

核科学百年讲座

第九讲 电离辐射与人类生活及环境*

郭 秋 菊[†]

(北京大学物理学院技术物理系 北京 100871)

摘 要 文章介绍了在人类生存环境中与一般公众生活密切相关的各种电离辐射的来源、影响因素、变化规律、对公众所产生的照射剂量以及有可能导致的生物效应,特别是对天然辐射照射做了详细和系统的叙述分析,同时对人类实践活动产生的人工辐射和医学照射也进行了介绍和评述.文章旨在引导人们正确认识放射性这一自然现象,在消除核恐怖心理的同时,对其在应用中的安全性予以足够的重视.

关键词 电离辐射,天然辐射,人工辐射,公众,环境,辐射防护

A hundred years of nuclear science ——radiation and our human environment

GUO Qiu-Ju[†]

(Department of Technical Physics , School of Physics , Peking University , Beijing 100871 , China)

Abstract The sources of ionizing radiation and their infection factor , exposure dose and possible effects on the general public and environment are reviewed. Natural radiation exposure is discussed in detail especially , while other man-made environmental radiation and medical radiation exposure are also assessed. Letting the public be aware of and understand radiation phenomena in a proper light is the purpose of this paper.

Key words ionizing radiation , natural radiation , man-made environmental radiation , public , environment , radiation protection

1 引言

在我们人类赖以生存的地球上,在其诞生的那一时刻起,就存在着这样一类核素:其原子核内部不稳定,可以自发地发生核衰变而成为一种新的核素,同时释放出一种或多种可以使作用物质发生电离的电磁波或粒子(亦称之为射线).核素这种自发地发生衰变,同时放出射线的特性称为放射性(activity);具有放射性的核素则称之为放射性核素.这些具有一定的能量,可以使物质发生电离的电磁波或粒子统称为电离辐射(ionizing radiation).

地球上的所有生物体都无时无刻不受到自然界中始终存在的电离辐射的照射,但人类却直到19世纪末才发现并开始认识和研究放射性物质和电离辐

射.天然辐射照射源有来自外层空间和太阳表面的宇宙射线,也有来自地壳、建筑材料、空气、水、食物和人体内部存在的地球的放射性核素.可以说包括我们人类自身在内的所有生物都是在各种电离辐射的照射下演变、进化和生活的,在21世纪初的今天,放射性核素和电离辐射的应用已经渗透到我们生活中的各个角落,在工业、农业、医学和科研等各个领域得到广泛应用,给人类社会带来了巨大的利益,与此同时,其应用也有可能给人类健康和环境带来危害.

* 国家自然科学基金(批准号:10075070)资助项目

2003-02-20 收到初稿,2003-05-23 修回

[†] E-mail: qjguo@pku.edu.cn

正确全面地认识电离辐射,了解我们的生活环境与电离辐射之间天然的密切关系,消除核恐怖心理,在应用核能技术、放射性核素以及电离辐射的同时,防止和控制辐射危害,保护环境,这也是时代对我们的要求。

图 1^[1]是我国居民在生活环境中所受到的不同来源的电离辐射照射示意图。可以看出不可避免的天然辐射的照射占绝大部分,认识这一点,将有助于广大公众消除核恐怖心理,正确对待核技术在生活中的应用。

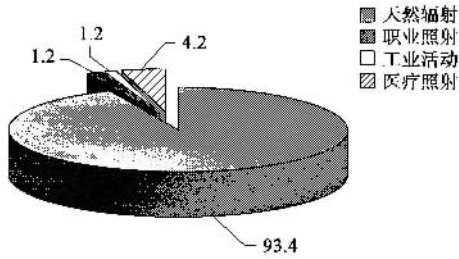


图 1 我国居民受电离辐射剂量份额

2 环境中的天然辐射照射

来自于天然辐射照射源的电离辐射是自然界中众多的自然现象之一。自然界中始终存在的来自天然电离辐射源的照射,统称为天然本底照射,其照射源包括来自外层空间和太阳表面的宇宙射线,以及地壳、建筑材料、空气、水、食物和人体内部存在的地球的放射性核素。表 1^[2]是联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)归纳的各种天然照射成分产生的世界范围的人均年有效剂量。

表 1 天然辐射源所致平均辐射剂量($\text{mSv} \cdot \text{y}^{-1}$)

