



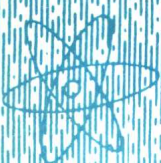
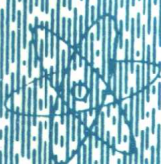
中等专业学校试用教材



# 非电量电测技术



下 册

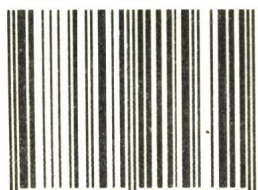


严锦生 编  
夏元复 主审



原子能出版社

ISBN 7-5022-1565-4



9 787502 215651 >

ISBN 7-5022-1565-4  
TM938.8 定价 8.80 元



中等专业学校试用教材

# 非电量电测技术

(核辐射技术在检测中的应用)

下册

严锦生 编      夏元复 主审  
李保祥 审

## 图书在版编目(CIP)数据

非电量电测技术 下册:核辐射技术在检测中的应用/严锦生编. —北京:原子能出版社, 1997. 6

中等专业学校试用教材

ISBN 7-5022-1565-4

I. 非... II. 严... III. ①非电量测量-专业学校-教材②辐射度测量-应用-非电量测量-专业学校-教材 IV. TM938. 8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 13039 号

## 内 容 提 要

全书分上、下两册共 17 章。上册为 1~14 章,介绍各类常用传感器的工作原理、特性、测量电路以及测量信号的放大、处理、显示与记录;下册为 15~17 章,介绍常用核辐射探测器、核辐射测量基本单元电路及核辐射技术在检测中的应用。上册学时为 120 学时,下册学时为 60 学时,总学时为 180 学时。

上册可作为各类中等专业学校电子技术应用专业、检测专业、电气专业和自动化专业的教学用书。下册特别适用于作核工业部门的中等专业学校的教学用书。全书可以作为高等工业学校教师和学生的参考书或专业化培训教材,也可供有关技术人员参考。



本书经核工业教材委员会核工业教材委员会 1993 年 12 月由夏元复教授主持召开的审稿会审定作为中等专业学校试用教材。

非电量电测技术 下册  
(核辐射技术在检测中的应用)

严锦生 编

©原子能出版社,1997

责任编辑:袁祖伟

社址:北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码:100037

原子能出版社印刷厂印刷 新华书店经销

开本:787×1092mm 1/16 印张 10.625 字数 265 千字

1997 年 6 月北京第 1 版 1997 年 6 月北京第 1 次印刷

印数:1—1500

定价:8.80 元

## 前 言

本书是根据中国核工业总公司教材委员会于1990年8月召开的教材编审会议审定的《非电量电测技术》编写提纲编写的。

核工业测量技术领域,除了要进行核辐射探测外,更大量的检测工作则是热工量、机械量及其他非电量的检测。在核工业部门从事检测工作的技术人员往往会涉及大量常规仪表的工作。随着核技术在国民经济各领域的应用日益扩大,从事常规仪表工作的技术人员也会接触到各种同位素仪表。同位素仪表是非电量电测的一个重要分支,在检测技术中显示出了强大的生命力,一些常规仪器不能胜任或难以胜任的检测工作,使用同位素仪表可以得到令人满意的结果。因此,本书不仅介绍了各类常用的传感器,而且还以相当的篇幅介绍了常用的核辐射探测器、核电子学基本单元电路及核辐射技术在检测中的应用。

本书从应用的角度介绍传感器和有关技术。以介绍结构型传感器为主,对物性型传感器也做了一定篇幅的介绍。对传感器的工作原理只做一般性的叙述,力求深入浅出,避免繁杂的数学推导。测量电路部分则做了较详细的分析和叙述。对涉及到正确、合理使用传感器的一些实用性较强的技术环节以及补偿电路也做了较详细的叙述。

全书共17章,分为上、下两册。上册介绍常规传感器的工作原理、特性、测量电路及其应用,测量信号的放大、处理及显示记录;下册介绍常用核辐射探测器、核辐射测量基本单元电路及核辐射技术在检测中的应用。

