



中等职业教育卫生部规划教材  
全国中等卫生职业教育教材评审委员会审定

全国中等卫生职业学校教材

供 医学影像技术 专业用

# X线物理与防护

主 编 李迅茹

 人民卫生出版社

全国中等卫生职业学校教材

供医学影像技术专业用

# X线物理与防护

主 编 李迅茹

编 者 李迅茹 (北京卫生学校)

谢银勋 (湖北省卫生学校)

人 民 卫 生 出 版 社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

X线物理与防护/李迅茹主编. —北京:  
人民卫生出版社, 2002

ISBN 7-117-05231-7

I. X... II. 李... III. ①X射线-放射医学:  
物理学-专业学校-教材②X射线诊断-辐射防护-专业  
学校-教材 IV. ①R811.1②R142

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 085995 号

## X线物理与防护

主 编: 李 迅 茹

出版发行: 人民卫生出版社 (中继线 67616688)

地 址: (100078) 北京市丰台区方庄芳群园 3 区 3 号楼

网 址: <http://www.pmph.com>

E-mail: [pmph@pmph.com](mailto:pmph@pmph.com)

印 刷: 北京市通县永乐印刷厂

经 销: 新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 7.5

字 数: 156 千字

版 次: 2002 年 12 月第 1 版 2002 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号: ISBN 7-117-05231-7/R·5232

定 价: 8.50 元

著作权所有, 请勿擅自用本书制作各类出版物, 违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

## 全国中等卫生职业教育教材评审委员会

顾问 祁国明

主任委员 孟祥珍

副主任委员 夏泽民、姜渭强

委员 (以姓氏笔画为序)

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 王玉玲 | 王 辉 | 王锦倩 | 邓步华 | 兰文恒 |
| 孙兆文 | 李常应 | 巫向前 | 吴德全 | 陈明非 |
| 金东旭 | 罗 刚 | 赵汉英 | 姜 辉 | 梅国建 |
| 熊云新 | 廖福义 |     |     |     |

秘书长 张 菁

## 中等职业教育卫生部规划教材编写说明

为了贯彻中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定，落实面向 21 世纪教育振兴行动计划中提出的职业教育改革规划，卫生职业教育教学指导委员会根据我国城乡卫生事业发展对中等卫生专门人才的需要，依据教育部有关文件精神，对“中等职业学校专业目录”中规定的医药卫生类 11 个专业编制了指导性教学计划与教学大纲。根据卫生部的部署，由卫生部教材办公室统一编辑、出版了医药卫生类 11 个专业的教学计划和教学大纲，按照新的教学计划和教学大纲的要求组织全国中等卫生学校的力量，编写了“中等职业教育卫生部规划教材”，这套教材共 111 种，将于 2001 年秋季开始陆续供各中等卫生学校使用，2002 年底全部出版。

这套教材全面贯彻素质教育的思想，从社会发展对高素质和中、初级卫生技术专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新能力和实践能力的培养；既继承了 1994 年卫生部颁发的专业教学计划的科学、严谨、强化专业培养目标的优势，又充分考虑到社会发展、科技进步和终身教育的需要，贯彻了以全面素质为基础，以能力为本位的职教观念。为了保证“中等职业教育卫生部规划教材”的编写质量，2001 年 4 月成立了“全国中等卫生职业教育教材评审委员会”，在今后教材的规划、组织、编写、管理、使用、培训、评审等工作中起参谋、纽带作用。

