

991300

336  
1902

高等学校试用教材

# 核与粒子物理实验方法

王韶舜 主编

王祝翔 主审

原子能出版社

ISBN 7-5022-0179-3

TL·71(课) 定价: 5.00元

336  
1011

keV

高等学校试用教材

# 核与粒子物理实验方法

王韶舜 叶云秀 卞祖和 汪兆民 编

王祝翔 吴治华 齐卉荃 审

原子能出版社

## 内 容 提 要

本书着重讨论了低能核物理、重离子物理和粒子物理实验中一些基本物理量的测量方法。全书共分十章。内容包括束流的获得和传输,符合测量, $\beta$ 源活度的绝对测量,带电粒子的能量-动量测量, $\gamma$ 射线的能量和强度测量,中子的能量和通量的测量,质量和电荷的测量,粒子鉴别,寿命测量方法,相互作用截面的测量,自旋、磁矩和极化的测量。书末附有X射线和 $\gamma$ 射线的能量和强度标准以及各种类型放射源等数据。

本书可作为高等学校原子核物理等专业的教科书,也可供从事核物理和粒子物理研究及应用人员的参考。

高等学校试用教材

核与粒子物理实验方法

王韶舜 叶云秀 卞祖和 汪兆民 编

王祝翔 吴治华 齐卉荃 审

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

国防科工委印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行·新华书店经售

☆

开本787×1092 1/16 ·印张25.5·字数636千字

1989年12月北京第一版·1989年12月北京第一次印刷

印数1—1000

ISBN 7-5022-0179-3

TL·71(课) 定价: 5.00元

## 前 言

《核与粒子物理实验方法》一书是根据作者在中国科学技术大学讲课时(1981—1987年)的讲义改写而成的,内容涉及低能核物理、重离子物理和粒子物理中一些主要物理量的测量方法。

学习这门课程需具备原子核物理、粒子物理、探测技术和核电子学等基础知识。本书力求以通俗易懂的定性描述讲清实验方法的原理,避免繁琐的数学推导,但也指出一些必要的计算公式和数据,以供科研工作者参考。

全书共分十一章,第一章叙述了不同类型的低能、高能和重离子加速器的原理和同步辐射光源的特点,同时也介绍了束流的传输方法。第二章对实验测量中用得较多的符合方法进行了专门的讨论。第三章至第六章讨论了带电粒子、 $\gamma$ 射线和中子的能量和强度的测量方法,这是核与粒子物理实验中最基本也是最经常遇到的问题。第七章讨论质量和电荷的测量问题,其中包括整数电荷和分数电荷的测量方法。第八章讨论各种粒子的鉴别方法。掌握各种粒子的鉴别方法对于成功地进行各种实验和实验数据及其可靠性的分析是很重要的。第九章讨论了核与粒子寿命的测量方法,其中包括粒子寿命很长( $>10^{10}\text{a}$ )和很短( $<10^{-10}\text{s}$ )的测量方法。第十章介绍了核与粒子相互作用截面的测量方法。第十一章讨论其它物理量(包括自旋、磁矩和极化等)的测量方法,这些物理量的测量对于了解核与粒子的性质及相互作用是很重要的。

本书是由王韶舜主编,集体写作而成的。按照本书的章节次序,书中各部分的写作人是:

王韶舜 第一章,第三、四、五、六章和附录。

卞祖和 第二章、第九章。

叶云秀 第七章、第八章。

汪兆民 第十章、第十一章。

由于核与粒子物理实验方法日新月异,内容涉及面非常广,作者水平有限,难免有错误和不妥之处,请读者多多提出宝贵意见,以便进一步补充修改。

王祝翔同志主审了本书的初稿和修改稿;齐卉荃、吴治华同志审阅了本书大部分初稿和修改稿;陈坚同志参加了初稿审校会,他们对本书提出了许多宝贵的意见。王从容同志绘制了本书大部分插图。作者特此一并致谢。