本书上册可作为中等专业学校电子技术应用专业、检测专业、电气专业和自动化专业的教材及有关专业的参考书,下册特别适用于核工业部门中专学校的教学,亦可作为专业化培训教材。本书各章独立成篇,教学时可根据需要取舍。

本书由南京大学物理系夏元复教授主审,清华大学李保祥副教授审校,核工业总公司264厂官本诚总工程师、263厂李学颜副总工程师、原子能出版社袁祖伟副编审参加了审定工作。审稿人对全书作了仔细的审阅,提出了许多宝贵的意见。本书在编写过程中得到了南京工业学校领导的大力支持,南京工业学校解坤荣、吴敏中高级讲师提供了宝贵的意见和帮助,张永号、高建平、杨标、江春老师在教材的微机录入和初校中做了大量的工作,在此谨致以深切的谢意。

编者在原讲义的基础上综合了多年的教学实践及工作经验编成此书。由于教学经验及水平有限,错误和不当之处在所难免,望各位专家、同行及读者,不吝赐教,编者不胜感谢。

编 者

1993年12月



# 目 录

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 绪论                           | (1)   |
| 第十五章 核辐射探测器                  | (5)   |
| 第一节 核辐射的基础知识                 | (5)   |
| 第二节 射线与物质的相互作用               | (12)  |
| 第三节 电离室                      | (22)  |
| 第四节 正比计数器                    | (32)  |
| 第五节 G-M 计数器                  | (38)  |
| 第六节 闪烁探测器                    | (44)  |
| 第七节 硼电离室、裂变室和自给能探测器          | (61)  |
| 第十六章 核辐射测量系统的基本电路            | (66)  |
| 第一节 核辐射测量系统概述                | (66)  |
| 第二节 前置放大器                    | (69)  |
| 第三节 主放大器                     | (77)  |
| 第四节 快放大器                     | (93)  |
| 第五节 弱电流放大器                   | (96)  |
| 第六节 脉冲幅度分析                   | (99)  |
| 第七节 时间分析                     | (107) |
| 第八节 核脉冲计数                    | (118) |
| 第九节 高压稳压电源                   | (130) |
| 第十七章 核辐射技术在检测中的应用            | (139) |
| 第一节 $\beta$ 和 $\gamma$ 透射式仪表 | (139) |
| 第二节 电离式仪表                    | (146) |
| 第三节 中子仪表                     | (149) |
| 第四节 中子测井                     | (156) |
| 参考文献                         | (163) |



# 绪 论

在科学实验和工农业生产中,人们要测量各种各样的物理量。从电学角度,物理量可分为两大类:一类为电量,如电压、电流等参量;另一类为非电量,如温度、压力、流量、力、力矩、速度、加速度、位移、距离、长度、振动频率和幅度、放射性强度等参量。在科学技术和工程上所要测量的参量大多为非电量。利用电测的方法测量非电量,称为非电量电测技术,它的主要内容是研究如何利用电子学技术正确地测量非电量。

