



王 祝 翔

核物理探测器及其应用

科 学 出 版 社

001.33

843

核物理探测器及其应用

王 祝 翔

科 学 出 版 社

1 9 6 4

內 容 簡 介

本书比較系統和全面地介紹了核物理探測技術,書中包括以下四方面:核物理實驗的基礎知識(第1和16章);各種類型的探測器(第2—13章),這是本書的主要部分;探測器的符合應用(第14章);實驗數據的處理(第15章)。

本書是根據著者在中國科技大學講授“原子核物理實驗方法”的講稿加以整理並補充一些新的材料而寫成的。本書可作為高等院校原子核物理系、原子能系的教學參考書,也可供從事原子核物理實驗的人員參考。

核物理探測器及其應用

王 祝 翔 著

*

科學出版社出版

北京朝陽門大街117號

北京市書刊出版業營業許可証出字第061號

中國科學院印刷廠印刷

新華書店北京發行所發行 各地新華書店經售

*

1964年11月第一版 開本:850×1168 1/32

1964年11月第一次印刷 印張:18 7/16

精裝:0001—2,250 插頁:3

平裝:0001—2,150 字數:467,000

統一書號:13031·2025

本社書號:3107·13—2

定價:[科七] 精裝本 4.10元
平裝本 3.10元

序 言

在原子核物理領域內,实验技术实际上包括三个方面,即加速器技术、反应堆技术和探测技术,它們构成一套完整的核物理实验技术。加速器和反应堆是产生核辐射的工具,也就是粒子源。探测技术則包括探测和研究这些核辐射的性质以及它們与物质的相互作用等問題。本书的内容只包括探测技术,而不涉及加速器和反应堆技术。

近廿年来,原子核物理探测仪器和实验技术有很大发展,特别是最近几年,为了适应核物理实验的需要,出現和发展了不少新型的探测器和探测方法。同时也改进了早期使用的探测器的性能,使得探测技术越来越趋于完善了。任何可靠的、全面的探测技术都将导致实验結果的精确化和完整。因此,随着探测技术的改善,原子核物理学的发展也大大地加速了。

探测技术通常包括实验仪器、探测方法及数据处理方法等三方面。这里所谓的实验仪器就是指各种不同类型的探测器的原理、构造、种类、性能、应用等,包括最近发展起来的一些新型探测器。

探测方法則是指利用探测仪器对各种物理問題进行研究的方法,亦即如何利用各种探测器来做特定的实验。例如探测器的实验安排,对探测到的作用事例进行测量分析以及各种探测器的符合应用等等。

有了实验数据以后,如何来考虑其誤差处理,这是数据处理方法的主要内容。从准备和制造探测器开始,一直到最后得到物理結果这整个过程中,数据处理是不可缺少的一个环节。花了大量劳动得到的测量数据,只有在正确地进行誤差处理以后,才能算是真正有效的实验結果。

笔者编写本书的目的就是希望能系统、全面地介绍上述这三方面内容。此外,在实际工作中也曾遇到一些同志对单位换算及运动学关系的计算不太熟悉,有些概念也比较模糊,这也可能是普遍情况,因此在本书中还扼要地叙述了这些问题,作为核实验物理基础知识补充。

因此总的来说,本书共包括四个部分,即 1) 核物理实验中经常用到的基础知识; 2) 各种类型的探测器; 3) 探测器的符合应用; 4) 实验数据的误差处理。全书分为十六章,第一章和第十六章的内容是核物理实验的基础知识。第一章的前一部分讲述核射线的性质及探测的基本原理,后一部分提出了几个重要概念,对其中的一些公式没有作详细推导,仅仅列出了一些参考文献。