希望各校师生在使用“中等职业教育卫生部规划教材”的过程中，注意总结经验，及时提出修改意见及建议，使其质量不断完善和提高。

卫生部教材办公室

2001 年 6 月

## 中等职业教育卫生部规划教材品种

- |                      |             |
|----------------------|-------------|
| 01. 《语文（上册）》         | 主 编：郭常安     |
| 02. 《语文（下册）》         | 副主编：刘重光     |
| 03. 《英语（上册）》         | 主 编：郭常安     |
| 04. 《英语（中册）》         | 副主编：刘重光     |
| 05. 《英语（下册）》         | 主 编：梁遇清     |
| 06. 《数学（上册）》         | 副主编：孙国棟     |
| 07. 《数学（下册）》         | 主 编：梁遇清     |
| 08. 《物理》             | 副主编：孙国棟     |
| * 09. 《化学》           | 主 编：梁遇清     |
| 10. 《计算机应用基础》        | 副主编：孙国棟     |
| * 11. 《正常人体学基础》      | 主 编：秦兆里     |
| * 12. 《解剖生理学基础》      | 副主编：秦玉明     |
| * 13. 《病原微生物学与免疫学基础》 | 主 编：秦兆里     |
| * 14. 《病理学基础》        | 副主编：秦玉明     |
| * 15. 《药理学基础（一）》     | 主 编：刘发武     |
| * 16. 《心理学基础》        | 主 编：张锦楠     |
| * 17. 《护理概论》         | 主 编：刘书铭     |
| * 18. 《护理技术》         | 主 编：刘英林     |
| * 19. 《临床护理（上册）》     | 副主编：刘桂萍、欧阳槐 |
|                      | 主 编：彭 波     |
|                      | 副主编：江 红、王汝信 |
|                      | 主 编：姚秀滨     |
|                      | 主 编：丁运良     |
|                      | 副主编：王志敏     |
|                      | 主 编：王开贞     |
|                      | 主 编：陆 斐     |
|                      | 主 编：李晓松     |
|                      | 主 编：马如娅     |
|                      | 副主编：鲍曼玲     |
|                      | 主 编：夏泉源     |
|                      | 副主编：党世民、蔡小红 |
|                      | 阎国钢         |

- |                   |                          |
|-------------------|--------------------------|
| * 20. 《临床护理 (下册)》 | 主 编: 夏泉源<br>副主编: 辛琼芝、张静芬 |
| * 21. 《社区保健》      | 主 编: 陈锦治<br>副主编: 黄惟清     |
| * 22. 《遗传与优生》     | 主 编: 康晓慧                 |
| * 23. 《产科学基础》     | 主 编: 宋秀莲<br>副主编: 任新贞、谢 玲 |
| * 24. 《妇婴保健》      | 主 编: 倪必群                 |
| 25. 《药理学基础 (二)》   | 主 编: 范志刚                 |
| 26. 《中医学基础》       | 主 编: 廖福义                 |
| 27. 《常用诊疗技术》      | 主 编: 于三新<br>副主编: 常唐喜     |
| 28. 《疾病概要 (一)》    | 主 编: 闫立安<br>副主编: 王志瑶     |
| * 29. 《疾病概要 (二)》  | 主 编: 任光圆<br>副主编: 戴 琳     |
| 30. 《康复医学概论》      | 主 编: 李茂松                 |
| 31. 《健康教育》        | 主 编: 肖敬民                 |
| 32. 《预防医学》        | 主 编: 陈树芳<br>副主编: 张兆丰     |
| 33. 《保健学基础》       | 主 编: 李胜利<br>副主编: 卢玉清     |
| 34. 《急救知识与技术》     | 主 编: 谢天麟                 |
| 35. 《康复功能评定》      | 主 编: 章 稼                 |
| 36. 《康复治疗技术》      | 主 编: 梁和平<br>副主编: 刘海霞     |
| 37. 《康复护理技术》      | 主 编: 王瑞敏                 |
| 38. 《疾病康复学》       | 主 编: 李忠泰<br>副主编: 李贵川     |
| * 39. 《有机化学》      | 主 编: 曾崇理                 |
| * 40. 《分析化学》      | 主 编: 李锡霞                 |
| * 41. 《寄生虫学检验技术》  | 主 编: 尹燕双                 |
| * 42. 《免疫学检验技术》   | 主 编: 鲜尽红                 |
| * 43. 《微生物学检验技术》  | 主 编: 郭积燕<br>副主编: 董 奇     |
| * 44. 《临床检验》      | 主 编: 赵桂芝<br>副主编: 何建学、黄斌伦 |
| * 45. 《生物化学检验技术》  | 主 编: 沈岳奋<br>副主编: 费敬文     |