## 一、非电量电测系统

一个非电量电测仪器(或系统)是由三大部分组成的,即传感器、测量电路部分和显示记录部分,有时还有数据处理部分,如图 0.0.1 所示。

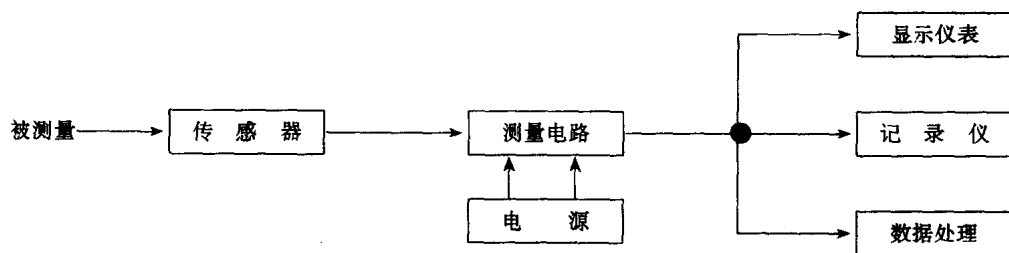


图0.0.1 非电量测量系统

传感器是一个把被测非电量变换为电量的器件。实现非电量和电量之间的变换,这是检测的首要环节,正是因为使用传感器实现了这一变换,人们才得以用电测系统来测定非电量。

传感器是测量系统中的关键性的器件,在系统中占有非常重要的地位。传感器能否精确地、可靠地将被测非电量变换为电量,关系到整个测量系统的精度和可靠性。如果传感器的误差大,即使后面的测量电路和显示电路的精度再高,也不可能获得高精度的测量结果。没有精确可靠的传感器,就没有精确可靠的电测系统。

测量电路的作用是把传感器输出的电信号进行放大和适当的转换,使之变成适于显示和记录的电流、电压信号。例如,在力、压力的测量中常利用传感器将力和压力变换为电参数(电阻、电容、电感)的变化。然而这些电参数的变化是很微小的,也不适于记录和显示,因此必须用电桥电路将电参数的微小变化转换为电桥输出电压的微小变化,并用放大电路将电桥的微弱输出信号放大至适宜显示和记录的幅度。测量电路中有时还设有补偿电路,以对误差进行适当的补偿,提高测量的精度。测量电路的具体结构和特性参数决定于传感器的性能和测量要求。

测量的目的是使人们得到被测量的数值,所以必须要有显示、记录装置,将被测的非电量显示记录下来,以便分析、研究。显示、记录装置的种类和具体结构决定于测量电路的输出和具体的测量要求。最简单的显示方法是表头显示,它根据指针与经过标定的标尺的相对位置来读数。常用的表头有电流表、电压表,其标尺是按被测的非电量(如力、压力)来刻度的,并事先按标准量进行标定。数字显示是用数学形式来显示读数,实际上是一只专用的数字电压表、数学电流表。表头显示和数字显示只适用于静态量的检测,如果被测量是一个随时间变化的动态量,在测量中不仅要测出被测参数的数值,而且要了解其随时间的变化过程,则必须采用图形显示。常用的图形显示设备有电子电位差计、 $x$ - $y$  函数记录仪、光线示波器、磁带记录仪等,这些设备将被测量的变化过程以图形的形式显示或记录下来。

在分析非电量测量仪器的结构时,常把测量仪器的传感器部分称为一次仪表,而把测量电路和记录、显示部分合称为二次仪表。

与电量的电测技术相比较,一般说来,非电量的电测技术要复杂得多。电量的电测中,只需要将待测的电量放大、变换为适宜显示与记录的电压、电流信号;而非电量的电测中,则多出一个转换环节,必须用传感器将非电量转换成为电量。在使用传感器进行检测时,性能各异的传感器对测量电路有其特殊的要求,在检测的实施过程中,某些实施的环节可能会引入较大的测量误差,测量电路必须予以消除与补偿。这些因素增加了非电量电测系统的技术难度和复杂程度。

## 二、非电量电测技术的特点及其应用

非电量电测技术是将非电量转换为电量而进行测量的,与其它的测量方法相比较,它有很多的优点。电测技术的主要优点有:

1) 电子装置的惯性小,反应速度快,有比较宽的频率响应,不仅能测量缓变参量,也能测量快速变化的参量。

2) 电信号易于传输和控制,可以进行远距离自动检测。

3) 测量结果很容易变换为数字信号,便于利用电子计算机对检测结果进行处理和分析。

4) 测量的精确度和灵敏度高,能够较方便地调节灵敏度,具有很宽的量程。

因此,非电量电测技术在科学技术和工程上有着极其广泛的应用。现代化工业生产离不开非电量电测技术。

在现代化的工业生产中,为了保证正常、安全生产,必须对许多参数进行检测和监视,在某些参数达到警戒值时,还必须发出报警信号和控制信号,以便及时地采取安全措施。为了保证高效率地生产,必须对某些工艺参数予以控制,而要实现控制,首先就必须进行检测,然后根据检测结果及时地发出控制信号,使生产始终在最合理、最经济的参数下进行,以获得巨大的经济效益。为了保证产品的质量,使其达到规定的要求,在生产过程中必须严格检测其工艺参数,产成品的质量更必须严格检测。