作者 1987年5月

# 单位符号表

本书使用的单位符号如下:

| 符 号     | 名 称                   |
|---------|-----------------------|
| a       | 年                     |
| d       | 天                     |
| h       | 小时                    |
| min     | 分                     |
| s       | 秒                     |
| ms      | 毫秒 ( $10^{-3}$ 秒)     |
| $\mu$ s | 微秒 ( $10^{-6}$ 秒)     |
| ns      | 纳(毫微)秒 ( $10^{-9}$ 秒) |
| ps      | 皮秒 ( $10^{-12}$ 秒)    |
| m       | 米                     |
| cm      | 厘米 ( $10^{-2}$ 米)     |
| mm      | 毫米 ( $10^{-3}$ 米)     |
| $\mu$ m | 微米 ( $10^{-6}$ 米)     |
| nm      | 纳(毫微)米 ( $10^{-9}$ 米) |
| kg      | 千克                    |
| g       | 克 ( $10^{-3}$ 千克)     |
| mg      | 毫克 ( $10^{-6}$ 千克)    |
| $\mu$ g | 微克 ( $10^{-9}$ 千克)    |
| eV      | 电子伏特                  |
| keV     | 千电子伏特 ( $10^3$ eV)    |
| MeV     | 兆电子伏特 ( $10^6$ eV)    |
| GeV     | 吉电子伏特 ( $10^9$ eV)    |
| TeV     | 太电子伏特 ( $10^{12}$ eV) |
| V       | 伏特                    |
| kV      | 千伏特 ( $10^3$ V)       |
| MV      | 兆伏特 ( $10^6$ V)       |
| mV      | 毫伏特 ( $10^{-3}$ V)    |
| A       | 安培                    |
| mA      | 毫安培 ( $10^{-3}$ A)    |
| $\mu$ A | 微安培 ( $10^{-6}$ A)    |
| kA      | 千安培 ( $10^3$ A)       |
| C       | 库仑                    |
| W       | 瓦特                    |
| kW      | 千瓦                    |
| MW      | 兆瓦                    |

|         |        |
|---------|--------|
| Hz      | 赫兹     |
| kHz     | 千赫     |
| MHz     | 兆赫     |
| rad     | 弧度     |
| mrاد    | 毫弧度    |
| sr      | 球面度    |
| msr     | 毫球面度   |
| T       | 特斯拉    |
| Pa      | 帕斯卡    |
| Bq      | 贝可     |
| kBq     | 千贝可    |
| MBq     | 兆贝可    |
| u(amu)  | 原子质量单位 |
| $\mu_B$ | 玻尔磁子   |
| $\mu_N$ | 核磁子    |

# 目 录

前言

单位符号表

## 第一章 束流的获得和传输

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 第一节 由加速器产生初级粒子束 .....   | 2  |
| 一、低能加速器 .....           | 2  |
| (一)倍压加速器 .....          | 2  |
| (二)静电加速器 .....          | 2  |
| (三)直线加速器 .....          | 3  |
| (四)回旋加速器 .....          | 4  |
| 二、同步回旋加速器与同步加速器 .....   | 5  |
| 第二节 束流传输系统的基本单元 .....   | 8  |
| 一、偏转磁铁 .....            | 8  |
| 二、四极磁铁 .....            | 8  |
| 三、静电分离器 .....           | 10 |
| 四、射频分离器 .....           | 11 |
| 第三节 由高能加速器产生次级粒子束 ..... | 12 |
| 一、概述 .....              | 12 |
| 二、分离的带电粒子束 .....        | 13 |
| 三、中微子束 .....            | 14 |
| 第四节 对撞束 .....           | 16 |
| 一、为什么需要对撞束 .....        | 16 |
| 二、对撞束的获得 .....          | 18 |
| 第五节 同步辐射光源 .....        | 21 |
| 一、概述 .....              | 21 |
| 二、同步辐射光源的特性 .....       | 22 |
| (一)辐射功率 .....           | 22 |
| (二)角分布 .....            | 23 |
| (三)频谱 .....             | 23 |
| (四)高度偏振 .....           | 24 |
| (五)脉冲的时间特性 .....        | 24 |
| 第六节 重离子束 .....          | 24 |
| 一、重离子束的特点 .....         | 25 |
| (一)被加速粒子的种类 .....       | 25 |
| (二)束流的能量 .....          | 26 |
| (三)离子的电荷态、能散度和流强 .....  | 27 |
| (四)束流的发射度 .....         | 27 |
| (五)束流的时间结构 .....        | 28 |

|                   |    |
|-------------------|----|
| 二、重离子加速器的类型 ..... | 28 |
| 习题 .....          | 29 |
| 参考文献 .....        | 30 |

