



放射性测量方法

唐培家 主 编

中国核工业集团公司 编



中国原子能出版社

放射性测量方法

主 编 唐培家

中国原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

放射性测量方法 / 唐培家主编. —北京: 中国原子能出版社, 2011. 11
ISBN 978-7-5022-5365-3

I. ①放… II. ①唐… III. ①放射性测定-测量方法-研究生-教材 IV. ①X837

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 234202 号

内 容 简 介

本书主要讲解与放射性测量相关的基础知识。全书共分八章, 内容包括原子核的衰变、射线与物质的相互作用、核辐射探测器简介、放射性活度的绝对测量及相对测量、射线的能量测量及能谱分析、低能射线及弱放射性样品的测量、放射性测量数据处理与结果表述等。

随着核科学技术的发展, 液体闪烁分析技术在放射性测量中的应用日趋广泛。特将“液体闪烁谱仪的应用”作为附录列于书后, 供感兴趣的读者参阅。

本书既可作为非核物理专业研究生的基础课教材, 也可作为从事放射性测量工作的核电厂员工及相关研究人员的专业培训教材或参考书。

放射性测量方法

出版发行 中国原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100048)
责任编辑 杨树录 侯茸方
技术编辑 丁怀兰 王亚翠
责任印制 潘玉玲
印 刷 保定市中画美凯印刷有限公司
经 销 全国新华书店
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 12.25 字 数 303 千字
版 次 2012 年 3 月第 1 版 2012 年 3 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5022-5365-3 定 价 60.00 元

网址: <http://www.aep.com.cn>

发行电话: 010-68452845

E-mail: atomep123@126.com

版权所有 侵权必究

中国核工业集团公司 核电培训教材编审委员会

总 编 孙 勤
副 总 编 俞培根 叶奇蓁

编辑委员会

主 任	陈 桦					
副 主 任	程慧平	孙习康	张 涛			
委 员	仲卫东	刘志勇	马明泽	戚屯锋	邹正宇	
	顾颖宾	商幼明	缪亚民	赵 云	葛政法	
	周建虎	李苏甲	杨树录	李和香	段光荣	

执行编委

谢 波	马寅军	王晓波	叶丹萌	莫银良
高小林	鲁忆迅	唐锡文	谢先林	蔡黎勇
修卫彬	刘 朔	肖 武	刘玉山	

编委会办公室

姜福明	朱 黎	张红军	吴国安	程建秀
宫育锋	章 超	丁怀兰	黄 芳	戴 兵
廖昌斌	方朝霞	沈 阳	王亚翠	

《放射性测量方法》

编辑部

主 编 唐培家

校 对 唐培家

审 核 姚历农

统 审 李贤良 谢江山 李冬馥 李厚文

总 序

核工业作为国家高科技战略性产业,是国家安全的重要基石、重要的清洁能源供应,以及综合国力和大国地位的重要标志。

1978年以来,我国核工业第二次创业。中国核工业集团公司走出了一条以我为主发展民族核电的成功道路。在长期的核电设计、建造、运行和管理过程中,积累了丰富的实践和理论经验,在与国际同行合作过程中,实现了技术和管理与国际先进水平相接轨,取得了骄人的业绩。

中国核工业集团公司在三十多年的核电建设中,经历了起步、小批量建设、快速发展三个阶段。我国先后建成了秦山、大亚湾、田湾三大核电基地,实现了我国大陆核电“零”的突破、国产化的重大跨越、核电管理与国际接轨,走出了一条以我为主,发展民族核电的成功之路。在最近几年中,发展尤为迅猛。截至2008年底,核电运行机组11台,装机容量907.82万千瓦,全部稳定运行,态势良好。