随着核技术的发展,核辐射技术在农学、医学、矿山地质和检测中的应用正在日益扩大。许多新型的同位素仪表,如核子秤、 $\alpha$  感烟火灾报警器、中子水分计、中子测井仪等,获得了日益广泛的应用,同位素仪表显示了其独特的优越性和强大的生命力。

非电量电测技术在科学研究、工农业生产、医疗卫生、国防、环境监测等领域有着极其广泛的应用,随着人民生活水平的提高,非电量电测技术正逐步进入人们日常生活的领域。

### 三、非电量电测技术的发展趋势

非电量电测技术紧密地伴随着现代科学技术的发展而发展。一方面,材料科学的发展使许多新型的物性型传感器不断出现,一些难于转换成电量的非电量也能用电测的方法来测量。近年来,在生物学、医学方面应用的生物传感器不断地被研制成功,它可将各种生化、生理信息转换成电量。另一方面,集成电路和微处理机的发展使二次仪表部分产生了重大的变革,整个测量系统趋向于集成化、智能化,测量系统的可靠性、稳定性及测量的精度也在不断地改善与提高。与此同时,高科技、高自动化的生产也对检测技术提出了更高的要求,促使人们研制出更新的、更完善的检测技术和测量系统。总的说来,非电量电测技术的发展趋势有以下几个方面:

1)高可靠性、高稳定性、高精度 提高测量系统的可靠性、稳定性和精度,既是一个不断研究的老问题,也是有待探索的新趋向。错误的检测会给生产带来重大损失,高质量的仪器仪表才能保证正常的、高效率的生产。现代化的生产对仪器仪表的可靠性、稳定性、精度提出了越来越高的要求。仪器仪表要在原有的基础上不断提高其技术性能指标。

2)集成化、数字化、智能化 随着半导体集成技术的发展,将传感器和测量电路合为一体,制成混合集成电路器件,不但可以提高器件的抗干扰能力,而且可以大大减小整个检测装置的体积,有利于提高性能和降低成本。目前国外已经研制出这种新型的元件。

采用数字式传感器直接输出数字量,可以省掉模-数转换环节,便于和计算机衔接。

采用微处理器和单片微型计算机的检测系统,可以由计算机进行测量结果和误差计算,可以进行温度补偿、非线性补偿,可以自调零、自校准、自选量程、自动测试,从而实现仪器的智能化。智能化的检测系统只要求传感器有好的重复性和稳定性,而仪器性能的改善及信号的处理全部由微处理机来完成。

3)新型传感器、新领域、新的检测方法 在高新技术的开发中,需要测量极端参数值(超高压、超高温、超低温、微差压、大吨位)和特种参数(心电流、脑电波、嗅觉、味觉、视觉)等,这就促使人们探讨新的测量原理和新的检测方法,研制新型的传感器。生命科学的研究促成了各种各样的生物传感器的开发,仿生传感器也获得了迅速发展,并在工业上开始初步应用。

有人说:“征服了传感器,就几乎等于征服了科学技术”,由此可见,传感器技术在信息社会的重要性。非电量电测技术正以其强大的生命力迅速地发展。

### 四、本课程的要求和学习方法

非电量电测技术是一门涉及学科较多的交叉性学科,直接与本课程有关的基础课程有数学、物理学、工程力学、电子学、电工学等,其中与物理学、电子学的关系更为密切。本课程介绍的传感器的原理,绝大部分是基于各种物理现象和物理效应,而测量电路又以模拟、数字电路为基础,测量电路部分可以看作是电子技术课程的应用、综合和延伸。