照射源	世界范围平均年有效剂量	典型范围
外照射		
宇宙射线	0.4	0.3—1.0 ^{*1}
地面 γ 射线	0.5	0.3—0.6 ^{*2}
内照射		
吸入(主要是氡)	1.2	0.2—10 ^{*3}
食入	0.3	0.2—0.8 ^{*4}
总和	2.4	1—10

*1 从海平面到高海拔地区;*2 取决于放射性核素在土壤和建筑材料中的含量;*3 取决于室内氡气累积;*4 取决于放射性核素在食物和饮用水中的含量

2.1 宇宙射线

1901 年科学家们发现了空气中的电离现象,1911—1919 年期间,奥地利物理学家赫斯(Hess)和德国物理学家科尔霍斯特(Ker Hurst)等人又进一步探知到高贯穿射线是从上空进入地球大气层的,1925 年米利肯(Millikan)及其同事又做了实验研究,后取名为宇宙射线。

根据分类,人们把从遥远的宇宙空间进入地球大气层的高能粒子称为初级宇宙射线;初级宇宙射线与大气层中的原子核相互碰撞产生的次级粒子和电磁辐射称为次级宇宙射线。初级宇宙射线主要是由质子、 α 粒子和电子等高能粒子所组成。次级宇宙射线进入大气层后,与大气中的氮、氧等各种原子核发生核反应,释放出次级质子和中子。宇宙射线的能量一般在 $1-10^{14}$ MeV,通常高能粒子的数量很少。

当人们开始研究宇宙射线强度的时候,发现其强度有随海拔高度变化而变化的规律,即宇宙射线强度在距地球表面大约 17—20km 的高空达到最大值,从这里向下逐渐减小,向上稍有减弱后基本保持恒定。所以住在高原上的人群要比住在平原上的人群受到宇宙射线的照射多一些。此外,宇宙射线的强度还受地球磁场和太阳调制等因素的影响,表现为在地球磁区宇宙射线强度要比赤道区的大一些。

人们也许会问:这些渊源久远的宇宙射线究竟来自何处?目前人们普遍认为,宇宙射线的大部分粒子并不是太阳爆发的产物,而有可能起源于太阳系之外的某些天体,像银河系来的银河宇宙射线就是从星际空间进入太阳系的,其中质子能量范围约为 $1-10^{14}$ MeV。目前随着高能天体的发现,人们又自然而然地把这些发生剧烈爆发的天体与宇宙射线的起源联系起来。自脉冲星发现之后,又有人认为这是宇宙中的天然高能粒子加速器,宇宙射线可能是从它那里发射出来的。总之,关于宇宙射线起源的种种假说,尚待不断地探索和证实。

宇宙射线对人类具有一定的潜在危害,主要表现在太空辐射,例如会对宇航员或航空飞行机组人员产生较高的照射剂量,因此需要采取相应的防护措施。但在我们生活的地球上,由于有大气层的保护,地球上的人类和生物受到宇宙射线的照射是很微弱的(如表 1 所示),年平均剂量仅为 0.4 mSv。至于宇宙射线对生命的起源和发展究竟有什么影响,还有待于进一步研究。

2.2 地球辐射

早在 1896 年,法国物理学家贝克勒尔(Becquerel)第一次发现了铀矿石可以使照相底版感光,这

是人类首次发现放射性物质,同年,居里夫人发现了自然界中的钷也有和铀相同的放射性;后来居里夫人又从沥青铀矿渣中发现了钋和镭.此后人们才认识到,地球上到处都存在着天然放射性核素,它们存在于所有的土壤、岩石等地壳中,并通过溶解、渗透或迁移等途径进入生物圈,加入到人类生活的环境中来.

地面上的天然放射性核素分为宇生和原生两类.宇生放射性核素主要是由于宇宙射线和大气层中的原子核相互碰撞产生的,从辐射防护的观点看, ^3H , ^7Be , ^{14}C , ^{22}Na 是对人引起外照射的主要宇生放射性核素.原生放射性核素是从地球诞生时便存在于地壳中的天然放射性核素,主要有铀系(^{238}U 放射系)、钍系(^{232}Th 放射系)和钶系(^{235}U 放射系)以及 ^{40}K , ^{87}Rb 等独立存在的放射性核素.

