

核！

就在你身边——

不可不懂的核知识+

主编 陈宝珍 韩 玲



第二军医大学出版社
Second Military Medical University Press

要 录 容

本书共分四章。第一章介绍核能的发展历史、现状、前景及核能利用的概况。第二章介绍核能利用的基本原理。第三章介绍核能利用的主要设备。第四章介绍核能利用的安全问题。本书可作为核能专业及相关专业的教材，也可供从事核能工作的工程技术人员参考。

核！就在你身边

——不可不懂的核知识

主 编 陈宝珍 韩 玲



第二军医大学出版社

Second Military Medical University Press

内 容 提 要

本书用深入浅出的语言描述了在日常生活中存在于我们身边的核和放射性现象。本书从原子、原子核物理学、人类利用核能、放射性同位素、放射损伤和防护等的专业术语和概念谈起,揭示核科学的秘密,让我们了解无处不在的核辐射并不可怕,并且告诉我们——核是一把双刃剑,我们既可以充分地利用它,也要注意在利用的同时进行自我保护。

本书行文流畅,通俗易懂,适于广大市民阅读,从而认识和了解核科学的知识。

图书在版编目(CIP)数据

核! 就在你身边——不可不懂的核知识/陈宝珍, 韩玲主编. —上海: 第二军医大学出版社, 2014. 8
ISBN 978-7-5481-0890-0

I. ①核… II. ①陈… ②韩… III. ①辐射—基本知识 IV. ①TL99

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 156613 号

出 版 人 陆小新
责任编辑 许 悦

核! 就在你身边
——不可不懂的核知识

主 编 陈宝珍 韩 玲
第二军医大学出版社出版发行
上海市翔殷路 800 号 邮政编码: 200433
发行科电话/传真: 021-65493093
<http://www.smmup.cn>
全国各地新华书店经销
江苏天源印刷厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 5.125 字数: 13 万字
2014 年 8 月第 1 版 2014 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5481-0890-0/T·037

定价: 18.00 元

编写人员

主 编 陈宝珍 韩 玲

副主编 吕中伟 陈克非 闵 锐 雷呈祥

编 者 (按姓氏音序排列)

陈宝珍 陈克非 韩 玲 雷呈祥

刘玉龙 吕中伟 闵 锐 沈宇林

王丽丽 曾倩倩

序 言



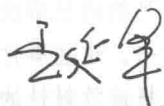
一提起核,公众的第一反应就是核武器、核辐射和癌症。这种心理的形成经历了一个很长的过程。1885年,伦琴发现了X射线,1896年,贝克勒尔发现了自然放射性,人们观察到放射性核素会对身体产生影响——贝克勒尔因长时间随身携带一试管镭的化合物,胸部出现了溃疡。在此之后的几十年里,人类对核的认知是两面性的:一方面,由于放射性核素强大的能量,很多人认为服用镭可以使身体变“热”从而强身健体,含有镭的“保健品”风靡全球。1899年,第一例用X线消除脸部肿瘤的病例被报道。另一方面,人们逐渐意识到放射性对人体有长期影响。当时有很多往仪器表盘上刷荧光粉(含有镭)的工人因经常用舌头舔沾有荧光粉的毛刷而得了口腔肿瘤。X线的大量使用也和癌症的发病呈正相关。第二次世界大战以来,广岛和长崎两颗毁灭性的核弹爆炸,第一次让世人认识到核裂变的巨大威力;随后美苏大力发展核军备,冷战格局形成;1979年的第一次民用领域核事故的三里岛事件、1986年的切尔诺贝利灾难性核事故和2011年的福岛第一核电站事故,组成了可怕的核事故三重奏,对几十年来正在复兴的核能造成了很大冲击。这些事件本身的破坏性和灾难性。加之,新闻媒体大幅度地报道放射性的破坏力及核污染的长期影响,造成了社会公众对核的负面看法,谈“核”色变的阴影始终挥之不去。

