的。

当然,由于本书属此领域首部科普读物,编写时缺乏借鉴,多学科专家各自从不同的专业角度来谈核辐射与人类生活,侧重点会有所不同。加上时间紧迫,统稿编辑难度大,书中难免存在某些瑕疵和不足,但它毕竟在核辐射知识普及方面迈出了可喜的一步。承蒙黄山书社赵国华总编和刘学公先生等老友要我为本书作序,深感惶恐之至矣!但作为一位多年从事辐射医学与防护工作的科技工作者,我愿热情地向广大读者推荐,相信这会对你有所裨益。

是为序!

中华医学会放射医学与防护分会常务理事

安徽省医学会副会长兼秘书长

王尚柏

2011年3月21日于合肥



一、看不见的粒子流——核辐射基础知识

- 1.核辐射的概念 /001
- 2.放射性的来源 /003
- 3.放射线的发现 /005
- 4.核武器的诞生 /013

二、能量的传递——电离辐射生物学效应

- 1.电离辐射生物学效应的发现和认识 /016
- 2.无处不在——作用于人体的各种电离辐射源 /017
- 3.电离辐射生物学效应的发生机制 /018
- 4.影响电离辐射生物效应的因素 /020

三、把孙悟空关进炼丹炉——反应堆与核电站

- 1.反应堆的原理 /023
- 2.反应堆的燃料 /024
- 3.反应堆废料及其处理 /024
- 4.反应堆与原子弹的区别 /025
- 5.核电站工作原理及类型 /026
- 6.核电站的安全与防护措施 /028
- 7.核电站对周围环境的影响 /029
- 8.核电事故处理及应急措施 /029
- 9.我国核电发展情况 /032
- 10.人造小太阳——国际核能发展状况 /036



四、医学现代化的标志——核技术在医学上的应用

- 1.概述 /037
- 2.诊断 /038
- 3.治疗 /040
- 4.碘与核辐射 /042

五、看我 72 变——核技术在其他领域中的应用

- 1.辐射育种 /047
- 2.辐射保鲜 /048
- 3.辐射除虫 /049
- 4.辐射材料改性 /050
- 5.辐射灭菌 /051
- 6.辐射工业探测 /051
- 7.辐射三废处理 /052
- 8.辐射考古 /053
- 9.核辐射技术在科学上的应用 /053

六、并不可怕——辐射的防护与剂量监测

- 1.电离辐射对人体健康的影响 /056
- 2.辐射防护的方法 /056
- 3.辐射剂量的监测 /058
- 4.辐射损伤的医学处理规范和剂量估算 /058

附录一：几次重要的核事故简介 /060

附录二：几个与核有关的机构或团体 /066



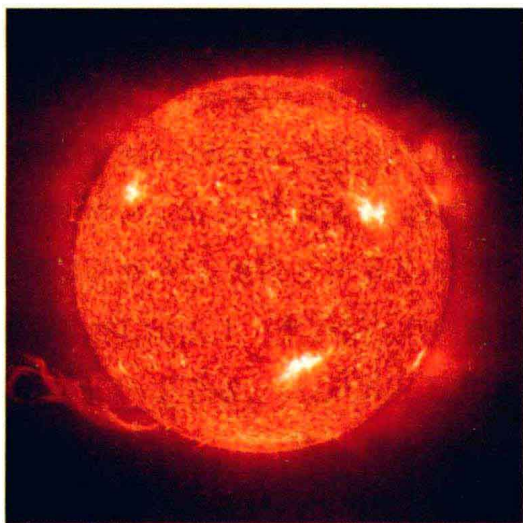


一、看不见的粒子流——核辐射基础知识

1. 核辐射的概念

辐射的定义

自然界中的物体温度在绝对温度零度以上,皆以电磁波的形式不断向外传送热量,这种传送能量的方式称为辐射。辐射以电磁波或粒子形式向外发散。无线电波和光波都是电磁波。电磁波的波长范围可由 $10^{-10}\mu\text{m}$ (宇宙射线)到几千米(长波无线电波), γ 射线、X 射线、紫外线、可见光、红外线、超短波等都是电磁波。人们肉眼能看得见的电磁波称为可见光,它只是电磁波中很短的一段(波长 $0.4\sim 0.76\mu\text{m}$),由红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七种颜色组成。