通过本课程的学习,要求学生能了解常规传感器的工作原理和特性,在工程检测中能正确地、合理地选择和使用传感器;较深入地掌握信号的获得和变换技术,熟悉基本测量电路(电桥电路、数据放大器、电荷放大器等)的工作原理、分析计算方法;了解信息的显示、记录技术;掌握几种较典型的非电量测量系统。核辐射在检测中的应用部分,要求学生了解常用的核辐射探测器的工作原理和特性,较深入地掌握核电子学基本电路的基础知识,对同位素仪表有所了解和认识。学生应有一定的实验和调试技能。

学习本课程时,必须掌握正确的学习方法。

本课程虽然不要求掌握设计传感器的方法,只要求正确地选择和使用传感器,但了解传感器的工作原理和特性是十分重要的。只有较深入掌握这部分知识,才能正确地选择和使用传感器,才能明确传感器对测量电路的要求。

本课程是以传感器为主线编写的,传感器各章彼此独立。由于传感器的工作原理各异,对测量电路的要求也不一样,学习时要注意到各类传感器所配用的测量电路的特点,同时注意对各种测量电路予以纵向、横向的比较。例如在学习参数型传感器时,电桥电路作为基本测量电路,必须注意电阻式、电容式、电感式传感器所配用的电桥电路的特点和异同点。

“非电量电测技术”是一门应用型学科,有很强的实践性,在检测的实践过程中,有些因素和实施环节会给测量带来较大的误差,有的甚至于关系到能否进行有意义的测量。例如,电容式传感器使用中如何克服电缆分布电容的影响,霍尔传感器的不等位电势和温度的补偿,应变片的温度补偿,等等,对于这些问题,测量电路中都采取了一定的补偿技术和其他技术措施予以克服。深入了解和掌握这些实用性很强的补偿技术是十分重要的,一旦传感器选定后,这些实用性技术往往是合理使用传感器的关键。

## 第十五章 核辐射探测器

在核辐射测量中,必须利用某些核辐射探测器来感受和传递核辐射所携带的信息。常用的核辐射探测器有电离室、正比计数管、闪烁计数器等。这些核辐射探测器能将所需检测的核辐射信息转换为电信号输出。

核辐射测量系统一般由核辐射探测器、模拟信号的获取和处理、A/D 转换、数据的获取和处理等部分组成。核辐射所产生的电信号,最基本的特点是具有统计性,这也对测量电路提出了特殊的要求。

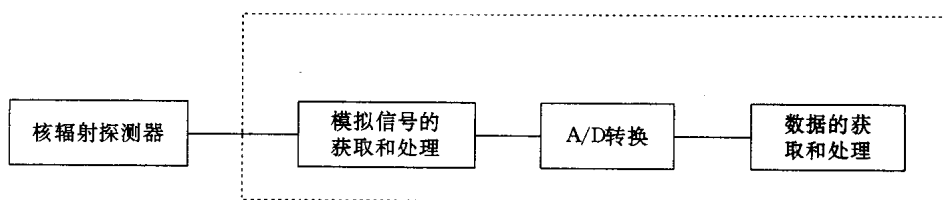


图 15.0.1 核辐射测量系统

本章学习核辐射测量的基础知识,并对常用的核辐射探测器作一般性的介绍。

### 第一节 核辐射的基础知识

#### 一、原子核

物质是由分子组成的,分子是由原子组成的,而原子则是由原子核和核外的电子组成的。原子核是原子的中心体,其直径约为  $10^{-15}\text{m}$  的数量级,约为原子直径的十万分之一。