第二章到第十三章介绍各种类型的探测器,这是本书的重点部分。第二、三、四章分别讲述电离室、正比计数管及盖革-弥勒计数管等三种气体探测器,对它们的原理、特性、构造及应用作了比较详细的叙述。这三种探测器都是很早就出现的,但目前仍有很大发展,应用相当广泛。第五章介绍晶体计数器;这种探测器由于有显著的缺点(极化效应)而没有取得很大发展,这里写出来只是供一般参考。第六章介绍半导体计数器;它是在克服晶体计数器缺点的基础上迅速发展起来的一种新型探测器,到现在只有几年历史,但很有发展前途,在低能粒子的探测上已有相当广泛的应用。第七章介绍闪烁计数器;它是目前应用最广的一种探测器,在核物理实验中几乎各个方面都要用到它,关于这方面的资料(包括光电倍增管)也比较丰富,因此这一章占了较多的篇幅。第八章讲述契伦柯夫计数器;它也是一种新型探测器,目前除了专著以外,在核物理实验的综合性著作中谈得都很简单,因此笔者尽可能详细、全面地叙述了契伦柯夫计数器的原理及发展情况,但仍以扼要为原则。第九、十、十一章分别讲述原子核乳胶、威尔逊云室及气泡室等三种径迹探测器。除了介绍原理、特性、构造和应用以外,还比较详细地讲述了粒子径迹的测量方法。因为这方面的内容目前

只有专著加以完整、詳細的介紹，一般綜合性書籍中講得很少，因此这里尽量写得多一些，全一些，占了相当大的篇幅。第十二章介紹火花放电室；它是 1959 年才开始发展起来的一种新型径迹探测器，具有不少的优点，目前发展极为迅速，不过现在还没有完整的著作，因此本书中也总结成一章，对它的全貌作一个概括的介紹，更新的内容还有待今后补充。第十三章讲述中子的探测，着重于探测中子的实验仪器和基本方法。鉴于中子物理方面的著作比较多，因此这一章只是收集了一些主要的资料。

需要说明，在探测器部分我们没有谈 β 磁谱仪及质谱仪，这是因为这方面已有不少专著，而且这两类仪器实际上是动量或能量的分析器，不直接属于探测器范围。

第十四章是概括介绍各种探测器的符合应用方法，通过举实例来说明各种符合的应用。由于许多工作的符合应用原理都十分相似，而本书的篇幅有限，所以就不一一列举了。这一章只是介绍了各个方面的应用例子，并且对利用探测器的实验安排作了一些比较简单的、原则上的探讨。

第十五章介绍实验数据的误差处理方法，主要是从基本概念出发来谈，也举出一些经常遇见的例子。这一部分实际上也是实验物理的基础知识，对具体作实验工作的同志颇为重要。这方面虽有一些专著，但大都是从数学角度来谈的，数学推导和计算比较多，实用上的概念和意义讲得不太明确。在本书中笔者根据自己的体会，把一些最重要、最基本、并且实际上常要用到的材料总结成一章，主要着重于讲误差处理的概念、实际含义及基本方法，便于没有学过误差处理的同志参考。

第十六章列出了原子核实验物理中经常遇见的单位及其换算关系，同时简要地讲述了核反应运动学的基本变换关系及常用的计算公式，仅供实际使用时参考。把这一章实验物理基础知识放在最后，目的在于不破坏整个叙述的系统性，因为它不是本书的主要内容，可以看作是一个较完整的附录。

总之,这本书是企图比較系統、全面地介紹核物理探测技术的綜合性书籍,內容涉及的面比較广,书中收集了一些較新的材料。但本书不是讲述某一具体問題或具体探测器的专著,而且笔者在某些方面也缺乏实际經驗,因此,对于一些具体問題不可能作十分深入、細致的討論。此外,限于本书的篇幅,一些公式的推导也都省略了。这些都是本书的不足之处。为了弥补这些不足,作者在有关地方介紹了一些专著和論文,可供讀者查閱。由于笔者工作經驗及水平十分有限,在內容方面一定会有不少缺点和錯誤,也会有不够之处,希望讀者指出,以便再版时加以更正和补充。

最后要指出,本书是根据笔者在中国科技大学講授“原子核物理实验方法”的講稿加以整理并补充了一些材料而写成的。鉴于本书包括了上述四部分內容,最初曾定名为“原子核物理实验方法”。后来根据各方面的意見,考虑到本书的重点是介紹各种类型的探测器及其应用,虽有探测方法及数据处理,但篇幅較少,因此最后定名为“核物理探测器及其应用”。