进入新世纪,党中央、国务院和中央军委对核工业发展高度重视、极为关怀,对核工业做出了新的战略决策。胡锦涛总书记指出:“无论从促进经济社会发展看,还是从保障国家安全看,我们都必须切实把我国核事业发展好”。发展核电是优化能源结构、保障能源安全、满足经济社会发展需求的重要途径。2007年10月,国务院正式颁布了《核电中长期发展规划(2005—2020年)》。核电进入了快速、规模化、跨越式发展的新阶段。

在中国核电大发展之际,中国核工业集团公司继续以“核安全是核工业的生命线”的核安全文化理念和“透明、坦诚和开放”的企业管理心态,以推动核电又好又快又安全发展为己任,为加速培养核电发展所需的各类人才,组织核电领域专家,全面系统地对核电设计、工程建造、电站调试、生产准备和生产运营等各阶段的知识进行了梳理,构造了有逻辑性、系统性的核电知识体系,形成了覆盖核电各阶段的核电工程培训系列教材。

这套教材作为培养核电人才的重要工具,是国内目前第一套专业化、体系化、公开出版的核电人才培养系列教材,有助于开展培训工作,提高培训质量、节约培训成本,夯实核电发展基础。它集中了全集团的优势,突出高起点、实用性强,是集团化、专业化运作的又一次实践,是中国核工业 50 余年知识管理的积淀,是中国核工业 10 万人多年总结和实践经验的结晶。

21 世纪是“以人为本”的知识经济时代,拥有足够的优秀人才是企业持续发展的重要基础。中国核工业集团公司愿以这套教材为核电发展开路,为业界理论探讨、实践交流提供参考。

我们要继续以科学发展观为指导,认真贯彻落实党中央、国务院的指示精神,积极推进核电产业发展。特别是要把总结核电建设经验作为一项长期的工作来抓,不断更新和完善人才教育培训体系。

核电培训系列教材可广泛用于核电厂人员培训,也可用于核电管理者的学习工具书,对于有针对性地解决核电厂生产实践和管理问题具有重要的参考价值。

中国核工业集团公司总经理



2009 年 9 月 9 日

前 言

本书以核工业研究生部《放射性测量方法》教材为基础,结合核电厂从事放射性测量工作的员工及相关研究人员的基本专业知识需求编写而成,目的是为其今后从事放射性测量相关工作奠定良好的基础。本书被列为中国核工业集团公司核电培训教材系列中的参考书,同时可作为非核物理专业研究生的基础课教材。

通过对本书的学习,读者可了解放射性核素衰变的规律及有关知识;学习各种射线与物质相互作用的机理;在此基础上,进一步了解各种核辐射探测器的工作原理,掌握其使用方法。放射性测量工作包括放射性活度的绝对测量和各种射线强度的相对测量。放射性活度的绝对测量主要用于放射性溶液的标定及标准源活度的确定;对日常工作中产生的各类放射性样品,通常通过射线强度的相对测量来确定样品中包含的放射性活度。随着科学技术的迅速发展,射线能谱分析技术在放射性测量工作中的应用日趋广泛。射线能谱的分析技术是《放射性测量方法》的重要内容之一。对低能射线的测量和弱放射性样品的测量,还需要专门考虑。实验数据的处理是放射性测量工作必不可少的组成部分,本书最后介绍了放射性测量工作中最常使用的实验数据处理方法。

《放射性测量方法》是一门实验技术课,应该注重理论联系实际,不但要学习理论知识,还要通过实际操作、实习,对所学的理论知识有感性的认识,这样才能理解深刻、掌握牢固。

本书在编写和出版过程中,得到了中国核工业集团公司领导的关心支持,核工业研究生部组织了本书的编写和初审工作,核动力运行研究所、中核集团相关核电厂、中国原子能出版传媒有限公司等单位也给予了大力帮助;在本书内容的研讨和审稿过程中,各方专家提出了宝贵的意见,在此一并表示诚挚的感谢!