太阳通过自身的核聚变,不断向宇宙空间发射出电磁波和粒子流。地球所接收到的太阳辐射能仅为太阳向宇宙空间放射总辐射能的二十亿分之一,但却是地球大气运动的主要能量来源。太阳辐射能中的可见光线($0.4\sim 0.76\mu\text{m}$)、红外线($>0.76\mu\text{m}$)和紫外线($<0.4\mu\text{m}$)分别占 50%、43% 和 7%。

按照辐射粒子能否引起传播介质的电离,把辐射分为两大类:电离辐射和非电离辐射。

电离辐射

电离辐射是一切能引起物质电离的辐射总称,其中高速带电粒子有: α 粒子、 β 粒子、质子等,不带电粒子有:中子、X 射线、 γ 射线等。它们在日常生活中随处可见,如医学 X 光机、 γ 射线治疗机、核医学用的放射性药物、试剂,工业生产用的料位仪、X 射线探伤及测厚仪、辐照加工的钴源等。

电离辐射存在于自然界,目前人工辐射已遍及各个领域,专门从事生产、使用及研究电离辐射工作的人员,称为放射工作人员。与放射有关的职业有:核工业系统的核原料勘探、开采、冶炼与精加工,核燃料及反应堆的生产、使用及研究;农业的照射培育新品种,蔬菜水果保鲜,粮食贮存;医学的 X 射线透视、照相诊断、放射性核素对人体脏器测定,对肿瘤的照射治疗等;工业部门的各种加速器、射线发生器及电子显微镜、电子速焊机、彩电显像管、高压电子管等。

非电离辐射

非电离辐射是指能量比较低,并不能使物质原子或分子产生电离的辐射,例如紫外线、红外线、激光和微波都属于非电离辐射。

核辐射

放射性物质以波或微粒形式发射出能量叫核辐射,亦称为放射性。

核辐射是原子核在结构或能量状态转变过程中所释放出的微观粒子流。它可使物质引起电离或激发,亦称为电离辐射。直接致电离辐射的包括 α 粒子、质子等带电粒子。间接致电离辐射的



包括光子、中子等不带电粒子。

核辐射主要有 α 、 β 、 γ 三种射线。 α 射线是氦核,只要用一张纸就能挡住,但吸入体内危害大; β 射线是电子流,照射皮肤后烧伤明显; γ 射线的穿透力很强,是一种波长很短的电磁波, γ 射线和 X 射线相似,能穿透人体和建筑物,危害距离远。

2. 放射性的来源

放射性的来源主要有两个方面:天然辐射源与人工辐射源。

天然辐射源

宇宙射线

是来自外层空间的高能粒子流。在进入大气层之前称为初期宇宙射线。

与大气中的原子作用之后产生次级宇宙射线,包括电子、光子、介子、质子、中子。

环境中天然放射性核素

存在于岩石、水、土、大气、各种建材及人、动植物组织中。

放射性核素种类主要有 ^{40}K 、 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{87}Rb 及铀、钍、镭三个放射性系所属的核素,如 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 等。

某地区环境介质中含有天然放射性核素的浓度,称为该地区的天然放射性本底。

不同地区的天然本底差异很大,我国广东省阳江地区属于高本底地区。

人体摄入的放射性核素

有实际意义的成分有 ^{14}C 、 ^{40}K 、 ^{222}Rn 以及 ^{226}Ra 等。

以上三种天然电离辐射源对人体的内、外照射称为天然本底照射，其总剂量世界平均约为每年 2.4 mSv。

人工辐射源

医疗照射

指接受有电离辐射的治疗或诊断时，患者或被检查者所受到的照射。主要为 X 线诊断、牙科 X 线检查、核医学检查、射线与放射性核素治疗。在放射性工作场所，应放置醒目的告示牌。