## 第二章 符合测量

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 第一节 符合测量的基本原理 .....     | 31 |
| 一、符合与反符合 .....          | 31 |
| 二、延迟符合 .....            | 32 |
| 三、快慢符合 .....            | 32 |
| 第二节 偶然符合和真符合 .....      | 33 |
| 一、偶然符合计数 .....          | 34 |
| 二、真符合计数 .....           | 35 |
| 三、真偶符合比 .....           | 36 |
| 第三节 符合测量系统的主要参量 .....   | 37 |
| 一、分辨时间 .....            | 37 |
| 二、符合系统分辨时间的测量方法 .....   | 39 |
| (一)利用偶然符合计数测量分辨时间 ..... | 39 |
| (二)用延迟符合方法测量分辨时间 .....  | 39 |
| (三)分辨时间的快速测量方法 .....    | 40 |
| 三、符合测量系统的其它参量 .....     | 40 |
| (一)符合效率 .....           | 40 |
| (二)选择系数 .....           | 41 |
| (三)最小脉冲重叠时间 .....       | 41 |
| (四)死时间 .....            | 41 |
| (五)灵敏度 .....            | 41 |
| 第四节 符合测量中的定时方法 .....    | 42 |
| 一、脉冲前沿定时法 .....         | 42 |
| 二、过零定时法 .....           | 43 |
| 三、恒比定时法 .....           | 43 |
| 四、幅度-上升时间补偿定时法 .....    | 44 |
| 五、外推脉冲前沿定时法 .....       | 45 |
| 第五节 符合测量装置 .....        | 46 |
| 一、符合能谱仪 .....           | 46 |
| 二、反符合能谱仪 .....          | 47 |
| 三、多道时间谱仪 .....          | 48 |
| 习题 .....                | 49 |
| 参考文献 .....              | 50 |

## 第三章 $\beta$ 源活度的绝对测量

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 第一节 放射性活度的相对测量和绝对测量 ..... | 51 |
|---------------------------|----|

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| 一、概述 .....                                               | 51 |
| 二、放射性活度的相对测量和绝对测量 .....                                  | 51 |
| 第二节 小立体角法和 $4\pi$ 计数法 .....                              | 52 |
| 一、小立体角法 .....                                            | 52 |
| 二、 $4\pi$ 计数法 .....                                      | 54 |
| 第三节 用符合法测源的活度 .....                                      | 56 |
| 一、 $\beta$ - $\gamma$ 与 $4\pi\beta$ - $\gamma$ 符合法 ..... | 56 |
| 二、符合法测源活度时的修正因子 .....                                    | 56 |
| (一)放射源的大小和计数系统的稳定性 .....                                 | 56 |
| (二) $\beta$ - $\gamma$ 角关联 .....                         | 57 |
| (三) $\beta$ 探测器的 $\gamma$ 灵敏性 .....                      | 57 |
| (四) $\gamma$ 探测器的 $\beta$ 灵敏性 .....                      | 58 |
| (五)偶然符合和死时间的修正 .....                                     | 58 |
| (六)复杂衰变图情况 .....                                         | 60 |
| (七)电磁跃迁的内转换 .....                                        | 60 |
| 第四节 纯 $\beta$ 源与低能 $\beta$ 源活度的测量 .....                  | 62 |
| 一、液体闪烁计数法 .....                                          | 62 |
| 二、猝灭及其修正方法 .....                                         | 64 |
| (一)内标准法 .....                                            | 64 |
| (二)道比法 .....                                             | 65 |
| (三)外标准法及外标准道比法 .....                                     | 65 |
| 三、双管符合技术 .....                                           | 66 |
| 四、用效率示踪技术测量 $\beta$ 源的活度 .....                           | 66 |
| 五、用内充气正比管测低能 $\beta$ 源的活度 .....                          | 67 |
| 习题 .....                                                 | 67 |
| 参考文献 .....                                               | 67 |