人们害怕核,但又离不开核。随着科学技术的发展,人类在掌握核辐射规律的前提下,已经让核技术融入到了人类生产、生活的

方方面面。除了大众熟知的核能发电和放射性核素诊断治疗，在食品保藏、医药消毒、辐照育种、辐射探测、工业废水处理等领域，核技术都发挥着重要作用。与此同时，核技术应用研究也是国防建设、国家经济可持续发展所不可或缺的重要组成部分。随着人类对能源需求的增加，以及对环境保护认识的提升，核技术的应用将会越来越多地出现在人类的生活当中。

实际上，人类从古到今一直生活在一个放射性的世界中，我们周围的自然环境充满着辐射。这种辐射来自土壤、水和空气中的天然放射性及宇宙线辐射。在现实生活中，我们也随时处在各种人工辐射的包围之中。做CT检查时，X线有辐射；癌症放疗，要用到放射性核素；用微波炉热东西，有电磁辐射；甚至就连看电视、用手机，也会有大大小小的辐射。辐射无所不在，到处都是可能成为人们畏惧辐射的对象。

公众对核事业所持的态度是核事业发展的重要主导因素之一。为了普及核知识，增进人们对核这把“双刃剑”的了解和认识，引导公众客观地看待核技术，上海国际战略问题研究会核战略专业委员会和第二军医大学的多位专家教授联合举办过多期核有关的系列科普宣传活动，并在此基础上编写了这本科普读物，用通俗易懂、生动形象的语言，从原子、原子核物理、核能、放射性同位素、放射损伤和防护等的专业术语和概念谈起，结合我们身边常见的核技术应用，揭开核的神秘面纱。



第二军医大学副校长

上海国际战略问题研究会副会长

二〇一四年七月二十四日

目 录



第一章 核与我们的日常生活 (1)

第一节 核辐射的基础知识 (1)

第二节 生活中的核辐射来源与暗藏的辐射污染 (8)

第三节 日常生活的电磁辐射来源 (11)

第四节 电磁辐射种类及其主要危害 (14)

第五节 生活中核辐射的防护 (16)

第六节 日常生活中可能遇到的核与辐射恐怖事件及应对方法 (18)

第二章 核辐射污染的来源、防护及处理 (23)

第一节 核污染来源 (23)

第二节 核反应堆事故 (26)

第三节 放射性播散武器 (29)

第四节 天然存在的主要内照射危害放射性核素 (32)

第五节 核辐射污染的防护与处理 (33)

第三章 外照射辐射损伤及其防护 (34)

第一节 外照射简介 (34)

第二节 外照射损伤的特点 (36)

第三节 外照射辐射损伤防护及急救救治 (42)

第四节 日常生活中的外照射防护的小窍门 (47)

第四章 医疗性核辐射损伤防护及核事故应急	(48)
第一节 医疗核辐射对人类健康的影响及防护	(48)
第二节 常见医疗性核辐射事故及其应急救援	(58)
第五章 核电厂核辐射的防护及应急准备	(60)
第一节 核电的发展简史及我国发展情况	(61)
第二节 核电厂概述	(64)
第三节 核电厂对辐射的防护	(66)
第四节 核电站核事故应急救援	(82)
第五节 核电厂在核事故时对人员的救援	(108)
第六章 核武器的防护及救治	(114)
第一节 核武器的概况	(114)
第二节 对付核武器	(116)
第三节 核武器的杀伤因素及损伤	(116)
第四节 防与治	(117)
第七章 核辐射的损伤防护及应急中的心理问题	(119)
第一节 生理健康与心理健康	(119)
第二节 核紧急情况下产生的心理问题	(123)
第三节 核紧急情况下的心理应对	(129)
第八章 打造城市核化生应急专业队伍的思路	(145)
第一节 问题的提出	(145)
第二节 打造城市过硬的核化生救援精兵强将	(150)
第三节 精兵强将的要求	(152)
第四节 药品器材的准备(具体方案由各专业对口另行详细 制订)	(154)