- |                          |                        |
|--------------------------|------------------------|
| * 46. 《卫生理化检验技术》         | 主 编：梁 康<br>副主编：何玉兰、章汉宁 |
| * 47. 《病理学检验技术》          | 主 编：姜元庆<br>副主编：马 越     |
| 48. 《无机化学》               | 主 编：刁凤兰                |
| 49. 《生物化学》               | 主 编：程 伟                |
| 50. 《组织胚胎学》              | 主 编：赵 明                |
| 51. 《免疫组织化学和分子生物学常用实验技术》 | 主 编：王学民、田乃增            |
| 52. 《临床病理诊断基础》           | 主 编：陈家让                |
| 53. 《口腔解剖生理学基础》          | 主 编：李华方<br>副主编：谢善培     |
| 54. 《口腔疾病概要》             | 主 编：李葛洪                |
| 55. 《口腔修复材料学基础》          | 主 编：杨家瑞                |
| * 56. 《天然药物化学》           | 主 编：王 宁                |
| * 57. 《药物化学》             | 主 编：唐跃平                |
| * 58. 《天然药物学基础》          | 主 编：李建民<br>副主编：张荣霖     |
| * 59. 《药理学基础》            | 主 编：姚 宏<br>副主编：吴尊民     |
| * 60. 《药事管理》             | 主 编：张乃正                |
| * 61. 《药物分析化学》           | 主 编：李培阳<br>副主编：吴凯莹     |
| * 62. 《药剂学基础》            | 主 编：陈明非<br>副主编：方士英     |
| * 63. 《药品经营与管理》          | 主 编：张钦德                |
| 64. 《会计学基础》              | 主 编：王富阶                |
| 65. 《药品市场学》              | 主 编：钟明炼                |
| 66. 《电工学基础》              | 主 编：傅定芳                |
| 67. 《常用制剂设备》             | 主 编：高 宏                |
| 68. 《药物合成反应》             | 主 编：牛彦辉                |
| 69. 《工业微生物》              | 主 编：吕瑞芳                |
| 70. 《可摘义齿修复工艺技术》         | 主 编：姚江武<br>副主编：解岩红     |
| 71. 《固定义齿修复工艺技术》         | 主 编：林雪峰<br>副主编：杨向东     |
| 72. 《口腔正畸工艺技术》           | 主 编：杜维成                |
| 73. 《口腔医学美学》             | 主 编：肖 云                |
| 74. 《口腔预防保健》             | 主 编：马 涛                |
| 75. 《人际沟通》               | 主 编：黄力毅                |



- |                        |              |
|------------------------|--------------|
| 76. 《眼科疾病基础》           | 主 编: 孟祥珍     |
| 77. 《眼镜光学基础》           | 主 编: 戴臣侠     |
| 78. 《电工与电子技术》          | 主 编: 赵笑畏     |
|                        | 副主编: 王立普     |
| 79. 《X线物理与防护》          | 主 编: 李迅茹     |
| 80. 《人体解剖生理学基础 (影像专业)》 | 主 编: 高明灿     |
|                        | 副主编: 夏武宪     |
| 81. 《医用 X 线机构造和维修》     | 主 编: 王德华     |
|                        | 副主编: 程远大     |
| 82. 《X 线摄影化学与暗室技术》     | 主 编: 吕文国     |
| 83. 《影像技术学》            | 主 编: 李 萌     |
|                        | 副主编: 陈本佳     |
| 84. 《影像诊断学》            | 主 编: 赵汉英     |
|                        | 副主编: 王学强     |
| 85. 《模拟电子技术学》          | 主 编: 朱小芳     |
| 86. 《超声诊断学》            | 主 编: 夏国国     |
|                        | 副主编: 于三新     |
| 87. 《心电图诊断学》           | 主 编: 刘士生     |
|                        | 副主编: 刘昌权     |
| 88. 《细胞生物学及细胞培养技术》     | 主 编: 张丽华     |
| 89. 《生物药物基础》           | 主 编: 陈树君     |
| 90. 《实验动物学基础及技术》       | 主 编: 白 蓉     |
| 91. 《免疫学与生物技术》         | 主 编: 胡圣尧     |
| 92. 《微生物学与生物技术》        | 主 编: 庠 伟     |
|                        | 副主编: 夏和先     |
| 93. 《生物化学与生物技术》        | 主 编: 李宗根     |
|                        | 副主编: 黄 平     |
| 94. 《生物制品基础及技术》        | 主 编: 朱 威     |
|                        | 副主编: 段巧玲、徐闻清 |
| 95. 《输血与血型基础》          | 主 编: 董 芳     |
| 96. 《生物药物制剂工艺》         | 主 编: 邓才彬     |
| 97. 《实验室管理与质量控制》       | 主 编: 冯仁丰     |
| 98. 《社区卫生管理》           | 主 编: 常唐喜     |
| 99. 《卫生统计》             | 主 编: 韩 敏     |
|                        | 副主编: 钟 实     |
| 100. 《流行病学概论》          | 主 编: 周海婴     |
| 101. 《医学信息检索》          | 主 编: 李一杰     |
| 102. 《卫生信息管理》          | 主 编: 梁玉涛     |
|                        | 副主编: 蒋 琬     |