在本书的編写过程中,承蒙王淦昌先生、萧健先生提出极其宝贵的意見,何远慮同志提供了十分有用的第一手材料(第十二章),特别是张竹湘同志帮助完成了全部繪图工作。此外,在审稿、校閱和編排等方面,得到了科学出版社編輯部的大力协作,也得到陈宏芳、郑吉母等同志的热心支持,作者在此一并表示衷心的感謝。

王 祝 翔

1964年4月7日

目 录

序言	xii
第一章 射綫的性質及其探測	1
§ 1.1 相互作用的分类及射綫的性質	1
1. 射綫及相互作用的分类	1
2. 各种射綫的主要性質	6
§ 1.2 射綫探測的基本原理	11
1. 电离和激发作用	12
2. 契伦柯夫輻射	13
3. 核反应	14
§ 1.3 射綫探測中的一些基本概念	15
1. 能量損耗	15
2. 射程	21
3. 多次散射	29
4. 截面	32
参考文献	36
第二章 电 离 室	37
§ 2.1 离子在气体中的运动規律	37
1. 气体的电离	37
2. 电子和离子在气体中的运动	39
3. 被收集的电荷与外加电压之間的关系	43
§ 2.2 电离室的工作原理	46
1. 电离电荷的收集	46
2. 电离电流	48
§ 2.3 电离室的构造	49
1. 一般的結構	49
2. 絕緣体	50
3. 保护环	51
§ 2.4 电离室的种类	53
1. 脉冲电离室	53

2. 电流电离室	60
§ 2.5 电离室的应用	64
1. 脉冲电离室的应用	64
2. 电流电离室的应用	65
参考文献	67
第三章 正比计数管	69
§ 3.1 正比计数管的作用原理	69
1. 气体放大原理的简述	69
2. 总的气体放大倍数 M	72
§ 3.2 正比计数管的种类和构造	76
1. 通气式脉冲正比计数管	76
2. 4π 正比计数管	77
3. 限制正比计数管	78
§ 3.3 正比计数管的特性	78
1. 脉冲形状及延续时间	78
2. 能量分辨本领	81
3. 使用寿命	82
4. 优缺点	83
§ 3.4 正比计数管的应用	84
1. α 粒子的探测	84
2. β 射线的测量	84
参考文献	86
第四章 盖革-弥勒计数管	87
I. 有机管	87
§ 4.1 有机管的作用原理	87
1. 气体放大过程及放大过程的停止	88
2. 连续放电的猝熄	89
§ 4.2 有机管的种类和构造	93
1. γ 有机管	94
2. 钟罩形 β 有机管	95
3. 吹气式大 β 有机管	96
4. 高效率快速 γ 管	96
§ 4.3 有机管的特性	97

1. 坪曲线	97
2. 分辨时间	99
3. 探测效率	103
4. 有机管的优缺点	107
§ 4.4 有机管的应用	107
1. β 源放射性的绝对测量	107
2. 测高能粒子的空间飞行方向——描迹仪	108
3. 使用有机管的注意事项	109
II. 卤素管	110
§ 4.5 卤素管的材料和性能	111
1. 卤素管材料的选择	111
2. 卤素管的特性	112
§ 4.6 卤素管的种类	113
1. 平行板式卤素管	114
2. 4π 卤素管	114
3. 强流管	115
参考文献	116
第五章 晶体计数器	117
§ 5.1 晶体计数器的工作原理	118
1. 脉冲的形成	118
2. 脉冲的大小	120
§ 5.2 晶体计数器的材料	124
1. 卤化物晶体	125
2. 金刚石	126
3. CdS	126
§ 5.3 晶体计数器的特性	127
1. 脉冲延续时间	127
2. 能量分辨本领	128
3. 极化效应	129
4. 晶体本身的电流放大作用	131
§ 5.4 晶体计数器的应用	132
参考文献	133
第六章 半导体计数器	135