#### 第四章 带电粒子的能量-动量测量

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第一节 电离室和半导体带电粒子谱仪 .....     | 68 |
| 一、电离室 .....                 | 68 |
| 二、半导体带电重粒子谱仪 .....          | 69 |
| 三、半导体电子谱仪 .....             | 72 |
| 四、中能半导体带电粒子谱仪 .....         | 73 |
| 第二节 磁谱仪 .....               | 75 |
| 一、 $\beta$ 磁谱仪的主要参量 .....   | 76 |
| 二、 $\beta$ 磁透镜谱仪 .....      | 76 |
| 三、橘子形谱仪 .....               | 78 |
| 四、双聚焦 $\beta$ 谱仪 .....      | 79 |
| 五、 $\beta$ 磁谱仪的“在束”使用 ..... | 81 |
| 六、重离子磁谱仪概述 .....            | 82 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 七、重离子磁谱仪的例子 .....        | 85  |
| 第三节 高能粒子量能器 .....        | 88  |
| 一、概述 .....               | 88  |
| 二、电磁簇射探测器 .....          | 88  |
| 三、强子量能器 .....            | 92  |
| (一)强子级联 .....            | 92  |
| (二)强子量能器的结构 .....        | 93  |
| (三)量能器的刻度 .....          | 94  |
| (四)影响强子量能器能量分辨率的因素 ..... | 95  |
| 四、描述仪型量能器 .....          | 98  |
| 第四节 高能谱仪 .....           | 100 |
| 一、概述 .....               | 100 |
| 二、谱仪的磁体 .....            | 100 |
| 三、双臂谱仪 .....             | 103 |
| 四、对撞机上的谱仪的例子 .....       | 105 |
| 习题 .....                 | 108 |
| 参考文献 .....               | 108 |

## 第五章 $\gamma$ 射线的能量和强度测量

|                                                    |     |
|----------------------------------------------------|-----|
| 第一节 用NaI(Tl) $\gamma$ 谱仪测量 $\gamma$ 射线的能量和强度 ..... | 109 |
| 一、 $\gamma$ 射线在闪烁体中的吸收过程 .....                     | 109 |
| (一)光电效应 .....                                      | 109 |
| (二)康普顿散射 .....                                     | 110 |
| (三)正负电子对的产生 .....                                  | 110 |
| 二、影响 $\gamma$ 谱形的干扰效应 .....                        | 110 |
| (一)本底辐射、屏蔽和探测环境 .....                              | 111 |
| (二)韧致辐射效应 .....                                    | 111 |
| (三)正电子效应 .....                                     | 111 |
| (四)加和效应 .....                                      | 111 |
| 三、探测环境和测量条件 .....                                  | 112 |
| 四、 $\gamma$ 闪烁谱仪的刻度 .....                          | 113 |
| (一)能量刻度 .....                                      | 113 |
| (二)效率刻度 .....                                      | 114 |
| (三)全能峰面积的测定 .....                                  | 115 |
| 五、复杂 $\gamma$ 谱的分析 .....                           | 118 |
| (一)剥离法 .....                                       | 119 |
| (二)逆矩阵法 .....                                      | 120 |
| (三)最小二乘法 .....                                     | 122 |
| 第二节 低能 $\gamma$ 和X射线的测量 .....                      | 124 |
| 一、正比计数管 .....                                      | 124 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 二、闪烁计数器 .....                | 125 |
| 三、半导体探测器 .....               | 126 |
| 第三节 半导体 $\gamma$ 谱仪 .....    | 128 |
| 一、概述 .....                   | 128 |
| 二、Ge $\gamma$ 谱仪的刻度 .....    | 130 |
| (一)能量刻度 .....                | 130 |
| (二)效率刻度 .....                | 131 |
| 三、Ge探测器 $\gamma$ 谱的分析 .....  | 134 |
| (一)谱的平滑 .....                | 134 |
| (二)寻峰 .....                  | 135 |
| (三)求全能峰面积 .....              | 136 |
| (四)核素识别 .....                | 137 |
| 第四节 高鉴别能力的 $\gamma$ 谱仪 ..... | 137 |
| 一、全吸收谱仪和反康普顿谱仪 .....         | 137 |
| 二、康普顿谱仪 .....                | 139 |
| 三、电子对谱仪 .....                | 141 |
| 四、符合能谱测量 .....               | 144 |
| 习题 .....                     | 146 |
| 参考文献 .....                   | 147 |