天然放射性核素在地壳中的分布极其广泛,无所不在.表2^[2]是对我国煤、土壤和建材中放射性核素含量的总结.地球表面中天然放射性核素的分布,因各地的岩石和土壤的不同而有很大的差异,例如,我国广东省阳江地区的天然放射性水平是北京地区的三倍,称为天然放射性高本底地区.其中 ^{238}U 和 ^{232}Th 两个天然放射系的子体核素和 ^{40}K 衰变时会有 γ 射线放出,对公众产生一定剂量的外照射辐射.近年来,花岗石用于室内装饰在我国有明显的上升趋势,影响天然石材放射性水平的因素主要是石材矿床的岩性,大理石、板石和黑色花岗石基本属于A类石材,其使用范围不受任何限制.红色酸性岩和碱性岩具有较高的放射性比活度^[3].限制放射性水平较高的石材用于居室内装饰,将有效地降低室内环境辐射水平,减少公众所接受的天然辐射剂量.

表2 我国煤、土壤和建材中放射性核素平均含量($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$)

类别	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
煤	36	30	102
土壤	36.5	49.1	580
建材	42.8	52.5	410

2.3 室内环境中的氡气与肺癌

在人类受到的天然辐射照射中,大气中的氡气及其衰变子体是最重要的贡献者.氡气是由镭(^{226}Ra)衰变时产生的无色、无味的放射性惰性气体,生成后通过扩散等途径进入环境大气中,一般居室内氡气来源于房屋地基的土壤和建材的析出与扩散,如果不注意对建筑结构涉及和对建筑材料的选

择,同时又不注意室内通风,在室内可达到很高的浓度.伴随人们的呼吸,氡及其子体进入呼吸道,可以沉积在气道壁上,衰变时放出的 α 粒子可以对局部组织的细胞产生照射剂量,从而导致肺癌的发生.矿工流行病学研究已经证实:氡及其子体是导致人类肺癌的主要危害因素之一¹⁾,国际放射防护委员会(ICRP)第50号出版物估计公众肺癌的10%可归因于氡及其子体的照射.世界卫生组织(WHO)将氡列为19种致癌物质之一.

为了控制一般居室内氡及其子体的照射所带来的危害,许多国家开展了降低氡水平的治理方法的研究,制定了相应的室内氡浓度控制法规和计划,并取得了明显的效果.例如,美国国会1998年颁布了《室内氡减低法》,其目标是“建筑物内空气中氡浓度与建筑外的相同”.同时还包括住宅内氡水平调查、制定行动计划和对高氡房屋进行治理等一系列计划.

我国近年来肺癌发病率逐年增加,但尚未有肺癌与氡水平相互关系的系统可靠的调查结果.随着公众对室内空气质量的关注,国家有关部门也颁布了相应的法规,如“住宅内氡浓度控制标准”(GB/T 16146-1995)和“建筑材料放射卫生防护标准”(GB 6566-2000).在了解和认识氡及其危害的基础上,对室内空气中的氡浓度进行控制和治理是完全可以做到的.

2.4 增加的天然辐射照射

随着人类对自然界开发的不断扩大和深入,越来越多的人类活动可能导致天然辐射照射的增加.主要包括(1)工业化进程的加快(如核工业、非铀矿山和地热开发等);(2)城市化进程的加快导致的建筑物密集;(3)大量新型建材和废渣建材的开发利用(如煤渣砖、矿渣水泥、磷石膏等);(4)住房结构的改变以及住房密闭性的增加;(5)空调的普及以及地下空间的开发利用等人为活动.

所有这些人类实践活动导致人类生存环境中的天然放射性在不断增加,如不加以控制会导致公众受照射剂量的增高.近年来国际辐射防护界正逐步把天然电离辐射纳入到管理控制的范围,明确提出天然辐射需要控制.