由于编者水平有限,书中疏漏在所难免,敬请读者批评指正。

唐培家
2011年7月

目 录

第 1 章 原子核的衰变

1.1	引言	1
1.2	核结构理论的一些基本概念简介	2
1.2.1	原子	2
1.2.2	原子核	2
1.2.3	原子核结构的模型	4
1.3	原子核的衰变	4
1.3.1	α 衰变	6
1.3.2	β 衰变	10
1.3.3	γ 跃迁	14
1.4	放射性衰变的规律	18
1.5	多代子体递次衰变的规律	19
1.6	放射性衰变的平衡问题	20
1.6.1	暂时平衡	20
1.6.2	长期(永久)平衡	21
1.6.3	不能平衡	22
1.7	天然放射系核素及人工生产的放射性核素	22
1.7.1	天然放射系	22
1.7.2	人工生产的放射性核素	24
1.8	衰变纲图	25
	复习思考题	28

第 2 章 射线与物质的相互作用

2.1	引言	30
2.2	重带电粒子与物质的相互作用	31
2.2.1	重带电粒子的能量损失	31

2.2.2 入射粒子的射程	33
2.3 电子与物质的相互作用	34
2.4 正电子与物质的相互作用	37
2.5 β射线在吸收物质中的射程	37
2.6 γ射线与物质的相互作用	39
2.6.1 光电效应	40
2.6.2 康普顿散射	41
2.6.3 电子对效应	44
2.6.4 γ 射线的吸收	45
复习思考题	46

第3章 核辐射探测器简介

3.1 引言	47
3.1.1 基本术语	47
3.1.2 离子对在气体中的运动	49
3.2 电离室	52
3.2.1 电离室的结构	52
3.2.2 电离室的工作原理	53
3.2.3 电离室的特性	54
3.3 正比计数器	55
3.3.1 正比计数器工作原理	55
3.3.2 多丝正比计数器	57
3.4 G-M计数器	57
3.4.1 G-M计数器工作原理	57
3.4.2 G-M计数器的特性参数	59
3.5 闪烁探测器	60
3.5.1 闪烁晶体	61
3.5.2 光电倍增管	63
3.5.3 闪烁探头	66
3.6 液体闪烁计数器	67
3.7 切连科夫计数器	68
3.8 半导体探测器	69
3.8.1 半导体探测器工作原理	69
3.8.2 半导体探测器类型	72
复习思考题	74

第4章 放射性活度的绝对测量

4.1 概述	75
4.1.1 放射性核素活度的定义及单位	75
4.1.2 放射性核素的活度测量	75
4.2 放射性活度的绝对测量	76
4.2.1 小立体角测量	76
4.2.2 4π 立体角测量	79
4.2.3 $4\pi\beta\text{-}\gamma$ 符合法	88
4.2.4 双 4π 测量	93
4.2.5 量热计测量	95
复习思考题	97

第5章 放射性活度的间接测量

5.1 引言	99
5.2 探测效率刻度	100
5.2.1 探测效率表达式	100
5.2.2 探测效率刻度	101
5.3 几种常用的相对测量仪器	106
5.3.1 用于 α 、 β 射线强度(小立体角)测量的仪器	106
5.3.2 液体闪烁谱仪	107
5.3.3 测量高活度 γ 放射性核素的高气压电离室	109
5.3.4 各种 α 谱仪和 γ 谱仪	111
复习思考题	111

第6章 射线的能量测量及能谱分析

6.1 引言	112
6.2 带电粒子能量及能谱测量	113
6.2.1 射程测量方法	113
6.2.2 脉冲幅度分析方法——能量灵敏探测器	116
6.2.3 磁谱仪方法	117

6.3 γ 射线的能谱测量——放射性核素的	
定性定量分析	119
6.3.1 γ 射线能谱分析与能量刻度	120
6.3.2 γ 射线的强度测量与探测效率刻度	124
6.3.3 γ 能谱分析软件	127
复习思考题	130