§ 6.1 半导体计数器的的工作原理	135
§ 6.2 半导体计数器的种类和结构	138
1. $P-N$ 结型探测器	138
2. NIP 型探测器	140
§ 6.3 半导体计数器的特性	141
1. 灵敏层的厚度	141
2. 探测器的内电容	143
3. 脉冲上升时间	144
4. 优缺点	146
§ 6.4 半导体计数器的应用	147
1. α 粒子能谱的测量	147
2. 核裂片的探测	150
3. 单个 β 和 γ 射线的探测	151
4. 中子的测量	152
参考文献	153
第七章 闪烁计数器	154
§ 7.1 闪烁计数器的工作原理	154
§ 7.2 探头中的各个部件	157
1. 闪烁体	157
2. 光的收集和光导	170
3. 光电倍增管	172
§ 7.3 闪烁计数器的特性	189
1. 能量分辨本领	189
2. 时间分辨本领	191
3. 优缺点	193
§ 7.4 闪烁计数器的应用	193
1. 强度的探测	193
2. 能量的探测	198
参考文献	206
第八章 契伦柯夫计数器	209
§ 8.1 作用原理	210
1. 契伦柯夫辐射及其解释	210
2. 契伦柯夫辐射的特性	212

3. 契伦柯夫辐射与轫致辐射及荧光的区别	215
§ 8.2 辐射体和光的收集	216
1. 辐射体	216
2. 辐射光的收集	219
§ 8.3 契伦柯夫计数器的特点	221
§ 8.4 契伦柯夫计数器的种类和应用	222
1. 选择速度的计数	223
2. 能量的测定及能谱仪	229
3. γ 射线全吸收能谱仪	233
4. 其他方面的应用	234
5. 在应用契伦柯夫计数器时需要考虑的若干问题	235
参考文献	236
第九章 原子核乳胶	238
§ 9.1 径迹形成的作用原理	238
1. 溴化银晶粒的还原	238
2. 带电粒子在原子核乳胶中形成潜影的过程	240
§ 9.2 原子核乳胶的成分	242
§ 9.3 原子核乳胶的特性	245
1. 基本参量	245
2. 优缺点	247
§ 9.4 原子核乳胶的应用	249
1. 低能范围的应用	249
2. 高能范围的应用	250
§ 9.5 乳胶径迹的测量分析	252
1. 径迹长度的测量及空间角度的确定	252
2. 射程与能量关系的运用	254
3. 电离测量	260
4. 多次散射测量	266
5. 从 δ 电子密度确定粒子的电荷	271
6. 径迹变窄部分长度的测量	273
7. 带电粒子质量的确定	273
8. 次级粒子的几何校正	277
参考文献	278

第十章 威尔逊云室	280
§ 10.1 形成液滴的物理基础	280
1. 过饱和蒸汽中的物理现象	281
2. 液滴形成的条件	285
§ 10.2 威尔逊云室的种类和构造	290
1. 云室的种类	290
2. 云室的构造	291
§ 10.3 威尔逊云室的特性及工作条件的选择	300
1. 灵敏时间	300
2. 记录事例的频数和等待时间	301
3. 工作条件的选择	302
§ 10.4 扩散云室	304
1. 在扩散云室中的物理过程	304
2. 扩散云室结构上的主要特性	308
§ 10.5 威尔逊云室的应用	312
1. 低能方面的应用	312
2. 高能方面的应用	313
§ 10.6 云室径迹的测量	314
1. 动量的测量	315
2. 空间角度的测量	318
3. 电离的测量	319
参考文献	321
第十一章 气泡室	323
§ 11.1 形成气泡径迹的物理基础	324
1. 过热液体及其对记录带电粒子的应用	325
2. 气泡形成的初步理论	327
§ 11.2 气泡室的种类和构造	330
1. 660 厘米 ³ 圆柱形的 C ₆ H ₆ 室	330
2. 1000 厘米 ³ 圆柱形的 H ₂ 室	335
§ 11.3 气泡室的特性	338
1. 工作原理和工作过程	338
2. 工作液体	338
3. 工作特性和工作条件	341

