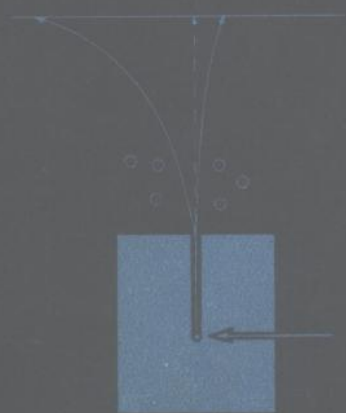




放射学与原子核物理学

(美) J. M. 考克 著 赵炳林 译

放射学与原子核物理学

〔美〕 J. M. 考克 著

赵 炳 林 译

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本书介绍放射学和原子核物理学的基本知识。全书共有十四章,其中较详细地介绍了天然放射性以及中子、质子、介子等基本粒子的性质和来源;并且概要地叙述了当前的核结构理论,以帮助读者掌握上述内容。对于目前通用的探测仪器和加速器的原理及用法也有详尽的描述。最后还介绍放射学在许多部门中的应用。

本书对所述的每一主题都注引了原始文献,因此可供高等学校物理专业学生作为一本入门书阅读。书末附有完整的同位素表以及许多有关核的重要的数据表,对从事放射性测量以及与此有关的各部门的工作者也是一本有用的手册。

放射学与原子核物理学

RADIOACTIVITY AND NUCLEAR PHYSICS

原 著 者 [美] James M. Cork

原出版者 D. Van Nostrand Co.

3rd. ed. 1957

译 者 赵 炳 林

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

上海市书刊出版业营业许可证出093号

新华书店上海发行所发行 各地新华书店经售

大东集成联合印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 10 16/32 插页 7 字数 285,000

1962年9月第1版 1962年9月第1次印刷

印数 1-4,500

统一书号: 13119 · 473

定 价: (十四) 2.00 元

第三版序言

自本书前一版写成之后，在原子核物理学的許多方面已取得了显著的进展。各种加速器已經生产出高能量的粒子，而目前正在設計的加速器則向着产生更高能量的粒子的目标迈进。旧式的探测器已作了改进，并且安装了較新的装置，如多道閃爍譜仪和液体气泡室等。各种介子的性质以及它們的相互作用已較清楚地确定下来。除了反质子的发现以外，对于在理論上曾預言过的最后一个基本粒子——反中子的存在，也有了确实的証据。关于确立已久的宇称守恒原理，理論上已作了它在核反应中失效的預言，并且完成了証实这預言的实驗。

在这一版中为了要概括这許多进展以及概括近代原子核理論中已确认的部分，已經增添了一些題目，并新加了关于原子核的一章。数学上的扩充仅限于了解这次所提出的一些主题。文內附加原始文献完全是为了确証真实的历史发展。作者认为在本书內包括这样一些材料，对于高年級大学生或即将毕业的大学生学习核物理学时，作为入門課程特別适宜。在各章后面都有难易程度不同的习題。书內包括許多重要的有关核的数据表，将使本书对于从事放射性以及与此有关的各部門中的工作者成为一本有用的手册。