## 第六章 中子能量和通量的测量

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 第一节 中子能量的测量方法 .....          | 148 |
| 一、反冲核法 .....                 | 148 |
| (一)测量反冲质子积分谱 .....           | 149 |
| (二)测量反冲质子微分谱 .....           | 150 |
| 二、核反应法 .....                 | 151 |
| (一) $^3\text{He}$ 电离谱仪 ..... | 152 |
| (二) $^6\text{Li}$ 谱仪 .....   | 153 |
| 三、中子衍射谱仪 .....               | 154 |
| 四、飞行时间谱仪 .....               | 155 |
| (一)用两个计数器的谱仪 .....           | 156 |
| (二)采用伴随粒子法的谱仪 .....          | 157 |
| (三)脉冲中子源方法 .....             | 158 |
| (四)脉冲中子源 .....               | 158 |
| (五)中子探测器 .....               | 161 |
| (六)飞行时间谱仪的主要特性 .....         | 162 |
| 第二节 中子通量和中子源强度的测量方法 .....    | 163 |
| 一、伴随粒子法 .....                | 164 |
| 二、反冲质子法 .....                | 165 |
| (一)概述 .....                  | 165 |

|                  |     |
|------------------|-----|
| (二)计数器望远镜 .....  | 166 |
| (三)有机闪烁计数器 ..... | 167 |
| 三、活化法 .....      | 169 |
| 四、锰浴法 .....      | 172 |
| 五、长计数器 .....     | 174 |
| 习题 .....         | 175 |
| 参考文献 .....       | 176 |

## 第七章 质量和电荷测量

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 第一节 质量测量 .....                  | 177 |
| 一、质谱法 .....                     | 177 |
| (一)测量原理 .....                   | 177 |
| (二)测量方法 .....                   | 179 |
| 二、从核反应和核衰变能量测定原子质量 .....        | 180 |
| (一)测量原理 .....                   | 180 |
| (二)数据输入方式 .....                 | 180 |
| (三)方程的解 .....                   | 183 |
| (四)测量精度 .....                   | 183 |
| 三、径迹法 .....                     | 184 |
| (一)电离-射程法 .....                 | 184 |
| (二)动量-射程法、动量-电离法和动量-多次散射法 ..... | 185 |
| (三)乳胶叠测高能粒子质量 .....             | 186 |
| 四、奇异原子光谱法和核磁矩法 .....            | 187 |
| (一)奇异原子光谱法 .....                | 187 |
| (二)核磁矩法 .....                   | 188 |
| 五、能谱形状法 .....                   | 189 |
| 六、不变质量谱和丢失质量谱法 .....            | 189 |
| (一)不变质量谱法 .....                 | 189 |
| (二)达力兹(Dalitz)图法 .....          | 193 |
| (三)丢失质量谱法 .....                 | 194 |
| 第二节 电荷测量 .....                  | 196 |
| 一、整数电荷的测量方法 .....               | 196 |
| (一)卢瑟福散射法 .....                 | 196 |
| (二)特征X射线谱法 .....                | 197 |
| (三)电离径迹法 .....                  | 199 |
| 二、分数电荷的测量方法 .....               | 200 |
| (一)光谱法 .....                    | 201 |
| (二)改进的密立根法 .....                | 201 |
| (三)磁漂浮法 .....                   | 202 |
| (四)其他方法 .....                   | 205 |
| 习题 .....                        | 206 |

|            |     |
|------------|-----|
| 参考文献 ..... | 206 |
|------------|-----|