第一章

核与我们的日常生活

第一节 核辐射的基础知识

随着科学技术的不断发展,放射性核素在国民经济和军事领域中的应用越来越广泛,核辐射已不再是遥不可及的专业名词,它已存在于我们实际生活的方方面面。从医院里的 X 线摄片到移动电话应用的普及,电脑的广泛应用等都使人们随时可能受到辐射的影响,而前苏联切尔诺贝利核电站事故、日本福岛核电站泄露事件更是让民众陷入对核辐射的恐慌中。然而,细数近些年工业、农业、医学、空间探测领域诸多傲人的发展成果,无不包含了对核辐射的巧妙应用。由此看来,对核辐射的全盘否定和一味推崇都不是明智之举,只有认识到核辐射的本质,我们才能充分安全地利用它。因此,就让我们到微观的世界里去掀开核辐射的面纱,一睹它神秘中的真实面貌。

1. 对物质结构的探索不是一步到位的

科学家们通过各种各样的科学实验,不断地探索、发现和假设微观世界的组成和结构,设计了很多种“结构模型”,并进行了论证。终于,直到 2013 年,欧洲的两物理学家发现了“上帝粒子”的存在,至此,人类探索微观世界的物质组成和结构所建立或假设的 4 种模型全部完成。也就是说,这 4 种模型都可以诠释物质的组成和结构,只有综合这 4 种模型,才能完整地反映物质的组成和

结构。

那么,什么是物质?物质是一种占有空间、具有质量的材质。宇宙中,所有可观察到的物质都是由各种各样不同的元素,以不同的方式组合而成。

目前已知的化学元素已有 118 种。元素中最小的颗粒为原子。

物质的组成,依次为物质→分子→元素→原子。

进一步发现,原子的半径约为 10^5 飞米 [fm , $1 \text{ fm} = 0.000\,001 \text{ nm}$ (纳米)]。原子核的半径约为 10^{-1} fm ($1.07 \times \sqrt[3]{A} \text{ fm}$, A 为核子总数)。若将原子比作一足球场,原子核就像足球场中的一粒芝麻。原子核由质子和中子组成。质子和中子也统称为核子。

核子由夸克、轻子、规范波色子、希格斯波色子组成。其中,规范波色子和希格斯波色子是夸克和轻子的反粒子。

质子由 2 个上和 1 个下的夸克组成。

中子由 2 个下和 1 个上的夸克组成。

2. 放射性与放射性核素

1895 年 11 月,德国的物理学家伦琴开始研究真空管中的高压放电效应时,发现某一种阴极射线能够使涂了氰亚铂酸钡的小纸屏产生荧光效应。他不知道这种射线是什么,因此,他暂时命名这种新射线为 X 射线。

1896 年 2 月,法国的物理学家贝可勒尔在对 X 射线本性进行探索研究时,推测荧光和 X 射线可能是由于同一机制产生的,一切荧光现象都可能伴随着 X 射线的存在。他用钾铀酰硫酸盐(一种荧光晶体)放在用黑纸封闭的照相底版上,经日光照射这种晶体,看照相底版是否感光,从而来检验他的这种猜想,结果照相底版上果然有晶体的雾翳像。因此,他认为他的推测被证实了。在



继续实验中,有一次因阴天而受阻,他把铀盐晶体和黑纸包裹的底版一起放在暗室抽屉里。由于钾铀酰硫酸盐晶体的荧光在脱离照射光源后会很快熄灭,按照原先推论,在不受日光照射的情况下,底版上不应出现晶体的雾翳像。而出乎意外的是,当显影后底版上同样出现晶体的雾翳像。他用不发荧光的铀化合物进行实验,也在照相底版上形成雾翳像,可以说明这种穿透性射线和荧光无关。他又用其他发光晶体进行实验,发现只有含铀的晶体才产生穿透性射线。最后,他再用纯铀进行实验,发现其穿透性辐射强度比钾铀酰硫酸盐要高三四倍。这就证实,穿透性射线是从晶体中的铀发出的,发出射线是铀元素的一种特性。他又用实验证明,这种射线像 X 射线一样能使周围的气体电离;但又和 X 射线不同,它可被电场或磁场偏转。因此,当时称这种射线为贝可勒尔射线。后经英国 G. C. N. 施密特,以及特别是法国的居里夫妇的努力,发现钍、钋、镭等都放射这种射线,从而把这种现象定名为放射性,把这类物质称作放射性物质。