职业照射

以放射性工作为职业的人员，如放射、核医学、放射医疗技术人员、探伤工人等，在其工作中所受到的电离辐射，不包括天然本底照射和医疗照射。

职业照射所致全世界集体剂量负担约相当于天然本底照射的 0.1%。

人工环境本底照射

由于人工电离辐射源对环境的污染或扩大应用所受到的照射。主要包括：放射工作场所向周围环境泄漏的电离辐射和排放的放射性“三废”；核武器试验全球落下灰；带有辐射源或放射性核素的日用消费工业品，如电视、电脑、发光涂料的刻度仪器、钟表；车站、机场检查行李用的 X 射线机；烟雾报警器；烟草等。

事故和灾害性照射

指在发生放射性意外事故（苏联切尔诺贝利核电站事故和最近日本福岛核事故），或核战争（广岛原子弹爆炸）时人员所受到的照射。

3. 放射线的发现

伦琴发现 X 射线(1895 年)

伦琴 (Wilhelm Conrad Rontgen, 1845—1923) 发现 X 射线, 获得首届诺贝尔奖物理学奖。

1895 年 11 月 8 日, 伦琴在进行阴极射线的实验时, 第一次注意到放在射线管附近的氰亚铂酸钡小屏上发出微光。经过几天废寝忘食的研究, 他确定了荧光屏的发光是由于射线管中发出的某种射线所致。因为当时对于这种射线的本质和属性还了解得很少, 所以他称它为 X 射线, 表示未知的意思。同年 12 月 28 日, 《维尔茨堡物理学医学学会会刊》发表了他关于这一发现的第一篇报告。1896 年 1 月 23 日, 伦琴在自己的研究所中作了第一次报告。报告结束时, 用 X 射线拍摄了维尔茨堡大学著名解剖学教授克利克尔一只手的照片。克利克尔带头向伦琴欢呼三次, 并建议将这种射线命名为伦琴射线。

X 射线的发现对于自然科学的发展有极为重要的意义, 正是由于 X 射线的发现, 唤醒了沉睡的物理学世界, 它像一根导火索, 引起了一连串的反应。

在 1895 年, 物理学已经有了相当的发展, 如牛顿力学、热力学、分子运动论、电磁学、光学都已建立了完善的理论, 并在应用上取得了巨



大成果。物理学家普遍认为,物理学的发展已经到了尽头。X射线的发现就像一声春雷,唤醒了众多的物理学家,把注意力引向更广阔的天地,揭开了近代物理学革命的序幕。

由于伦琴发现X射线对物理学发展的巨大贡献,在1901年诺贝尔奖第一次颁发时,把首届诺贝尔物理学奖颁发给了伦琴。

X射线最重要的应用是在医疗诊断(包括口腔)和放射治疗上。医院里的放射科、CT室、放射治疗科里的加速器、X刀等均使用X射线。

贝克勒尔发现自发放射现象(1896年)



天然放射性现象的发现起源于法国科学院的一次会议。

1896年初,彭加勒(H. Poincare,著名的数学物理学家、法国科学院院士)收到伦琴寄给他的论文和照片,他在1月20日的法国科学院的会议上展示了这些资料。由于X射线的产生与真空玻璃管中的强烈的磷光有关,彭加勒在会上

提出假设:被日光照射而发磷光的物质也应发出一种不可见的、有穿透能力的、类似于X射线的辐射。说者无心,听者有意,彭加勒的假设给贝克勒尔(Antoine Henri Becquerel, 1852—1908)留下了深刻印象。

会后,他立即开始这方面的研究,终于发现了铀盐有这种效应。

他用厚厚的黑纸包了一张感光底片放在太阳下,晒一整天也没有使底片变黑。他在黑纸上面放了一层铀盐,然后拿到太阳下晒几个小时,显影之后,他在底片上看到了磷光物质的黑影。然后他又在磷光物质和黑纸之间夹一层玻璃,做同样的实验,证明这一效应不是由于太阳光线的热使磷光物质发出某种蒸气而产生化学作用所致。于