作者对很多朋友們表示深切的謝意，他們来信中提供了許多在新近的研究工作中所得的最新数据和图表，并允許使用它們。

詹姆斯·考克

1957年4月

06090

表 1.1 元素周期表

周 期	列	元 素 类										常类原子电子 的分布 (依照离 核远近为次序)								
		(I)	(II)	(III)	(IV)	(V)	(VI)	(VII)	VIII		(0)	K	L	M	N	O	P	Q		
I	1	H 1 1.0080	(H)									He 2 4.008	2	-	-	-	-	-	-	
II	2	Li 3 6.940	Be 4 9.013	B 5 10.82	C 6 12.011	N 7 14.008	O 8 16.000	F 9 18.990			Ne 10 20.183	2	8							
III	3	Na 11 22.991	Mg 12 24.32	Al 13 26.98	Si 14 28.09	P 15 30.975	S 16 32.066	Cl 17 35.457			Ar 18 39.944	2	8	8						
IV	4	K 19 39.096	Ca 20 40.08	Sc 21 44.96	Ti 22 47.90	V 23 50.95	Cr 24 52.01	Mn 25 54.94	Fe 26 55.85	Co 27 58.94	Ni 28 58.71									
	5	Zn 30 65.38	Ga 31 69.72	Ge 32 72.60	As 33 74.91	Se 34 78.96	Br 35 79.916					Kr 36 83.80	2	8	18	8				
V	6	Rb 37 85.48	Sr 38 87.63	Y 39 88.92	Zr 40 91.22	Nb 41 92.91	Mo 42 95.95	Tc 43 (99)	Ru 44 101.1	Rh 45 102.91	Pd 46 106.4									
	7	Ag 47 107.880	Cd 48 112.41	In 49 114.82	Sn 50 118.70	Sb 51 121.78	Te 52 127.61	I 53 126.91					Xe 54 131.3	2	8	18	18	8		
VI	8	Cs 55 132.91	Ba 56 137.33	La 57 138.92	Hf 72 178.50	Ta 73 180.95	W 74 183.85	Re 75 186.22	Os 76 190.2	Ir 77 192.2	Pt 78 195.08									
	9	Au 79 197.0	Hg 80 200.51	Tl 81 204.39	Pb 82 207.21	Bi 83 209.00	Po 84 210	At 85 (210)					Rn 86 222	2	8	18	32	18	8	
VII	10	Fr 87 (223)	Ra 88 226.06	Ac 89 227										原子序 符号 17 Cl 35.457 名称 原子量						
最高成键 氧化物		RO	RO	RO ₂	RO ₂	RO ₂	RO ₂	RO ₂	RO ₄											
最高气态的 氢的化合物					RH ₄	RH ₃	RH ₃	RH												
*) 68-71 镧系元素		Ce 68 140.13	Pr 69 140.92	Nd 60 144.27	Pm 61 (147)	Sm 62 150.35	Eu 63 152.0	Gd 64 157.26	Th 90 232.04	Pa 91 231.04	U 92 238.03	Th 90 232.04	Pa 91 231.04	U 92 238.03	Np 93 237.05	Pu 94 244.06	Am 95 243.06	Cm 96 247.07		
**) 90-103 锕系元素		Th 90 232.04	Pa 91 231.04	U 92 238.03	Np 93 237.05	Pu 94 244.06	Am 95 243.06	Cm 96 247.07	Bk 97 (247)	Cf 98 (251)	Es 99 (252)	Fm 100 (257)	Mv 101 (261)	No 102 (259)	Lr 103 (262)					

(圆括弧里的数字表示最安定的同位素的质量数)

目 录

第一章 天然放射性	1
1.1 周期表	1
1.2 原子量、化学标度和物理标度	2
1.3 同位素、质量亏损和结合能	3
1.4 敛集率	6
1.5 同位素、同质素和同中素	7
1.6 铀和钍的丰度和性质	7
1.7 放射性的发现	8
1.8 辐射的性质	9
1.9 原子蜕变	11
1.10 基本粒子	12
a. 电子	12
b. 质子	12
c. 中子	13
d. 正电子	13
e. 中微子	14
f. 介子	14
g. 光子	15
h. 反质子	15
i. 反中子	16
1.11 衰变常数和半衰期	16
1.12 铀-镭族	20
1.13 铀-锕族	22
1.14 钍族	23
1.15 镎族	24
1.16 地球的年龄和放射性	25
1.17 放射性的测量	26
a. 居里	26
b. 伦琴或“伦”单位	27

c. 雷德	27
习题	28
第二章 原子核	29
2.1 早期理論	29
2.2 核自旋	29
2.3 磁矩	30
2.4 α 粒子模型	32
2.5 液滴模型	33
2.6 核壳层模型	34
2.7 宇称	38
2.8 統一核模型或集合核模型	38
2.9 鏡象核	42
习题	43
第三章 輻射的探測	45
3.1 荧光法	45
3.2 照象法	45
3.3 电离室	47
3.4 真空管靜电計	49
3.5 尖端式計数器	50
3.6 計数管	51
3.7 正比計数器	54
3.8 計数器綫路	55
a. 效率	56
b. 符合电路	56
c. 定标电路	57
3.9 电子倍增管	58
3.10 閃爍計数器	60
3.11 晶体計数器	62
3.12 切連科夫計数器	63
3.13 平行板計数器	65
3.14 高效率 γ 計数器	65
3.15 威尔逊云室	65
3.16 气泡室	67