某些物质的原子核能自发地放射出我们肉眼看不见,也感觉不到的射线的这种性质叫放射性。具有放射性的核素叫放射性核素。

放射性核素又分为天然放射性核素和人工放射性核素。

自然界存在的各种核素中,原子序数在 84 以后的核素都有放射性,这些都属于天然放射性核素。而在居里夫妇用人工方法制造出人工放射性核素后,人们开始尝试人工制造更多的放射性核素,如用加速器加速各种带电粒子以轰击不同物质的靶原子,放射出射线,形成另一种物质,它们是互为同位素。目前,几乎所有的元素都拥有了放射性同位素。

3. 电离辐射和非电离辐射

能引起物质电离的射线统称为电离辐射。在日常生活中,常

见的电离辐射有 α 射线、 β 射线、 γ 射线、中子、X射线和高能电子束。电离辐射通过在物质中的电离和激发作用，引起介质分子的结构和功能发生改变，从而产生辐射效应。电离辐射作用于生物体时，可产生明显的辐射生物学效应。

不能引起物质电离的射线统称为非电离辐射，如可见光、紫外线、声辐射、热辐射和低能电磁辐射。相较于电离辐射，非电离辐射更是广泛存在于我们的生产与生活中，如金属熔炼、钢管焊接等工艺，雷达监测、无线通讯等技术，烘烤加热设备的运作，甚至是太阳光的照射，都属于悄然无声地与我们亲密接触的非电离辐射。由于非电离辐射的广泛存在，即便其能量不强，它依旧值得引起我们的高度关注。

4. 核衰变与核反应

核衰变是放射性核素的原子核自发地放出某种粒子(α 射线、 β 射线)或光子(γ 线)，并发生核结构改变的过程。

核反应是原子核由于外来的原因，如带电粒子的轰击、吸收中子或高能光子照射等引起核结构的改变。

5. 电离辐射及其与物质的相互作用

射线遇到或穿过物质时，与物质相互作用，由于电离、碰撞、散射等过程而损失能量或改变方向，将能量传递给物质而自身能量逐渐衰减，当能量耗尽时，射线就完全被吸收。显然，电离作用越强，能量消耗越快，越容易被物质吸收，穿透能力就越弱。反之，穿透能力就越强。

(1) α 射线也称甲种射线

α 射线也称 α 辐射(α -radiation)，带有两个单位正电荷，有很强的电离能力，但穿透能力弱，在介质中的射程很短，空气中只有



数厘米,生物组织中只有数十微米,难以穿透皮肤的角质层。 α 射线外照射对人体的危害可以不予考虑。但是一旦 α 粒子通过破损的皮肤或消化道、呼吸道等进入人体内,并聚集在某处,达到一定的剂量时便会对人体产生电离辐射的损伤效应。因此要注意 α 射线体内照射的防护。

(2) β 射线也称乙种射线

β 射线是高速运动的电子流。多数 β 粒子运动速度较大,最大可接近光速。 β 射线的电离能力较 α 射线弱,但穿透能力较 α 射线强,在空气中的最大射程可达数米,在生物组织中为数毫米。因此,当释放 β 射线的核素沾染到皮肤时, β 粒子可损伤皮肤层导致皮肤放射损伤;当此类核素进入体内,可导致体内放射损伤。