是得出结论:铀盐在强光照射下不但会发可见光,还会发穿透力很强的X射线。

贝克勒尔这一结论并不正确,一次偶然的机遇使他有了真正的发现。

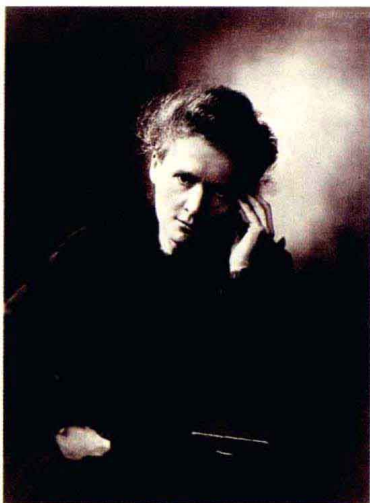
1896年3月2日法国科学院又举行例会,贝克勒尔准备再次报告自己的实验进展。他原想再做一些实验,可是2月26日、27日连续阴天,见不到阳光。他只好把所有的器材放在抽屉里,铀盐也搁在包好的底片上,等待好天气。正当他为阴雨不止而焦急时,一种职业性的灵感使他作出决定,虽然底片没有曝光,也洗出来试试看。没有想到,洗出的底片和曝过光的一样黑。这件事使他恍然大悟,原来铀盐的辐射在黑暗中也照常进行,无需强光的照射。显然这是与X射线有根本区别且穿透力也很强的另一种辐射。贝克勒尔肯定这是铀盐自发的辐射,就取名为铀辐射。

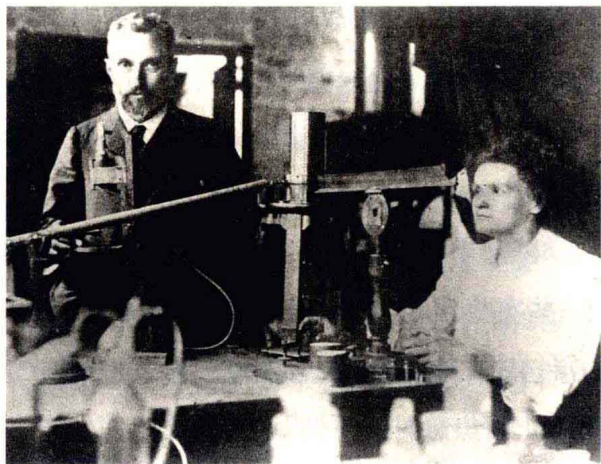
1903年,由于发现了自发放射现象,他与居里夫妇共同获得了诺贝尔物理学奖。贝克勒尔发现的自发放射性,是人们第一次观察到的核变化。现在通常就把这一重大发现看成是核物理学(又称原子核物理学, nuclear physics)的开端。

居里夫妇发现钋和镭(1898年)

法国物理学家、化学家居里夫妇(Pierie Curie & Marie Curie)发现钋和镭。

1896年,即居里夫妇结婚后次年,贝克勒尔发现了铀盐的自发放射性现象,这引起这对青年夫妇的极大兴趣,居里夫人决心研究这一不寻常现象的实质。她先检验了当时已知的所有化学元素,发现了钍和钍的化合物也具有放





射性。她进一步检验了各种复杂的矿物的放射性，意外地发现沥青铀矿的放射性比纯粹的氧化铀强四倍多。她断定，铀矿石除了铀之外，显然还含有一种放射性更强的元素。

居里以他作为物理学家的经验，立即意识到这一研究成果的重要性，放下自己正在从事的晶体研究，和居里夫人一起投入到寻找新元素的工作中。不久之后他们就确定，在铀矿石里不是含有一种，而是含有两种未被发现的元素。1898年7月，他们先把其中一种元素命名为钋（Polonium），以纪念居里夫人的祖国波兰。1898年12月，他们又把另一种元素命名为镭（Radium）。为了得到纯净的钋和镭，他们进行了艰苦的劳动。在一个破棚子里，日以继夜地工作了四年。他们用铁棍搅拌锅里沸腾的沥青铀矿渣，眼睛和喉咙忍受着锅里冒出的烟气的刺激，经过一次又一次的提炼，才从8吨沥青铀矿渣中得到0.1克的纯镭盐。1902年，居里夫妇宣布，他们测得镭的原子量为225，并且找到了两根非常明亮的特征光谱线。这时，镭的存在才得到公认。