3.17 β 谱仪	68
a. 半圆形聚焦磁谱仪	68
b. 电子透镜	73
c. 双聚焦磁谱仪	74
d. 静电聚焦式 β 谱仪	76
3.18 量热器法	76
3.19 质谱仪	77
3.20 飞行时间——质谱仪	80
习题	80
第四章 感生放射性——仪器	82
4.1 早期实验	82
4.2 α 粒子所引起的蜕变——卢瑟福	82
4.3 核截面	83
4.4 质子引起的蜕变——考克罗夫特和瓦尔顿实验	84
4.5 变压器	86
4.6 大气电的利用	87
4.7 脉冲发生器	87
4.8 范德格拉夫起电机	88
4.9 直线加速器	91
4.10 离子的静电聚焦	94
4.11 回旋加速器	97
4.12 频率调制	102
4.13 电子回旋加速器	104
4.14 同步加速器	108
4.15 宇宙加速器	108
4.16 贝瓦加速器	109
4.17 交变梯度强聚焦加速器	110
习题	112
第五章 α 射线	114
5.1 α 射线的发现	114
5.2 α 粒子的荷质比	114
5.3 α 粒子的射程	115
5.4 α 射线的歧离	119

5.5 阻止本领	120
5.6 射程和半衰期	122
5.7 α 能量与中子数	123
5.8 α 射线谱	124
5.9 α 粒子的散射	126
5.10 由 α 粒子引起的嬗变	130
a. α -质子反应	131
b. α -中子反应	132
5.11 α 粒子逃逸	133
习题	134
第六章 β 射线	136
6.1 历史概述	136
6.2 β 粒子的吸收与射程	136
6.3 确定 β 能量的费泽定则	139
6.4 根据铝的半值厚度确定 β 射线的能量	141
6.5 β 射线谱	141
6.6 中微子	143
6.7 正电子	146
6.8 电子与正电子的荷质比	147
6.9 正电子体	147
6.10 β 衰变的费米理论	149
6.11 柯诺平斯基-乌伦贝克理论	150
6.12 萨晋定则	152
6.13 “K”电子俘获	155
6.14 电子引起的嬗变	157
6.15 电子的散射	158
习题	160
第七章 γ 辐射	161
7.1 γ 辐射的发现及其本质	161
7.2 弯晶聚焦谱仪	162
7.3 γ 射线的起源	163
7.4 光子	164
7.5 γ 辐射的吸收	164

7.6	光电效应	167
7.7	康普顿效应	169
7.8	电子对生现象	173
7.9	核的光致蜕变	174
7.10	弹性散射	176
7.11	γ 射线的总吸收	177
7.12	γ 谱和内变换	178
7.13	原子核的异能态	180
7.14	相继发射的 γ 量子的方向关联	182
7.15	闪烁谱仪和 γ - γ 符合	183
7.16	粒子的波性	184
7.17	γ 辐射在应用辐射学中的应用	185
	习题	186
第八章	中子	187
8.1	中子的发现	187
8.2	中子的质量	188
8.3	中子的寿命	189
8.4	从天然 α 发射体发出的中子	189
8.5	从被加速粒子的反应得到的中子	191
8.6	从 γ 射线反应得到的中子	194
8.7	从反应堆得到的中子	194
8.8	中子的吸收及其在物质中的射程	196
	a. 弹性碰撞	196
	b. 非弹性碰撞——中子俘获	199
8.9	中子共振吸收	201
8.10	中子引起的嬗变	202
	a. 中子- γ 射线	203
	b. 中子-质子	204
	c. 中子- α 粒子	204
	d. 中子-二 neutron	204
	e. 中子-三个或更多粒子	205
	f. 中子引起的裂变	205
8.11	中子散射	205
8.12	中子的磁矩与反常散射	209