第 7 章 低能射线及弱放射性样品的测量

7.1 低能射线的测量	131
7.2 弱放射性样品的测量	131
7.2.1 测量仪器本底计数的来源	132
7.2.2 降低本底的措施	132
7.3 常用的几种弱放射性样品测量装置	133
7.3.1 α/β 反符合低本底测量装置	133
7.3.2 反康普顿低本底 γ 谱仪测量装置	134
7.3.3 Tri-Carb3170 型低本底液闪谱仪	135
复习思考题	137

第 8 章 放射性测量数据处理与结果表述

8.1 引言	138
8.1.1 测量误差的分类	138
8.1.2 放射性测量的统计误差	140
8.1.3 可疑数据的剔除	141
8.2 测量数据的有效数字	142
8.2.1 有效数字的位数和数位	142
8.2.2 数字修约规则	142
8.2.3 有效数字运算规则	143
8.2.4 确定有效数字位数的原则	144
8.3 放射性测量计数的平均值及其标准误差	145
8.3.1 放射性计数的平均值及其标准误差	145
8.3.2 误差传递	145
8.3.3 多次测量计数率的误差	147
8.3.4 存在本底计数时计数率误差的计算	148
8.3.5 测量时间的选择	149

8.3.6 探测下限的确定	149
8.4 测量结果的统计检验	150
8.4.1 t 分布检验	150
8.4.2 F 分布检验	151
8.5 测量结果的表述	153
8.5.1 有关测量不确定度的一些基本概念	153
8.5.2 测量不确定度的评定	154
8.5.3 测量结果的表述	156
复习思考题	156

附录 液体闪烁谱仪的使用

1 液闪应用的对象	158
2 液闪测量的工作原理	162
3 猝灭及其校正	164
4 Tri-Carb3170 型液闪的特点	171
5 Tri-Carb3170 型液闪谱仪的功能及使用的注意事项	177
参考文献	182

第 1 章 原子核的衰变

1.1 引 言

迄今为止,世界上已经发现的元素有 112 种。这些元素中,有些是天然存在的,有些是人工合成的。在天然存在的元素中,最重的是 94 号元素钚(Pu)。在 94 号之前的元素中,原子序数 $Z=43$ (Tc)、61(Pm)和 93(Np)的元素都是人工制造的。在 94 号元素中也只有 ^{244}Pu 是天然存在的(半衰期为 $8.00 \times 10^7 \text{ a}$),其他同位素全部都是人工生产的。后来利用人工生产方法又相继获得了 95 号到 112 号元素,它们分别是:95 号 Am(镅)、96 号 Cm(锔)、97 号 Bk(锫)、98 号 Cf(锿)、99 号 Es(镱)、100 号 Fm(钔)、101 号 Md(钔)、102 号 No(镎)、103 号 Lr(镱)、104 号 Rf(𬵓)、105 号 Dh(𬬻)、106 号 Sg(𬭛)、107 号 Bh(𬭻)、108 号 Hs(𬬻)、109 号 Mt(𬬻)、110 号 Ds(𬬻)、111 号 Rg(𬬻)、112 号 Cn(𬬻)。

理论研究预言还存在 113 号到 118 号的元素,但至今尚未实验发现。

每种元素都有一系列的同位素,有些是稳定同位素,有些是放射性同位素。比如,我们熟悉的天然铀就是由三种同位素组成的。其中, ^{238}U 占 99.274 2%, ^{235}U 占 0.720 4%, ^{234}U 只占 0.005 4%。这三种同位素都是放射性核素,它们的半衰期分别是 $4.468 \times 10^9 \text{ a}$ 、 $7.038 \times 10^8 \text{ a}$ 和 $2.455 \times 10^5 \text{ a}$ 。又如天然存在的钍,它仅仅是由一种同位素 ^{232}Th 组成的。 ^{232}Th 也是放射性核素,其半衰期为 $1.405 \times 10^{10} \text{ a}$ 。又如我们大家所熟知的金,天然存在的金是 ^{197}Au (100%),它是稳定的核素。在反应堆中辐照 ^{197}Au ,通过 (n, γ) 反应,可以生成 ^{198}Au 。 ^{198}Au 是放射性核素,其半衰期为 2.695 17 d。