##### 1. 原子核的电荷数和质量数

通常原子核是由质子(p)和中子(n)组成的,质子和中子统称为核子。质子就是氢原子核,所带电荷为  $+e$ ,其质量  $m_p$  为

$$m_p = 1.00727\text{u}$$

中子不带电荷,其质量  $m_n$  为

$$m_n = 1.00866\text{u}$$

式中:u 为原子质量单位,u 为  $1.660 \times 10^{-27}\text{kg}$ 。

若元素的原子序数为  $Z$ ,则原子核外带  $Z$  个电子。原子是电中性的,故原子核所带的电荷为正电荷。原子核所带的电荷为

$$q = +Ze \quad (15.1.1)$$

因此,原子核质子数即为原子序数  $Z$ 。

当用 u 为原子质量单位时,原子质量  $M_A$  的数值就是原子量  $A_r$ ,即

$$M_A = A, u \quad (15.1.2)$$

与原子量  $A_0$  最近的整数,称为质量数,用  $A$  表示。例如氦的原子质量为  $4.0026u$ ,其原子量  $A_r$  为  $4.00260$ ,其质量数  $A$  为  $4$ 。

原子核的质量  $M_N$  近似等于原子质量  $M_A$  减去  $Z$  个核外电子的质量  $m_e$ ,即

$$M_N = M_A - Zm_e$$

电子的质量  $m_e$  是很小的,约为质子、中子质量的  $1/1840$ ,因此,原子核的质量  $M_N$  近似等于原子的质量  $M_A$ ,原子核的质量数即为原子的质量数  $A$ 。原子核的表示符号为  ${}_Z^AX$ ,  $X$  表示元素的化学符号,  $Z$  表示核电荷数,  $A$  表示核质量数,即代表了原子核内质子和中子的总数,  $N$  则为原子核的中子的数目,

$$N = A - Z \quad (15.1.3)$$

具有相同的质子数  $Z$  及中子数  $N$  的一类原子核,称为一种核素,核素的符号用  ${}_Z^AX_N$  表示。如  ${}_2^4\text{He}_2$  表示氦 4 核,核电荷数亦即质子数为  $2$ ,中子数为  $2$ ,核质量数亦即核子数为  $4$ 。

## 2. 原子核的结合能

质子和中子凭借着核力结合在一起形成原子核。原子接近于球形,其半径  $R$  约为

$$R = r_0 A^{\frac{1}{3}} \quad (15.1.4)$$

式中:常数  $r_0$  为  $(1.1 \sim 1.5) \times 10^{-15}\text{m}$ ;  $A$  是原子核的质量数。如  ${}_{92}^{238}\text{U}$  的核半径为  $7.47 \times 10^{-15}\text{m}$ 。