8.13 中子的反射	209
8.14 反中子	210
8.15 中子的生理效应和剂量	211
习题	211
第九章 质子、氘核和氚	213
9.1 质子	213
9.2 质子引起的嬗变	213
9.3 氘核	217
9.4 氘核引起的嬗变	218
a. 氘核-中子反应	218
b. 氘核-质子反应	218
c. 氘核- α 反应	221
9.5 由氘核轰击而引起的 X 射线	222
9.6 质子在氢气中的散射	223
9.7 质子的非弹性散射	225
9.8 质子与氘核的射程	227
9.9 三质量单位的粒子	229
习题	230
第十章 介子	231
10.1 介子及其发现	231
10.2 介子的分类	232
10.3 介子的产生	233
10.4 π 介子的半衰期	235
10.5 μ 介子的半衰期	236
10.6 高能电子与介子的能量丢失	237
习题	239
第十一章 宇宙辐射	241
11.1 历史概述	241
11.2 宇宙射线的性质	242
11.3 地球作为磁谱仪; 东-西效应	244
11.4 纬度效应	247
11.5 高度效应	248
11.6 经度效应	252

11.7 宇宙线簇射和爆丛	252
11.8 宇宙辐射的周日变	256
11.9 宇宙线中的中子	257
11.10 宇宙线粒子和反应	258
11.11 其他量子数	260
11.12 联系高能粒子的动量、电离作用和质量的关系图解	260
习题	262
第十二章 核裂变	263
12.1 历史概述: 铀后元素	263
12.2 裂变	264
12.3 裂片的能量	264
12.4 可裂变同位素	267
12.5 裂变时产生的中子及链式反应	269
12.6 铀同位素的分离	272
a. 电磁分离器	272
b. 分子扩散分离法	273
c. 热分离塔	274
d. 离心机	274
12.7 反应堆或“堆”	274
12.8 加浓原子燃料反应堆	275
12.9 反应堆工作时伴生的放射性	275
习题	279
第十三章 放射学的一些应用	280
13.1 历史概述	280
13.2 农业	281
13.3 考古学——古代碳沉积的年龄	281
13.4 天文学——太阳能	282
13.5 植物学	283
a. 液体的输送	283
b. 光合作用	283
c. 选择吸收	284
13.6 化学	285
a. 吸附作用	285
b. 合成元素	285

c. 辐射与化学反应	286
d. 点金术	286
13.7 工程	286
a. 应用辐射学	286
b. 厚度测定	287
c. 在工程上其他方面的一些应用	287
13.8 医学	288
a. 辐射疗法	288
b. 特指吸收	289
c. 示踪研究	291
13.9 冶金学——原子扩散	291
13.10 矿物学——晶体的颜色	292
13.11 放射性测井	293
13.12 动物学	294
a. 变态	294
b. 辐射与生命	294
13.13 使用放射性物质时的防护问题	296
习题	298
第十四章 同位素表	300
附 录	332
表 AI 基本常数	332
表 AII 关于电子的有用资料	333
表 AIII 关于电子的数据	334
表 AIV 关于质子运动时的有用资料	336
表 AV 关于 α 粒子的有用资料	337
表 AVI 一些元素的激发电位(千伏)	338

第一章 天然放射性

1.1 周期表 早在1815年,英国物理学家普洛特^① (W. Prout)就提出了一个重要的假說,他指出,在元素之間有一种派生的关系。在当时已完成的測量表明,如果以氫原子量作为单位,那末許多其他元素的原子量几乎都(但并不严格地)是整数。普洛特认为,这些与整数的差异是实验誤差,而氫是母质,所有其他的元素都是由氫构成的。因此就把氧原子看作是16个氫原子构成的。

在1864年,紐兰^② (J. Newlands)观察到,当把元素按其符号量 (Symbol weights) 的順序排列时,第十个元素在化学性质上与第二个相似;第十一个与第三个相似,等等。这个通則虽然当他第一次提出时曾經被人譏笑过,而現在已被称为紐兰音阶律。

1869年,門捷列夫 (D. Mendelejeff) ^③ 在俄国,梅逸 (L. Meyer) ^④ 在德国各自发表了几乎完全相同的将当时已知元素排列成直行与橫列的表。任一直行中的元素在化学性质上相似。元素沿橫列自左至右从具有明显的碱性变到具有强酸的特性。元素的化学性质和物理性质都是它們的原子量的函数,这些性质中有許多种显示出周期性的变化。

当周期表第一次发表时,其中許多位置还是空着的。到1895年,已將65种元素确认下来并且分了类。現在已公认的元素列于表1.1中。以氫作为原子序数1开始,然后将元素按原子量增加的次序排列,最重的元素是原子序数101,称为鰐,而介在中間的每一个序数都代表一种元素。在这序列中,元素所在的位置叫做它

① W. Prout, Thomson, *Ann. Phil.*, **6**, 269 (1815).