4. 优缺点	343
§ 11.4 气泡室的应用	344
1. $\pi + p$ 相互作用	344
2. $K + p$ 相互作用及 K 的衰变	344
3. $\bar{p} + p$ 相互作用	346
§ 11.5 气泡室径迹的测量	346
1. 径迹曲率半径的测量	346
2. 电离测量	348
3. 多次散射的测量	351
参考文献	352
第十二章 火花放电室	354
§ 12.1 火花放电室的工作原理	354
1. 火花放电的初步理论	355
2. 沿入射粒子方向的火花放电	357
§ 12.2 火花放电室的种类和结构	358
§ 12.3 火花放电室的特性	361
1. 记录效率	362
2. 灵敏时间	364
3. 火花径迹与入射粒子的偏离	366
4. 磁场对火花径迹的影响	369
5. 不同工作气体对火花室性能的影响	370
6. 火花室的优缺点	370
§ 12.4 火花放电室的应用	371
§ 12.5 火花放电室的控制系統	372
参考文献	375
第十三章 中子探测器	377
§ 13.1 中子与物质的作用及探测方法	378
1. 中子的特性	378
2. 中子与物质的相互作用	379
3. 中子探测方法	381
§ 13.2 慢中子探测器	391
1. 硼探测器	393
2. 裂变室	398

3. 閃爍計數器	400
§ 13.3 快中子探測器	402
1. 反冲电离室和反冲正比計數管	402
2. 閃爍計數器	409
3. 原子核乳胶	414
4. 快中子能譜仪	416
5. 飞行時間譜仪	423
参考文献	427
第十四章 探測器的符合应用	430
§ 14.1 符合与舛符合法	430
1. 符合与舛符合的基本概念	431
2. 偶然符合計数	432
3. 眞符合計数	435
4. 延迟符合	439
§ 14.2 探測器符合应用的实例	441
1. 測量不稳定粒子(或原子核)的寿命	441
2. 測量飞行時間	448
3. 研究弹性散射及作用总截面	450
4. 稀少事例的測量	453
5. 其他方面的应用	456
参考文献	462
第十五章 实验数据的誤差处理	463
I. 誤差处理中的基本概念	463
§ 15.1 引言	463
1. 观测的分类	464
2. 观测的质量	465
3. 有效数字	465
§ 15.2 等精度观测	469
1. 誤差的分类	469
2. 偶然誤差的性质	471
3. 几种数值的定义	472
4. 誤差表示的意义	477
5. 間接观测的誤差	481

§ 15.3 非等精度观测	486
1. 权的概念	486
2. 广义算术平均值	487
3. 单位权的误差	488
II. 核射线探测统计学	489
§ 15.4 放射性测量的统计误差	489
1. 二项式分布	490
2. 泊松分布和高斯分布	493
3. 几个具体例子	495
§ 15.5 平均效应的统计性质	498
III. 最小二乘法的简单原理及其应用	499
§ 15.6 等精度的情况	500
§ 15.7 非等精度的情况	502
参考文献	505
第十六章 原子核实验物理的基础知识	506
§ 16.1 物理学中常用的单位及其换算	506
1. 常用的力学单位制	507
2. 常用的电磁学单位制	511
3. 能量和质量的单位	514
4. 其他一些常用的单位	517
§ 16.2 核反应运动学关系	520
1. 建立运动学关系的基础	520
2. 二体产物运动学	533
3. 多体产物运动学	547
参考文献	553
附录 1 重要原子常数表	554
附录 2 β 与 γ 的关系值	555
附录 3a 质子在 Be, C, Al, Cu, Pb 和空气中的电离损耗值 $-\frac{1}{\rho} \left(\frac{dE}{dx} \right)_{\text{电离}}$	556
附录 3b 质子在 Be, C, Al, Cu, Pb 和空气中的射程-能量关系	559

附录4	$f(\Delta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\Delta^2}{2}}$ 的数值表	562
附录5	$\phi(\Delta) = \frac{1}{m\sqrt{2\pi}} \int_0^\Delta e^{-\frac{1}{2}\frac{\Delta^2}{m^2}} d\Delta$ 的数值表	564
附录6	各种探测器主要特性及应用表	566
人名对照表		568
内容索引		569