|                    |         |
|--------------------|---------|
| #103. 《护理礼仪》       | 主 编：刘桂英 |
| #104. 《医学专业英语（上册）》 | 主 编：刘国全 |
|                    | 副主编：王 霞 |
| #105. 《医学专业英语（下册）》 | 主 编：刘国全 |
|                    | 副主编：王 霞 |
| #106. 《美育》         | 主 编：朱 红 |
| #107. 《营养与膳食指导》    | 主 编：洪安琨 |
| #108. 《就业与创业指导》    | 主 编：温树田 |
| #109. 《卫生法规》       | 主 编：钱丽荣 |
| #110. 《医学伦理学》      | 主 编：刘邦武 |
| #111. 《社会学基础》      | 主 编：李建光 |

注：标\*为教育部规划、审定的中等职业教育国家规划教材  
 标#为必选课教材

# 前 言

本教材是根据卫生职业教育教学指导委员会编制的《中等职业教育医药卫生类专业教学计划和教学大纲》编写的中等职业教育卫生部规划教材，供医学影像技术专业使用。教学时数为 50 学时，其中理论 30 学时，实验 20 学时。

《X 线物理与防护》是医学影像技术专业的专业基础课之一，其教学任务是为后续的专业课及继续教育奠定必要的基础。全书包括三方面内容：X 射线物理学、X 射线剂量学和 X 射线防护学。在 X 射线物理学中阐述了 X 射线的发生、性质及与物质作用的规律；X 射线剂量学中介绍了辐射防护中所涉及的剂量、测量、监测等内容；X 射线防护学则介绍了射线的应用、辐射防护知识及国际权威组织和我国现行的放射防护法规和标准。

本教材以新计划和新大纲为基础，在内容的广度、深度及结构上做了适当调整，体现了以下特点：

1. 在选材上以基础知识为主，必需为准、够用为度、实用为先，并着重于对基本概念 的阐述，做到少而精。
2. 注重理论联系实际和实践技能的培养，注重培养学生分析问题和解决问题的能力。
3. 以 X 射线的内容为核心，适当向其他放射线的内容拓展，为学生将来从事医学影像技术工作提供必不可少的知识。
4. 紧跟医学影像技术的发展，教材力争体现本专业的新知识、新技术、新概念及新法规。

在教材编写过程中，得到了多位专家的指导和同行的帮助，在此，谨向所有关心、支持、帮助和指导本书编写工作的专家、学者、老师致以诚挚的谢意。

由于近年来医学影像技术发展很快，本教材所涉及的专业知识又非常广泛，因此书中难免存在缺点和不足，恳请使用本教材的教师、学生以及广大从事本专业工作的同志批评指正。

编 者

# 目 录

|                     |    |
|---------------------|----|
| 第一章 原子结构和电离辐射       | 1  |
| 第一节 原子结构            | 1  |
| 一、原子核               | 1  |
| 二、核外电子结构            | 2  |
| 第二节 电离辐射和电磁辐射       | 4  |
| 一、电离辐射              | 4  |
| 二、电磁辐射              | 5  |
| 三、辐射的二象性            | 6  |
| 第二章 X射线的产生和性质       | 7  |
| 第一节 X射线的发现          | 7  |
| 第二节 X射线的基本特性        | 7  |
| 一、物理特性              | 8  |
| 二、化学特性              | 8  |
| 三、生物效应特性            | 8  |
| 第三节 X射线的产生装置        | 8  |
| 一、X射线的产生条件          | 8  |
| 二、X射线的产生装置          | 9  |
| 第四节 X射线的产生原理        | 10 |
| 一、电子与物质的相互作用        | 10 |
| 二、X射线的产生原理          | 10 |
| 第五节 X射线的量和质         | 15 |
| 一、概念及表示方法           | 15 |
| 二、影响X射线量和质的因素       | 15 |
| 第六节 X射线的产生效率        | 16 |
| 第七节 X射线强度的空间分布      | 16 |
| 一、薄靶周围X射线强度的空间分布    | 17 |
| 二、厚靶周围X射线强度的空间分布    | 17 |
| 第三章 X射线与物质的相互作用     | 19 |
| 第一节 X射线与物质相互作用的主要过程 | 19 |
| 一、光电效应              | 19 |
| 二、康普顿效应             | 21 |