(3) X射线和 γ 射线也称丙种射线

γ 射线和X射线类似,是波长极短的一种电磁辐射,不带电,运动速度等于光速,电离能力相对较 α 和 β 射线弱,但穿透能力很强,在空气中可传播至几百米以外,可穿透整个人体,主要造成外照射损伤。

(4) 中子

中子不带电,它的质量略重于质子,在空气中的自由射程很长,可与 γ 射线相比拟,也是造成外照射危害的主要射线种类。

中子与介质相互作用时,产生的效应与中子的能量大小有关。

中子与介质的原子核碰撞后,中子的部分能量传给原子核,而自身靠剩下的能量改变运动方向,此时的中子就有很强的电离能力。

快速的中子若与重原子核相碰,则与核暂时结合,此时的原子核处于不稳定状态,于是原子核会释放出 γ 射线而回到稳定的状态。

稳定的核素在遇到慢速的中子时可以将其截获,使自身称为

放射性核素,这种感生放射性也是中子与物质相互作用的重要方式。

中子的用途主要在物理学、核工业研究领域,例如,用它来撞击稳态的放射性物质产生裂变反应等。

6. 核辐射对人体造成损伤的原因

核射线在接触或穿过人体时,不断将自身的能量传递给所接触的组织,导致这些组织的生物分子或水分子的电离或激发,进而产生水或生物分子自由基,这些自由基作用于脱氧核糖核酸(DNA)、核糖核酸(RNA)、蛋白质等生物大分子,导致重要的生物大分子结构与功能的改变,最后导致生化、生理及代谢的改变,组织细胞的改变,系统功能的改变等一系列过程(表1-1),从而导致器官或组织的损伤。

表1-1 电离辐射与物质作用的时间过程

射线作用于人体的时间	人体内细胞组织器官的变化
物理阶段	
$10^{-18} \sim 10^{-15}$ 秒	射线能量转移给生物分子,生物物质的电离、激发
$10^{-14} \sim 10^{-15}$ 秒	离子-分子反应,离子水合作用
化学阶段	
$< 10^{-12} \sim 1$ 秒	生物大分子自由基的形成
$1 \sim 10^3$ 秒	生物化学反应(核酸、蛋白、脂膜)
生物阶段	
数小时	细胞分裂抑制
数天内	中枢神经系统和胃肠道出现症状
约1月	造血障碍
数月	晚期组织器官损伤(如肺纤维样变)
若干年	诱发肿瘤、遗传效应。



人体内不同组织器官对电离辐射的敏感性不同(表 1-2)。

表 1-2 细胞群体类型、增殖特点及大剂量全身外照射后早期表现

增殖特点	细胞种类	辐射敏感性	大剂量全身外照射后早期表现
持续性分裂	造血干细胞、胃肠黏膜上皮细胞、生殖细胞、肿瘤细胞	很敏感	淋巴细胞减少;恶心、呕吐或有腹泻;不孕不育;肿瘤细胞死亡
受刺激条件下可分裂	肝、肾、唾液腺、胰腺细胞	较不敏感	表现不明显、口干
不分裂	神经细胞、肌肉细胞、成熟红细胞、粒细胞	不敏感	表现不明显

一般说,造血干细胞、胃肠黏膜上皮细胞、生殖细胞、肿瘤细胞等这些增殖能力较强的细胞对辐射最敏感。因此,在受到一定剂量的电离辐射照射后,人体造血系统和胃肠道系统损伤症状较为突出,可出现恶心、呕吐及全血细胞减少等症状。稳定状态的细胞群对辐射不敏感,如神经细胞,肌肉细胞,成熟红细胞、粒细胞。而生长状态的细胞群(可逆性分裂后细胞)对辐射较不敏感,如肝、肾、唾液腺、胰腺细胞。

核辐射对人体的损害并不是“一次性”的。即使当时受到的核辐射损伤,患者经过脱离照射和积极的治疗而康复,但遭到破坏的 DNA 和染色体依然存在,在未来某个时刻仍可能出现恶性肿瘤、白内障、生长发育障碍、生殖功能障碍等辐射的远后期效应。