实验证明,任何原子核的质量  $M_N$  总是小于组成它的所有质子和中子的质量之和,即

$$M_N < Zm_p + (A - Z)m_n$$

也就是说,核子在组成原子核时,质量减少了,减少的质量  $\Delta_m$  叫做质量亏损。

由质量-能量关系  $E = mc^2$  可知,当质量改变  $\Delta_m$  时,相应的能量改变为

$$E = \Delta mc^2 \quad (15.1.5)$$

式中  $c$  为光速。

核子结合形成原子核时,总质量减少了,必定释放出能量,这一能量称为原子核的结合能。结合能  $E_B$  为

$$E_B = [Zm_p + (A - Z)m_n - M_N]c^2 \quad (15.1.6)$$

在组成原子核时每个核子放出的能量称为原子核的平均结合能,平均结合能  $\epsilon$  为

$$\epsilon = \frac{E_B}{A} \quad (15.1.7)$$

$\epsilon$  表示在组成原子核时每个核子放出的能量。

组成原子核的质子和中子不仅围绕着自身的轴旋转(此种运动叫自旋),而且在原子核的内部进行着复杂的运动。

## 二、原子核衰变

有些元素的原子核是不稳定的,它会自发地放射出某种辐射而转变为另一种元素或转变到另一种状态,这种过程称为原子核衰变。原子核自发地放出各种辐射的现象,称为放射性,又

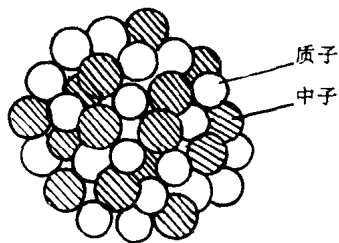


图 15.1.1 原子核的组成示意图

称为核辐射。

原子核衰变的方式主要有  $\alpha$  衰变、 $\beta$  衰变和  $\gamma$  跃迁,放射出  $\alpha$  射线、 $\beta$  射线和  $\gamma$  射线。

### 1. $\alpha$ 衰变

原子核自发地放射出  $\alpha$  粒子的现象叫做  $\alpha$  衰变。 $\alpha$  粒子就是氦原子核。这种  $\alpha$  粒子流通常称为  $\alpha$  射线。 $\alpha$  射线的电离能力强,穿透能力弱。原子核  ${}^Z_Z X_N$  放出  $\alpha$  粒子后,变成另一种原子核  ${}^{Z-2}_{Z-2} Y$ , $\alpha$  衰变可用下式表示

$${}^Z_Z X \rightarrow {}^{Z-2}_{Z-2} Y + {}^4_2 \text{He} + Q \tag{15.1.8}$$

式中  $Q$  为衰变能。

$\alpha$  粒子的能谱是分立的。原子核可能放射出几种能量的  $\alpha$  粒子,并且伴随发射  $\gamma$  射线。

核衰变中发射出的  $\alpha$  粒子的能量通常在  $4 \sim 10\text{MeV}$  之间,eV 是一种能量单位,为一个电子在电场中通过电压为 1V 的电位差时所获得的能量, $1\text{eV} = 1.602 \times 10^{-19}\text{J}$ 。

### 2. $\beta$ 衰变

$\beta$  衰变有三种形式:原子核放射出电子的过程为  $\beta^-$  衰变;放射出正电子的过程称为  $\beta^+$  衰变;原子核俘获一个核外轨道电子的过程称为电子俘获:

$$\beta^- \text{ 衰变: } {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + \beta^- + \bar{\nu}$$

$$\beta^+ \text{ 衰变: } {}^{10}_5\text{C} \rightarrow {}^{10}_6\text{B} + \beta^+ + \nu$$

$$\text{电子俘获: } {}^7_4\text{Be} + e^- \rightarrow {}^7_3\text{Li} + \nu$$

式中: $\beta^-$  表示电子; $\beta^+$  表示正电子; $\nu$  为中微子; $\bar{\nu}$  为反中微子。中微子是一种稳定的中性粒子,其自旋为  $1/2$ ,静止质量为零,始终以光速运动,与物质的相互作用极弱。反中微子是中微子的反粒子。

$\beta$  粒子的能谱是连续的,与  $\alpha$  粒子的不同。

### 3. $\gamma$ 衰变

原子核从激发态跃迁到基态或低能激发态的过程,称为  $\gamma$  跃迁,也叫  $\gamma$  衰变。 $\gamma$  跃迁时所发射出的射线叫  $\gamma$  射线,有时也叫  $\gamma$  光子。 $\gamma$  衰变前后,原子核的组成并不改变。