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 三、电子对效应 .....                 | 23 |
| 第二节 X射线与物质相互作用的其他过程 .....     | 24 |
| 一、相干散射 .....                  | 24 |
| 二、光核作用 .....                  | 24 |
| 第三节 各种作用发生的相对几率 .....         | 24 |
| 一、Z 和 $h\nu$ 与三种基本作用的关系 ..... | 24 |
| 二、诊断放射学中各种基本作用发生的相对几率 .....   | 25 |
| <b>第四章 X射线在物质中的衰减</b> .....   | 26 |
| 第一节 单能 X射线在物质中的衰减规律 .....     | 26 |
| 一、窄束 X射线在物质中的衰减规律 .....       | 26 |
| 二、宽束 X射线在物质中的衰减规律 .....       | 27 |
| 第二节 连续 X射线在物质中的衰减规律 .....     | 28 |
| 一、连续 X射线在物质中衰减的特点 .....       | 28 |
| 二、影响 X射线衰减的因素 .....           | 30 |
| 三、X射线的滤过 .....                | 31 |
| 第三节 诊断放射学中 X射线的衰减 .....       | 33 |
| 一、人体的构成元素和组织密度 .....          | 33 |
| 二、X射线在人体中的衰减 .....            | 34 |
| <b>第五章 X射线常用辐射量和单位</b> .....  | 36 |
| 第一节 描述电离辐射的常用辐射量和单位 .....     | 36 |
| 一、照射量 .....                   | 36 |
| 二、比释动能 .....                  | 37 |
| 三、吸收剂量 .....                  | 38 |
| 第二节 辐射防护中常用辐射量和单位 .....       | 41 |
| 一、当量剂量 .....                  | 41 |
| 二、有效剂量 .....                  | 43 |
| 三、集体当量剂量和集体有效剂量 .....         | 44 |
| <b>第六章 X射线的测量</b> .....       | 46 |
| 第一节 测量内容和仪器 .....             | 46 |
| 一、测量内容 .....                  | 46 |
| 二、测量仪器 .....                  | 46 |
| 第二节 X射线防护监测与评价 .....          | 49 |
| 一、场所放射防护监测 .....              | 49 |
| 二、个人剂量监测 .....                | 49 |
| <b>第七章 放射线对人体的危害</b> .....    | 51 |