正是通过对生物大分子纷繁复杂的作用机制,核辐射才对人体造成了一系列的损伤。

第二节 生活中的核辐射来源 与暗藏的辐射污染

辐射无处不在，宇宙空间的各种物质都具有放射性。人们每天都会接触到天然辐射和各种人工辐射，只是剂量的大小而已。

1. 天然辐射源

这种辐射来自宇宙空间，也来自土壤岩石、水和空气中的天然放射性物质。氡气就是一种自然界中的放射性气体，是主要的天然辐射源。人类在地球上生活，必然接受着各种天然辐射的照射，被称为天然本底辐射，简称天然本底。主要包括宇宙射线和地球上的放射性核素。根据国际原子能机构通报，在一般地区，人体受到的天然辐射年累积当量剂量达每年 1 毫希。

(1) 宇宙射线

宇宙射线是从宇宙外层空间进入大气层的各种高能粒子流。在进入大气层之前，称为初级宇宙射线，主要成分是质子、 α 粒子及一些重核。它们进入大气层，与大气层中的原子核相互作用产生各种次级粒子，如介子、电子、光子、质子和中子等，这些次级粒子是地面宇宙射线的主要成分。在海平面上，宇宙射线对人体照射年当量剂量为每年 0.28 毫希。海拔 10 千米内，每升高 1.5 千米，剂量约增加一倍。

(2) 天然放射性核素

天然放射性核素分为三类：一是铀系、钍系和釷系 3 个天然放射系中的核素；二是地壳中存在的除以上 3 个放射系以外的其他天然放射性核素，如钾-40、铷-87 等；三是宇宙射线与大气原子核相互作用产生的氢-3、碳-14 等放射性核素。天然放射性核素



的种类很多,但主要的是铀、镭、钍、氡、钾-40 和碳-14 等。地球表面各地地壳成分不同,放射性水平也有差异,个别地区天然放射性核素水平可高数倍,称为高本底地区。

土壤、岩石和海水中钾-40 的含量最高。土壤中放射性含量由其下面的岩石性质所决定,火成岩含量最高,石灰岩最低。淡水中钾-40 的含量可忽略不计。矿泉水和深井水的放射性主要是土壤岩石中的氡,逸散进入,其含量高于地面水。因为地面水中的氡已大部分释放入空气,一般低于 10 微微居里/升。

空气中的天然放射性核素,主要为地表逸入大气中的氡及其子体。空气中的氡含量受许多因素的影响,同一地点氡浓度一般是凌晨高于午后,秋冬季高于春夏季。存在于房屋内的主要为氡气,屋内主要受通风条件的影响,一般是室内高于室外。据权威部门调查,人类所受到的天然辐射剂量中,约有 40% 是由氡气引起的。氡本身会发生自然衰变并产生具有放射性的子体衰变产物。当人们呼吸时,氡的衰变产物能够被肺捕捉呼吸到,由于这些衰变产物的进一步衰变放出 α 粒子等射线,这种小的能量“炸弹”能够损坏肺的组织,甚至导致肺癌。降低室内氡气的方法主要有自然通风、强制通风、密封裂缝等。因室外氡气浓度较低,经常打开窗户和门进行自然通风,可使室内氡浓度降低 90% 以上。

在近地面的空气中,氡-3 的浓度约为 50 微微居里/升,碳-14 的浓度约为 1.5 毫微微居里/升。

动、植物类食物中的天然放射性核素主要为钾-40、镭-226 和碳-14 等。

建筑材料如花岗石、泥土、砖瓦、混凝土和木材等都或多或少地含有放射性物质。其中以花岗石的放射性活度浓度最高,红砖次之,青砖较低,木材最低,而混凝土则随其原料而异。

(3) 人体内的放射性核素

人们摄入的空气、食物、水中都有微量的天然放射性物质。环境