## 第八章 粒子鉴别

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 第一节 $\Delta E$ - $E$ 望远镜法 ..... | 208 |
| 一、鉴别器运算公式 .....                 | 208 |
| 二、 $\Delta E$ - $E$ 望远镜系统 ..... | 211 |
| 三、望远镜系统中所使用的探测器 .....           | 212 |
| 四、鉴别器的分辨本领 .....                | 214 |
| 第二节 飞行时间鉴别法 .....               | 217 |
| 一、鉴别原理 .....                    | 217 |
| 二、鉴别器系统 .....                   | 218 |
| 三、飞行时间法中所使用的探测器 .....           | 220 |
| 四、飞行时间法的鉴别能力 .....              | 220 |
| 第三节 包含磁刚度 $BP$ 的粒子鉴别法 .....     | 223 |
| 一、鉴别原理 .....                    | 224 |
| 二、鉴别系统和鉴别能力 .....               | 225 |
| 三、鉴别系统所用的探测器 .....              | 226 |
| 第四节 布拉格(Bragg)谱学法 .....         | 227 |
| 一、鉴别原理 .....                    | 227 |
| 二、鉴别测量和鉴别能力 .....               | 228 |
| 第五节 脉冲形状甄别法 .....               | 229 |
| 一、鉴别原理 .....                    | 230 |
| 二、鉴别方法 .....                    | 231 |
| (一)比较法 .....                    | 231 |
| (二)空间电荷饱和法 .....                | 233 |
| (三)上升时间法 .....                  | 233 |
| (四)双微分过零甄别法 .....               | 234 |
| 第六节 切伦科夫效应鉴别法 .....             | 236 |
| 一、鉴别原理 .....                    | 236 |
| 二、鉴别探测器 .....                   | 237 |
| 第七节 电离损失相对论上升法 .....            | 241 |
| 一、鉴别原理 .....                    | 241 |
| 二、探测器系统 .....                   | 244 |
| 第八节 穿越辐射效应法 .....               | 245 |
| 一、鉴别原理 .....                    | 245 |
| 二、鉴别测量 .....                    | 247 |
| 第九节 簇射量能法和射程法 .....             | 250 |
| 一、电磁簇射和强子级联法 .....              | 250 |
| (一)鉴别原理 .....                   | 250 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| (二)鉴别中所用的探测器 .....    | 252 |
| 二、射程法 .....           | 253 |
| 第十节 粒子鉴别综述和典型测量 ..... | 255 |
| 一、粒子鉴别综述 .....        | 255 |
| 二、几个典型的探测系统 .....     | 256 |
| (一)对撞机上的探测系统 .....    | 256 |
| (二)固定靶探测系统 .....      | 259 |
| 习题 .....              | 261 |
| 参考文献 .....            | 262 |

## 第九章 寿命测量方法

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 第一节 长寿命测量 .....                | 264 |
| 一、直接测量衰变法 .....                | 264 |
| 二、比活度测量法 .....                 | 265 |
| 三、测量子核含量法 .....                | 266 |
| 第二节 短寿命测量 .....                | 267 |
| 一、延迟符合测量法 .....                | 268 |
| (一)基本原理 .....                  | 268 |
| (二)延迟时间分布曲线的分析方法 .....         | 268 |
| 二、多普勒线移法 .....                 | 271 |
| (一)反冲距离法 .....                 | 271 |
| (二)多普勒线移衰减法 .....              | 276 |
| 三、阻塞效应法 .....                  | 280 |
| (一)基本原理 .....                  | 280 |
| (二)实验安排 .....                  | 281 |
| 四、间接测量法 .....                  | 282 |
| (一)核共振荧光 .....                 | 282 |
| (二)库仑激发 .....                  | 286 |
| (三)非弹性电子散射 .....               | 287 |
| (四)俘获反应 .....                  | 288 |
| 五、其它测量方法 .....                 | 289 |
| (一)测量裂变同质异能态的直接定时法和反冲距离法 ..... | 289 |
| (二)原子壳层空穴寿命比较法 .....           | 290 |
| (三)电荷阻塞法 .....                 | 291 |
| (四)转换电子反冲距离法 .....             | 292 |
| (五)微波法 .....                   | 293 |
| 第三节 粒子寿命的测量 .....              | 293 |
| 一、概述 .....                     | 293 |
| 二、电子学计数法 .....                 | 294 |
| (一) $\pi^+$ 介子寿命的测量 .....      | 294 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| (二) $K^+$ 介子寿命的测量       | 295 |
| (三) $\pi^-$ 介子寿命的测量     | 296 |
| 三、测距法                   | 297 |
| (一) $\Lambda^0$ 超子寿命的测量 | 298 |
| (二) $\pi^0$ 介子寿命的测量     | 298 |
| 四、质子寿命的测量               | 299 |
| (一)探测原子核衰变法             | 300 |
| (二)直接探测核子衰变法            | 301 |
| 习题                      | 304 |
| 参考文献                    | 304 |