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第一节 放射线在医学上的应用 .....     | 51 |
| 一、X 射线在诊断方面的应用 .....     | 51 |
| 二、放射线在治疗方面的应用 .....      | 53 |
| 三、放射性核素在诊断和治疗方面的应用 ..... | 54 |
| 第二节 X 射线对机体的危害 .....     | 54 |
| 一、X 射线对职业性工作人员的危害 .....  | 54 |
| 二、医学诊疗过程中 X 射线的危害 .....  | 55 |
| 第三节 电离辐射生物效应概述 .....     | 55 |
| 第四节 确定性效应 .....          | 56 |
| 第五节 随机性效应 .....          | 56 |
| 一、致癌效应 .....             | 57 |
| 二、遗传效应 .....             | 58 |
| 第六节 胎儿出生前受照效应 .....      | 59 |
| 第七节 皮肤效应 .....           | 59 |
| 一、急性放射性皮肤损伤 .....        | 59 |
| 二、慢性放射性皮肤损伤 .....        | 60 |
| 三、放射性皮肤癌 .....           | 60 |
| <br>第八章 放射防护法规和标准 .....  | 62 |
| 第一节 放射防护法规和标准的内容 .....   | 62 |
| 一、放射防护法规 .....           | 62 |
| 二、放射防护标准 .....           | 62 |
| 第二节 放射防护法规和标准的贯彻实施 ..... | 65 |
| 一、放射工作单位自主管理 .....       | 65 |
| 二、卫生行政部门监督管理 .....       | 65 |
| <br>第九章 X 射线屏蔽防护 .....   | 67 |
| 第一节 外照射防护的基本方法 .....     | 67 |
| 一、时间防护 .....             | 67 |
| 二、距离防护 .....             | 67 |
| 三、屏蔽防护 .....             | 67 |
| 第二节 屏蔽材料 .....           | 68 |
| 一、对屏蔽材料的要求 .....         | 68 |
| 二、常用屏蔽防护材料 .....         | 68 |
| 第三节 屏蔽厚度的确定方法 .....      | 70 |
| 一、确定屏蔽厚度的依据 .....        | 70 |
| 二、屏蔽厚度的计算 .....          | 71 |
| <br>第十章 医用放射线的防护 .....   | 75 |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 第一节 医用诊断 X 射线的防护 .....           | 75  |
| 一、防护原则 .....                     | 75  |
| 二、诊断 X 射线机防护性能要求 .....           | 75  |
| 三、放射防护设施 .....                   | 76  |
| 四、防护操作 .....                     | 77  |
| 五、妇女 X 射线检查的防护 .....             | 78  |
| 六、儿童 X 射线检查的防护 .....             | 80  |
| 第二节 医用治疗放射线的防护 .....             | 80  |
| 一、防护原则 .....                     | 80  |
| 二、操作要求 .....                     | 81  |
| <br>第十一章 放射防护管理 .....            | 82  |
| 第一节 防护管理机构 .....                 | 82  |
| 第二节 申请许可制度 .....                 | 82  |
| 一、许可登记管理制度 .....                 | 82  |
| 二、放射工作单位必备的条件 .....              | 83  |
| 第三节 防护管理内容 .....                 | 83  |
| 一、X 射线机的生产 .....                 | 83  |
| 二、射线防护器材 .....                   | 83  |
| 三、放射防护培训 .....                   | 83  |
| 四、放射工作人员证的管理 .....               | 84  |
| 五、健康管理 .....                     | 84  |
| 六、放射事故管理 .....                   | 86  |
| 七、质量保证 .....                     | 86  |
| 八、档案管理 .....                     | 87  |
| <br>实验一 验证 X 射线的特性 .....         | 88  |
| 实验二 半价层的测量 .....                 | 89  |
| 实验三 受检者入射皮肤处空气照射量率的测量 .....      | 91  |
| 实验四 X 射线机管头组装体漏射线的测量 .....       | 93  |
| 实验五 透视 X 射线机防护区散射辐射水平的测量 .....   | 95  |
| 实验六 透视、摄影 X 射线机房外环境辐射水平的测量 ..... | 98  |
| 实验七 对放射工作人员个人剂量监测情况进行调查、评价 ..... | 99  |
| 实验八 铅当量的测量 .....                 | 100 |
| 实验九 对 X 射线机的防护设施进行调查、评价 .....    | 102 |
| 实验十 对受检者防护情况进行调查、评价 .....        | 104 |

# 第一章 原子结构和电离辐射

由于射线的产生及作用均发生于物质微观结构之中，因此学习物质的原子结构与电离辐射的知识十分重要。

## 第一节 原子结构

自然界存在的一切物质，都是由不同的元素组成的。构成元素的最小单元是原子，原子又是由带正电的原子核和核外带负电的电子组成。原子核和核外电子都处在不停的运动之中。

原子的直径约  $10^{-10}$  米。原子的结构类似一个小的行星系，中心是一个原子核，周围有围绕原子核高速运转的电子。相对而言，原子核可以看成是不运动的，而电子在运动。原子核只占据整个原子极小的一部分空间，其直径不及原子直径的  $1/10\,000$ 。而核外电子本身的直径比原子核小得多，但核外电子占据原子绝大部分空间。总体看来，原子内有一个相对来说“很大”的空间。就像我们的太阳系，星体之间有很大的空间。所以，一个高速电子或高能光子可以很容易地穿过原子。

### 一、原子核

#### (一) 原子核的组成

原子核由带正电的质子和不带电的中子组成。质子和中子质量差不多一样，而电子的质量仅为质子质量的  $1/1\,840$ 。所以原子的质量几乎全部集中在原子核上。原子核的质量比电子质量大得多。所以我们在讨论物质原子质量时，常把电子的质量忽略掉，而用原子核的质量来代替整个原子的质量表 1-1 列出了电子、质子和中子的电量和质量。

表 1-1 构成原子的电子、质子和中子

| 名称 | 符号 | 带电量(C)                   | 质量(kg)                  |
|----|----|--------------------------|-------------------------|
| 电子 | e  | $-1.602 \times 10^{-19}$ | $9.110 \times 10^{-31}$ |
| 质子 | p  | $+1.602 \times 10^{-19}$ | $1.673 \times 10^{-27}$ |
| 中子 | n  | 0                        | $1.675 \times 10^{-27}$ |