放射性同位素是不稳定的核素,它们能够自发地放出各种射线,转变成另外一种核素。人们把这种转变过程称为原子核衰变,简称核衰变。通常把发生衰变之前的原子核称为母核(或母体),把衰变后生成的新原子核称为子核(或子体)。

放射性核素通过自发地放出各种射线发生核衰变,产生的子核有的变成了稳定的核素,有的则仍然是放射性核素,还会继续发生核衰变。例如,我们通常使用的 ^{60}Co 放射源,它通过发射 β 射线和 γ 射线到达 ^{60}Ni 的基态,变成了一种稳定的核素;医学上常用的 Mo $\rightarrow$ Tc 母牛(核素发生器)中, ^{99}Mo 是放射性核素,它通过发射 β 射线和 γ 射线,衰变到处于激发态的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 仍然是一种放射性核素,其半衰期为 6.01 h。放射性的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 还要通过发射 140.5 keV 的 γ 射线,转变成半衰期更长的核素—— ^{99}Tc ,其半衰期为 $2.14 \times 10^5 \text{ a}$ 。 ^{99}Tc 又会通过发射 β 射线,继续衰变成稳定的 ^{99}Ru 。

原子核衰变的类型包括 α 衰变、 β 衰变和 γ 跃迁。自发裂变是和 α 衰变是相互竞争的重核衰变方式之一。但自发裂变的机制与 α 衰变、 β 衰变和 γ 跃迁不同,不属于本教程的范畴。

原子核衰变的理论常常要涉及原子及原子核结构理论的一些基本概念。在讲述核衰变之前,先简单地介绍一些有关核结构的基本概念。

1.2 核结构理论的一些基本概念简介

1.2.1 原子

原子是构成物质(元素)最小的基本单位。比如金是由金原子组成的,氢是由氢原子组成的,水是由氢原子和氧原子组成的,等等。

原子是由原子核和核外(轨道)电子组成的。核外的电子在自己特定的轨道上围绕着原子核运行。每个轨道上只能有一个电子。这些电子轨道组成壳层结构。最里面的壳层,即与原子核最靠近的壳层叫 K 壳层,向外依次是 L 壳层, M 壳层……K 壳层上有 2 个轨道电子; L 壳层有 2 个支壳层,第 1 支壳层上有 2 个轨道电子,第 2 支壳层上有 6 个轨道电子,所以 L 壳层上共有 8 个轨道电子; M 壳层有 3 个支壳层,共有 18 个轨道电子。一般来说,每个壳层的轨道电子数可用一个通式 $2n^2$ 来表示, $n=1$ 代表 K 壳层, $n=2$ 代表 L 壳层, $n=3$ 代表 M 壳层,依次类推。

在每一个轨道上运行的核外电子都具有一定的能量,称为结合能。K 壳层电子的结合能最低,越往外层,结合能越高。轨道电子可以吸收外来能量,从能量低的轨道跃迁到能量高的轨道,这种现象称为激发;如果吸收的能量足够大,使得轨道上的电子能脱离原子核的吸引而自由运动,变成自由电子,这种现象叫做电离。由于电离或激发的产生,如果内层轨道上一旦出现空位(空穴),外层的轨道电子便会向内层轨道跃迁,外层轨道电子的能量除满足内层轨道电子结合能的需要外,其多余的能量就会以电磁辐射的形式发射出来,人们把它叫做特征 X 射线。

原子是很小的微粒,原子的直径约为 10^{-8} cm 量级。

1.2.2 原子核

原子核由质子、中子组成。质子和中子通称为核子。

核子(质子、中子)及电子都是基本粒子。

原子核中的中子不带电,质子带正电。一个质子所带的正电荷与一个电子所带的负电荷大小相等,符号相反,所以原子核作为一个整体带正电荷。原子核所带的正电荷量与所有核外壳层电子所带的负电荷量相等,因此,整个原子显电中性。