## 第十章 相互作用截面测量

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 第一节 微分截面和总截面        | 306 |
| 第二节 透射法测量总截面        | 307 |
| 一、基本原理              | 307 |
| 二、实验的一般安排           | 309 |
| 三、中子总截面的测量          | 309 |
| 四、带电粒子作用总截面的测量      | 313 |
| 第三节 微分截面的测量         | 315 |
| 一、测量原理和方法           | 315 |
| 二、粒子束通量的测量          | 317 |
| (一)法拉第圆筒            | 318 |
| (二)束流监测器            | 319 |
| 三、靶厚的测量             | 320 |
| (一)电离损失法            | 320 |
| (二) $\alpha$ 粒子背散射法 | 320 |
| (三)称重法              | 321 |
| (四)光学法              | 321 |
| (五)核反应法             | 321 |
| 四、靶粒子密度的计算          | 322 |
| 五、立体角的确定            | 322 |
| 六、出射粒子强度的测量         | 323 |
| 七、入射粒子束能量的测量        | 323 |
| 八、微分截面的计算           | 324 |
| 第四节 对撞机上截面的测量       | 325 |
| 一、测量原理              | 325 |
| 二、对撞机上探测器的基本要求      | 327 |
| 三、正负电子对撞机上的截面测量     | 328 |
| (一)正负电子对撞机的亮度测量     | 328 |
| (二)电子-正电子作用总截面的测量   | 330 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 四、质子-质子(反质子)对撞机上的截面测量 ..... | 33F |
| (一)亮度测量 .....               | 331 |
| (二)质子-质子(反质子)作用总截面测量 .....  | 333 |
| 第五节 气泡室上的截面测量 .....         | 337 |
| 一、测量原理和方法 .....             | 337 |
| 二、中微子作用截面的测量 .....          | 338 |
| 习题 .....                    | 340 |
| 参考文献 .....                  | 340 |

## 第十一章 自旋、磁矩和极化测量

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 第一节 引言 .....             | 341 |
| 第二节 基态原子核自旋和磁矩的测量 .....  | 341 |
| 一、光谱法 .....              | 341 |
| (一)原子束实验 .....           | 342 |
| (二)核磁共振 .....            | 347 |
| 第三节 激发态原子核自旋和磁矩的测量 ..... | 349 |
| 一、角关联实验 .....            | 350 |
| (一)实验原理 .....            | 350 |
| (二)实验方法 .....            | 351 |
| 二、扰动角关联 .....            | 354 |
| 三、穆斯堡尔谱 .....            | 357 |
| 第四节 粒子自旋的测量 .....        | 361 |
| 一、形成实验 .....             | 361 |
| 二、阿达尔分析法 .....           | 364 |
| 三、达力兹图分析法 .....          | 364 |
| 四、细致平衡原理法 .....          | 366 |
| 第五节 粒子磁矩的测量 .....        | 367 |
| 一、轻子 $g$ 因子的测量 .....     | 367 |
| (一)基本原理 .....            | 367 |
| (二)电子的 $g-2$ 实验 .....    | 368 |
| (三) $\mu$ 子储存环实验 .....   | 369 |
| 第六节 极化测量 .....           | 371 |
| 一、引言 .....               | 371 |
| 二、电子极化的测量 .....          | 372 |
| (一)莫脱散射 .....            | 372 |
| (二)米勒Møller 散射法 .....    | 375 |
| (三)韧致辐射 .....            | 376 |
| 三、光子极化的测量 .....          | 377 |
| (一)光子圆极化的测量 .....        | 377 |
| (二)光子线极化的测量 .....        | 379 |