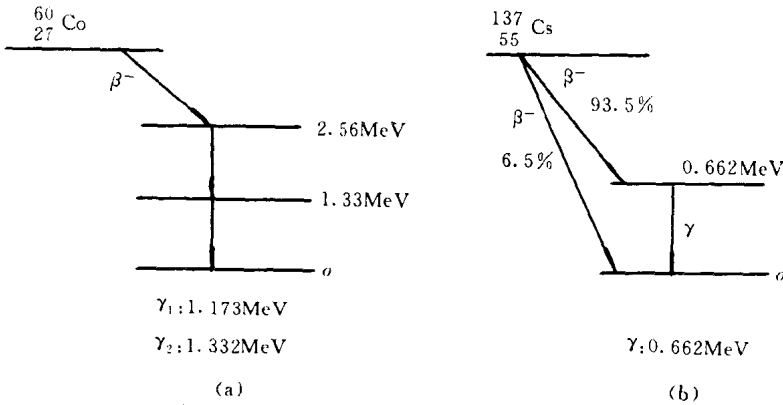


图 15.1.2  $\gamma$  衰变与核能级的关系

有些原子核衰变时,会一代一代地连续进行,即原子核 A 衰变为子核 B,子核 B 又衰变为子核 C,直至衰变为稳定的原子核为止,这称为递次衰变。

### 三、原子核衰变的规律和放射性强度

核衰变具有随机性质,也就是说,某个原子核在一定时间内是否发生衰变是随机的。但对大量的放射性核素的实验测量证明,核衰变服从指数衰减的统计规律。若  $t = 0$  时刻放射性原子核的数目为  $N_0$ ,  $t$  时刻尚存留的放射性原子核的数目为  $N$ , 则

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (15.1.9)$$

式中  $\lambda$  为衰变常数,表示一个原子核在单位时间内衰变的概率。衰变常数不受温度、电磁场等的影响,只决定于原子核本身的性质。所以上式表明核衰变是严格服从指数衰减统计规律的。

#### 1. 半衰期

放射性核数目减少到一半所经历的时间称为半衰期,用符号  $T_{1/2}$  表示。由(15.1.9)式,当  $t = T_{1/2}$  时,放射性原子核的数目  $N$  为

$$N = \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}$$

则

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (15.1.10)$$

各种天然放射性核素的半衰期有很大的差异,例如  $^{238}\text{U}$  的半衰期为  $4.4 \times 10^9 \text{a}$ ,  $^{24}\text{Na}$  的半衰期为 15h,而  $^{21}\text{Na}$  的半衰期只有 23s。

#### 2. 放射性活度和放射性强度

衰变常数  $\lambda$  为放射性原子核在单位时间内衰变的概率。放射性原子核的平均数为  $N$ , 那么在单位时间内衰变的原子核的平均数为  $\lambda N$ 。放射性活度  $A$  定义为放射性原子核的衰变率  $-\frac{dN}{dt}$ , 即

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N \quad (15.1.11)$$

用  $\lambda$  乘(15.1.9)式的两边可得

$$\lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

将上式代入(15.1.11)式可得

$$\begin{aligned} A &= \lambda N_0 e^{-\lambda t} \\ &= A_0 e^{-\lambda t} \end{aligned} \quad (15.1.12)$$

式中  $A_0 = \lambda N_0$  为初始时刻  $t_0$  的放射性活度。由此可见,放射性活度是按指数规律衰减的。

放射性强度是指放射源在单位时间内放出某种粒子的个数。放射性强度和放射性活度是有区别的。比如  $^{60}\text{Co}$  放射源一次衰变放出两个  $\gamma$  光子,其  $\gamma$  射线强度即为其放射性活度的两倍,  $^{137}\text{Cs}$  放射源一次衰变放出一个  $\gamma$  光子,其  $\gamma$  射线强度即为其放射性活度。

国际单位制的法定放射性活度的单位是 Bq(贝可勒尔),1Bq 等于 1 次衰变 /s。放射性活度的单位也曾用 Ci(居里)来表示,1Ci 表示每秒钟有  $3.7 \times 10^{10}$  个原子核发生衰变。其派生单位是 mCi 和  $\mu\text{Ci}$ ;

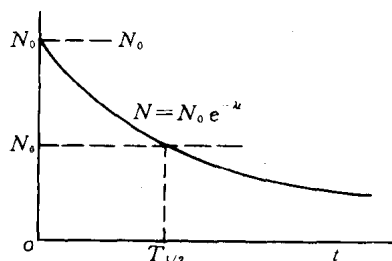


图 15.1.3 原子核衰变曲线