原子核比原子小得多。原子核的直径通常在 $10^{-13} \sim 10^{-12}$ cm 量级之间。

原子和原子核的质量都以原子质量单位 u 进行度量。一个原子质量单位 u 为 ^{12}C 原子质量的 $1/12$,等于 $1.660\,538\,7 \times 10^{-24}$ g。地球上最轻的原子是氢原子,其原子核仅由一个质子组成,核外只有一个轨道电子。氢原子的质量为 $1.673\,532\,4 \times 10^{-24}$ g,一个质子的质量是 $1.660\,564 \times 10^{-24}$ g,一个电子的质量是 $9.108\,5 \times 10^{-28}$ g,仅仅是氢原子核质量的 $1/1\,837$ 。中子的质量是 $1.674\,7 \times 10^{-24}$ g,比质子略重一些。所以,原子的质量主要集中在原子核上。地球上天然存在的很重的铀原子,核外有 92 个电子。92 个电子的总质量和铀原子的质量之比就更小了,只有 $1/4\,741$ 。所以原子质量近似等于原子核的质量。质量数即为核子数,是与原子的原子量最接近的整数。

原子核的质量(也即原子的质量)通常以字母 A 表示; $A = Z + N$ 。其中, N 代表中子

数, Z 代表质子数, Z 也等于核外轨道电子的总数——原子序数。原子序数代表该元素在元素周期表中所处的位置。

具有一定的原子序数 Z 和质量数 A 的某种原子, 又称为核素。

具有相同的质子数 Z 和不同的中子数 N 的核素叫同位素。

在已知的大约 3 100 种核素中, 有 200 多种是稳定的, 其余都是放射性的。在原子序数 $Z > 83$ 的元素(铋以后的元素)中, 没有稳定的同位素。

地球的年龄为 46 亿 a。 ^{235}U 存在的历史有 7 亿 a, ^{238}U 存在的历史有 45 亿 a。超铀元素中除 ^{244}Pu 外再没有天然存在的同位素。

根据原子核结构的理论, 所有同位素的原子核质量都比组成它的各粒子的质量之和要小, 这就是质量亏损效应。

在原子核中, 除了质子之间存在着静电排斥力之外, 核子之间还存在着很强的吸引力(核力)。

核力是一个短程力, 如果核子之间的距离大于 $5 \times 10^{-13} \text{ cm}$, 核力的作用就变得微不足道了。当这两个自由存在的核子相互靠近而结合成原子核时, 便会释放出大量的能量。我们把放出的这种能量叫做结合能。这正是质量亏损效应的所在。