3 环境中的人工辐射照射

半个多世纪以来,一些人类活动、实践和涉及辐

1) 参阅郭秋菊.氡的危害及剂量估算.首届氡监测和仪器比对学习研讨班讲义,卫生部,2002年

射源的事件导致了放射性物质通过诸多途径向环境中释放,从而使人类受到了除天然辐射照射之外还受到人工辐射照射。

3.1 核武器实验

全球人类受到的主要人工辐射照射来自于在1945年至1980年间进行的大气层核武器实验^[2],每次核试验都导致大量的放射性物质向环境中无约束地释放,在大气中广泛地扩散并沉积在地球表面的各个地方。

尽管冷战已经结束,到目前为止有关国家每次核试验总的爆炸当量数据已经公开,但绝大部分的裂变和聚变当量数据仍然没有公开,根据已有的数据和大气输运模式的应用,人们已经能够确定出世界每个半球上放射性核素随时间的扩散和沉积变化规律,并估算出各种途径产生的总年剂量。例如1963年世界平均年有效剂量最高达 $150\mu\text{Sv}$,到2000年降至 $5\mu\text{Sv}$,后者主要是 ^{14}C , ^{90}Sr 和 ^{137}Cs 等残留在环境中的放射性核素照射所致。其中北半球的平均年剂量高出10%,这是由于绝大部分核试验是在北半球进行的,而南半球相对较低。尽管人们对核试验比较担心,但其所致年剂量仍然相对较低,最多仅为天然辐射源本底水平的7%左右。

3.2 核电事业

1938年,德国科学家哈恩和斯特拉斯发现,用热中子轰击 ^{235}U 原子核时,原子核会分裂为两个质量差不多的核,并放出2—3个中子。这一发现激起了人们利用核的结合能来造福人类的梦想。利用核反应堆生产电能是目前正在继续的人类实践。假设这种实践持续100年,在反应堆正常运转的前提下,人们估算其最大集体累积剂量约为 $6\text{人 Sv}(\text{GW})^{-1}$,假设按目前每年连续生产250GW电量计算,每年个人最大辐射剂量应小于 $0.2\mu\text{Sv}$ 。所以可以说对于一般公众,在所受到的辐射照射中,来自核电的贡献几乎可以忽略不计。

但在发生事故的情况下,来自核电站反应堆的环境污染和辐射照射将会有一定的意义。切尔诺贝利事故就是一个明显的例子,它是造成辐射照射的最严重的事故。它造成30位工作人员在几天或几周内死亡,并使100多人受到辐射损伤。但尽管在反应堆周围局部地区的辐射水平很高,在欧洲地区和整个北半球估算的剂量并不高,事故发生一年以后,对前苏联以外的欧洲地区造成的区域性最大剂量也已经小于天然本底的一半,对绝大部分公众并未造成严重的健康后果。

4 医学辐射照射

在世界范围内,对一般公众个人照射贡献的第二大因素是医学辐射^[2],由于遍布全球的医学辐射服务的应用和供应越来越广泛,使得医学辐射照射随时间呈现稳定增加的趋势。技术的进步和经济的发展促使保健模式发生变化,从而导致医用照射应用及所致剂量的进一步增加。例如X射线的应用,尤其是计算机X射线断层造影术和介入疗法应用逐年增加。近年来,在诊断和治疗方面,对所关心部位针对性更强的放射性药物的研究和问世,势必将推动核医学实践更上一层楼。

通常,医学照射限于所关心的解剖部位和针对特定的临床目的,使得被检查或接受治疗的人直接受益。就辐射照射所导致的剂量而言,对病人个人诊断照射产生的剂量是相当低的,典型的有效剂量为 $0.1\text{—}10\text{mSv}$,其原则是只要达到取得所需足够诊断信息即可。相反,治疗是采用很高的剂量精确地照射肿瘤部位,放射治疗的典型剂量为 $20\text{—}60\text{Gy}$,用如此的大剂量消除疾病或者减缓症状,但这是一般是指癌症的治疗。

5 结束语

在20世纪,对电离辐射的认识,以及核科学的应用有了突飞猛进的发展。核电站、放射治疗和诊断、放射示踪、辐照技术、辐射育种、辐射探伤等新技术正在造福人类,为人类社会的发展和进步做出巨大的贡献。如同其他新技术一样,电离辐射在造福人类社会的同时,也会带来一定的危害,需要我们正确地认识,必要时采取一定的防护措施,来避免和减少辐射危害。