#### (二) 放射性核素

各种元素原子的结构虽然都很相似，但组成各种不同元素原子的质子、中子和电子数目不同，因而决定了各种元素原子具有不同的性质。可以用符号 “ ${}_Z^AX$ ” 表示某种原子，其中 X 代表元素的化学符号；Z 称原子序数，不同的 Z 值代表不同的元素，其值等于原子核中的质子数，它与绕核运动的电子数相等；A 为原子质量数，其值等于原子核中质子数和中子数的总和，中子的数目是  $A-Z$ 。

凡具有一定质子数、中子数，并处于特定能量状态的原子或原子核称为核素。目前



已知的核素有 2 000 多种，分别属于 100 多种元素。原子核内具有相同质子数、不同中子数的核素称为同位素。几乎所有的元素，都有同位素。核素可分为稳定性核素和不稳定性核素，不稳定性核素又称放射性核素。核素中绝大部分为放射性核素。放射性核素的原子核能自发地衰变放射出  $\alpha$ 、 $\beta$  和  $\gamma$  射线，这个过程称为核衰变。核衰变严格遵守质量和能量守恒定律、电荷守恒定律和核子数守恒定律等，各种放射性核素的核衰变有快有慢。核衰变时从原子核内发出的射线称为核辐射。核衰变后放射性核素成为稳定性核素。核医学就是利用放射性核素能自发地释放出不同射线的特性来诊断和治疗疾病的。下面介绍从放射性核素中放出的  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  射线。

**$\alpha$  射线：** $\alpha$  射线是由  $\alpha$  粒子组成的放射线。 $\alpha$  粒子是由 2 个质子和 2 个中子组成的带有 2 个正电荷的高速运动的氦核。实验发现，在发生  $\alpha$  衰变的核素中，只有很少几种核素只放出单能的  $\alpha$  粒子，大多数核素放出几组不同能量的  $\alpha$  粒子。

**$\beta$  射线：** $\beta$  射线是由  $\beta$  粒子组成的放射线。 $\beta$  粒子是带有一个负电荷的电子， $\beta$  粒子的静止质量等于电子的质量。 $\beta$  粒子就是电子，由于它是从原子核内发射出来的，故取名为  $\beta$  粒子。原子核衰变时，放出的  $\beta$  粒子的能量是一个连续的能量。

**$\gamma$  射线：** $\gamma$  射线是由  $\gamma$  光子组成的放射线。 $\gamma$  光子是一种中性高能光子，没有静止质量。 $\gamma$  光子与 X 射线光子本质相同，只是产生的途径不同。原子核受快速粒子的轰击或吸收光子的能量而处于高能的激发态，各种类型的核衰变也可以使原子核处于高能的激发态。处于激发态的原子核是不稳定的，它会直接退回或级联退回到低能的基态。原子核从激发态向较低能态转变时将发射  $\gamma$  光子。 $\gamma$  光子的能量等于两个能态所具有的能量之差。

## 二、核外电子结构

原子由原子核和绕核运动的核外电子组成。这些核外电子在原子核外的排布和运动具有一定的规律。

### (一) 核外电子的排布

由于原子核与核外电子之间相互作用力的制约，原子核周围的每一个绕行电子都有其一定的轨道，这些确定的轨道组成一系列壳层。最靠近原子核的叫 K 壳层，顺序往外称为 L、M、N、O、P、Q……壳层。这些壳层分别对应主量子数  $n=1、2、3、4、5、6、7……$ 。每个壳层上最多能容纳的电子数不超过  $2n^2$  个，而且每个原子的最外层电子数不得超过 8 个（若 K 层为最外层时，不超过 2 个）（见表 1-2）。

表 1-2 各电子壳层最多可容纳的电子数

| 电子壳层     | K | L | M  | N  | O  | P  | Q  | …… |
|----------|---|---|----|----|----|----|----|----|
| 主量子数     | 1 | 2 | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  |    |
| 最多可容纳电子数 | 2 | 8 | 18 | 32 | 50 | 72 | 98 |    |

### (二) 原子能级

若将原子中的原子核看成是静止的，则轨道电子绕核运动所具有的动能加上核外电子和原子核间的电势能即为原子所具有的能量。

下面以氢原子为例说明原子所具有的能量。根据波尔的假设，氢原子核外的一个电