各种同位素的结合能都不相等, 为便于比较, 通常以每一个核子的结合能(比结合能)来表示。图 1-1 示出了比结合能曲线。

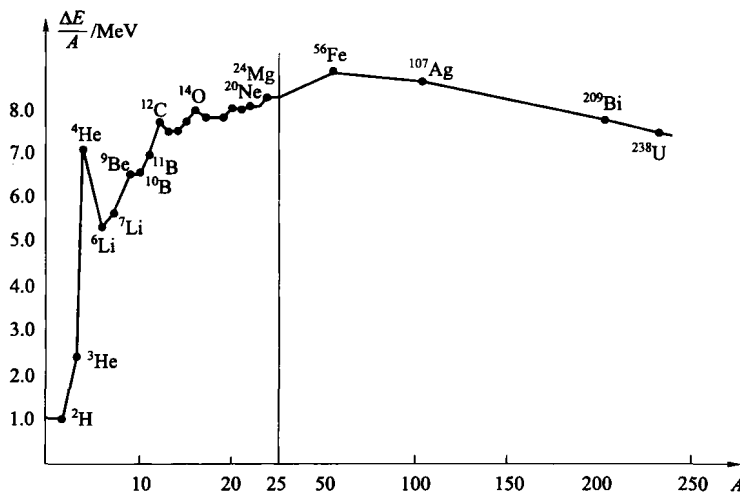


图 1-1 原子核的比结合能曲线

从比结合能曲线可以看出: 中等质量核的比结合能比轻核和重核的比结合能都大。因此轻核聚变和重核裂变时, 都能放出大量的能量。重核裂变以 ^{235}U 吸收一个中子为例, 一次裂变能放出大约 200 MeV 的能量, 每个核子平均放出的能量为 $200 \text{ MeV} / 236 = 0.85 \text{ MeV}$ 的能量; 轻核聚变释放出的能量更大, 在氘和氚的聚变反应中, 每“烧”掉 6 个氘核会放出 43.24 MeV 的能量, 相当于每个核子平均放出 3.6 MeV 的能量, 比裂变反应中每个核子平均放出的能量高 4 倍。

重核裂变是制造原子弹的基础, 也是反应堆运行的基础; 轻核聚变是制造氢弹(热核爆炸)的基础。



我们还知道,质量和能量都是物质的属性,它们之间存在着如下关系:

$$E=mc^2 \quad m=E/c^2 \quad (1-1)$$

式中: E ——能量,MeV;

m ——质量,u;

c ——真空中的光速(299 792 458 m/s)。根据质量和能量的关系,1 u 相当于 931.494 MeV 的能量。

1.2.3 原子核结构的模型

经典的原子核结构模型有液滴模型和壳层模型两种。

液滴模型认为原子核类似于一个均匀带电的液滴,原子核中的每个核子就好像液体中的一个分子。

液滴模型的理论基于以下两个实验事实:

1) 原子核内核子之间的平均结合能正比于核子数,核子之间的相互作用力具有饱和性,与液体分子的饱和性类似。这是因为核子之间有核力吸引,核力是一种短程力,作用范围为 10^{-15} cm,每一个核子只和它临近的核子有这种相互作用,如同液体分子只和贴近它的少数几个分子有相互吸引的作用力一样。

2) 原子核内核子所占的体积守恒,反映了核密度的饱和性,与液体的不可压缩性类似。

液滴模型的理论能成功地解释许多的实验现象,但尚不能解释所有的实验现象,例如铀系核素裂变势垒高度等问题。

原子核结构的壳层模型理论仅仅是对液滴模型理论的一种修正,其基本思想是:

1) 把原子核内的每个核子看作是在一个平均场中运动。这个平均场是核内所有其他核子对一个核子作用场的总和。对于接近球形的原子核,可以认为这个平均场是一个有心场。

2) 根据泡利原理,单个核子能在原子核中独立运动。因此,壳模型又称为独立粒子模型或单粒子模型。

这两种模型各从一个侧面反映了原子核的性质,各有各的优点,也各有各的局限性。如果将两者结合起来使用,就能既像液滴模型那样准确计算出原子核基态的质量和总能量,又可以像壳模型那样反映出粒子运动的壳效应,对大部分实验现象都能给出令人满意的解释。

1.3 原子核的衰变

每一种元素都有好几种同位素,有些是放射性的,有些是稳定的;有些是天然存在的,有些是人工生成的。地球上存在的各种同位素中,天然存在的约 500 多种。其中,稳定的有 200 多种,放射性的有近 300 种。加上人工合成的同位素,大约共有 3 100 多种,其中绝大部分是放射性同位素。

稳定同位素是指核结构不会自发地发生改变的核素;放射性同位素是不稳定核素,它们能通过自发地发射出各种射线,转变成另外一种核素。衰变产生的核素可能是稳定的,也可能是放射性的。如果衰变后生成的子核是放射性的核素,它还要继续发生衰变,直到最终变成稳定的核素为止。

自然界中的稳定核素约 200 多种,对这些稳定的核素标绘出中子数与质子数的关系,就