由于他们对贝克勒尔发现的辐射现象所做的卓越研究，居里夫妇和贝克勒尔共同获得了1903年诺贝尔物理学奖。

卢瑟福(原子物理学之父)

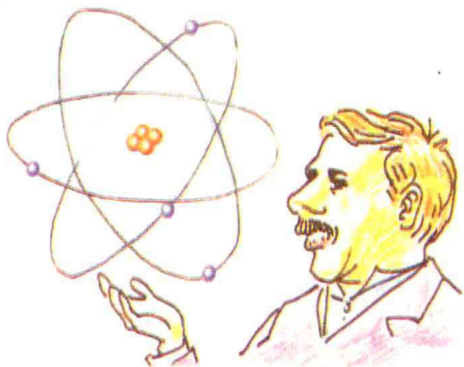
英国物理学家欧内斯特·卢瑟福（Ernest Rutherford, 1871—1937）继1898年贝克勒尔发现放射性现象后不久，发现铀和铀的化合物所发出

的射线有两种不同类型:一种是带正电的,这种射线的穿透力很弱,只要用一张纸就可以完全挡住它,他称之为 α 射线(α 粒子);另一种是带负电的,有较强的穿透能力,性质同快速运动的电子一样,他称之为 β 射线(β 粒子)。卢瑟福对他自己发现的 α 射线特别感兴趣。他经过深入细致的研究后指出, α 射线是带正电的粒子流,这些粒子是氦原子的离子,即少掉两个电子的氦原子。由于组成 α 射线的 α 粒子带有巨大能量和动量,这就成为卢瑟福用来打开原子大门、研究原子内部结构的有力工具。

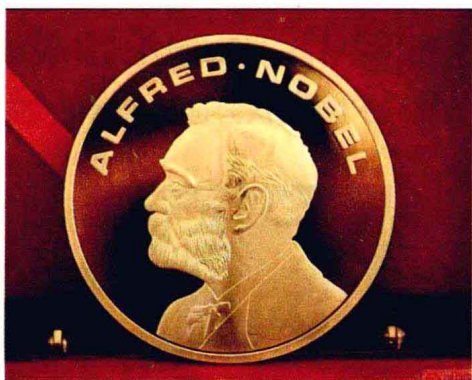
1900 年提出了重元素自发衰变理论。

1904 年总结出放射性产物链式衰变理论,奠定了重元素放射系元素移位的基本原理。

1908 年,由于他在元素蜕变及其放射化学方面的研究获得了诺贝尔化学奖。而他一



卢瑟福的原子行星模型



向自以为是物理学家,而非化学家,故风趣地说:“我竟摇身一变,成为了一位化学家。这是我一生中最绝妙的一次玩笑!”

1911年提出原子模型又称“有核原子模型”、“原子太阳系模型”、“原子行星模型引”,是关于原子结构的一种模型。认为原子的质量几乎全部集中在直径很小的核心区域,叫原子核,电子在原子核外绕核作轨道运动。原子核带正电,电子带负电。这一发现打破了元素不会变化的传统观念,使人们对物质结构的研究进入到原子内部这一新的层次,为开辟一个新的科学领域——原子物理学做了开创性的工作,被誉为原子物理学之父。

1912年,卢瑟福的 α 粒子散射实验(卢瑟福实验),被评为“物理学最美的实验”之一。

1919年,卢瑟福做了用 α 粒子轰击氮核的实验,发现质子。找到了用粒子或 γ 射线轰击原子核来引起核反应的正确的人工核反应方法。

约里奥·居里夫妇发现人工放射性(1934年)

约里奥·居里夫妇于1934年1月19日,发现用钋产生的 α 粒子轰击铝箔时,若将放射源拿走,“正电子的发射也不立即停止,铝箔保持放射性。辐射像一般放射性元素那样以指数律衰减”。并证明其半衰期约为3.5分。他们认为这是通过核反应,最终生成放射性磷。他们向《自然》