可以预言,在21世纪,在我们的地球上,电离辐射会与人类社会以及人类赖以生存的环境将会发生越来越密切的关系。

参 考 文 献

- [1] 潘自强. 辐射防护的现状与未来. 北京: 原子能出版社, 1997 [Pan Z Q. Current and the Future of Radiation Protection. Beijing: Atomic Energy Press, 1997(in Chinese)]
- [2] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, United Nations, New York, 2001
- [3] 王南萍. 辐射防护通讯 2001 21(3) 22 [Wang N P. Radiation Protection Bulletin 2001 21(3) 22(in Chinese)]

中国黄土地上成长起来的物理学家——冯端院士*

闵乃本

(南京大学物理系 固体微结构物理国家重点实验室 南京 210093)

光阴似箭,流年如水,不知不觉中,我的老师冯端教授,今年迎来了他的80华诞。屈指算来,冯先生已在科学事业和教育战线辛勤耕耘了近60个春秋,至今仍然笔耕不辍,主持撰写《凝聚态物理学》专著。他是一位才思敏捷,治学严谨,融会贯通的学者,是一位诲人不倦,能凝心聚力的学术领导人,是一位中国黄土地上成长起来具有开拓进取精神的物理学家,为我国教育事业和物理学事业作出了巨大贡献。

1 博览群书,积健为雄

冯先生,祖籍浙江绍兴,1923年出生于江苏苏州的书香门第,父亲冯祖培,长诗词,工书法。兄弟姐妹四人,长兄冯煥,在美国获博士学位后,定居美国,曾任通用电器公司研究发展中心高级工程师。大姐冯慧,为中国科学院动物研究所研究员。二哥冯康,中国科学院院士,曾任中国科学院计算中心主任。冯先生从小爱读书,常进出于学校图书馆,自己找书看,养成了博览群书的习惯。宽松和谐的家庭环境和学习氛围的熏陶,造就了冯先生沉静稳重的性格和献身科学事业的志趣。冯端的青年时期正值抗日战争,他随父母从苏州迁往福建,又迁居重庆,并于1942年以同等学历考入原中央大学(现南京大学)物理系,1946年获理学学士学位,留校任教至今。从助教到中国科学院院士,历任教研室主任、校研究生院院长、中国物理学会理事长,不论酷暑寒冬,他的办公室、书房,都铺满展开的书籍和文献资料,留下一行行作为一名园丁和科学家为我国教育事业和科学事业辛勤耕耘的清晰足迹。

2 厚积薄发,独树一帜

冯先生在南京大学执教的50多年中,从基础课到专业课,从实验课到理论课,几乎教遍了物理学的

各个分支。他博学多才,又能融会贯通,授课时概念清晰,逻辑严密,立论高远且深入浅出,深受广大师生的喜爱。他教学相长,长期的教学实践,打下了扎实的基本功。20世纪60年代初,国际上金属物理体系尚未完全确立。冯先生在科研实践中,以合金理论、晶体缺陷、扩散、相变与力学性质等为主线,与王业宁、丘第荣合作撰写了《金属物理》,成为国内该领域第一部著作,纲举目张,体系井然,在学术界产生很大影响。后于80年代又进一步主编撰写了《金属物理学》四卷修订本,得到国内外学术界高度称赞。在世纪之交,国内外缺乏一部能将材料科学融贯成为一体的学术著作,他与师昌绪院士、刘治国教授共同主编撰写了该著作,建立了融贯论述材料科学的新体系,实现了从金属物理跨越到材料科学。80年代之后,冯先生认识到凝聚态物理学与固体物理学在范式上存在差异,以及固体物理学教科书与近代文献间存在鸿沟,需建立新的学科体系,撰写了具有独创性的《凝聚态物理学新论》,影响极其广泛,获得国家科技进步二等奖。经过几十年的研究积累和十多年的教学实践,冯先生正在主持撰写内容更为完备和系统更为完整的《凝聚态物理学》,上册已出版,拟实现从固体物理学拓展到凝聚态物理学。冯先生的学术视角触及多个领域,科学工作跨越物理学和材料科学两大学科,为推动我国金属物理学和凝聚态物理学的发展做出了重大贡献。

3 治学严谨,诲人不倦

冯先生没有到国外留学和工作的经历,中国的黄土地并没有限制他成为一代著名科学家。1993年,他获得第三世界科学院院士称号,成为国际有影响的科学家。他的成功来自于为学笃行,为人诚信。

* 2003-06-24收到