② J. A. R. Newlands, *Chem. News*, **10**, 94 (1864).

③ D. Mendelejeff, *J. Prakt. Chem.*, **106**, 251 (1869).

④ L. Meyer, *Ann. Chem. Pharm.*, **7**, 354 (1869).

的原子序数,用符号 Z 代表。我們將看到,这些序数代表原子外层轨道上的负电子数,因而也就是原子核中的正电荷数。就是它确定了元素的化学性质。最重的九个元素,它们的原子序数是 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100 和 101, 都是从铀的感生核嬗变中得来的^①。稀土元素鐿 43、鉕 61、碲 85 和釷 87 等,最初都是由核反应造成的。

每一原子序数或元素可以有一种或一种以上不同原子量的原子。这些不同原子量的原子叫做同位素,对任何元素来说,它们之间近似地相差几个质量单位。对于某一元素来说,它的各种同位素常以一固定的相对丰度出现,但氢、铅以及某些常常属于放射性衰变的产物的元素如镭和氡等除外。

1.2 原子量、化学标度和物理标度 原子量测量的标度是基于元素在化学反应时的相对化合量而发展起来的。在这种标度中,以氧作为标准,把氧的原子量选定为 16.00000 时。氢的相应值是 1.00785。

从研究氧的带光谱中指出,正如最初所预料的那样^②,氧并不是由一种同位素组成的。用质谱仪作仔细的研究证实了这种预言:即氧除了质量为 16 的同位素以外,尚有质量为 17 和 18 的同位素的踪迹。如果认定氧中最丰富的同位素的质量恰好为 16,发现同位素 17 的质量是 17.004534,丰度为 0.04%;同位素 18 的质量为 18.004855,丰度为 0.20%。将这些值平均,根据所谓“物理”标度,得到氧的原子量是 16.004411。因此根据物理标度得到的原子量与根据化学标度得到的原子量之比是 1.000275 比 1。

现在认为同位素仿佛是由氢原子和中子构成的。中子是一个

① G. T. Seaborg and J. G. Hamilton, *Science*, **102**, 556 (1945); *Chem. Eng. News*, **23**, 2190 (1945); S. Thompson, A. Ghiorso, K. Street and G. Seaborg, *Phys. Rev.*, **77**, 838 (1950); *Phys. Rev.*, **98**, 1519 (1955); L. Magnusson, M. Studier, P. Fields, C. Stevens, J. Mech, A. Friedman, H. Diamond and J. Huizenga, *Phys. Rev.*, **96**, 1576 (1954).

② W. F. Giauque and H. L. Johnston, *J. Am. Chem. Soc.*, **51**, 1436, 3528 (1929).

中性粒子,其质量按“物理”标度为 1.008986。这样,氧 16 在结构上相当于八个氢原子与八个中子之和。这些氢原子的八个电子构成正常氧原子的外层轨道电子,而八个氢原子核或质子与八个中子组成氧 16 的核。在核中的 A 个粒子不管它是中子还是质子都叫做核子。具有某个质量数的同位素常常叫做核类 (nuclide)。

1.3 同位素、质量亏损和结合能 根据现在质谱仪所能获得的精密度,可用六位有效数字来表示同位素的质量。同样地,元素中所含的各同位素的相对丰度也已经精确地测定出来。

阿斯頓 (Aston) 曾作了有益的观测,奇数原子序数的元素仅有一种或两种同位素,而偶数原子序数的元素则有若干种同位素,有些元素还可多至 11 种。这个事实如图 1.1 所示。这图代表奇数元素锰和偶数元素锡的同位素分布,锰和锡的原子序数分别是 25 和 50。

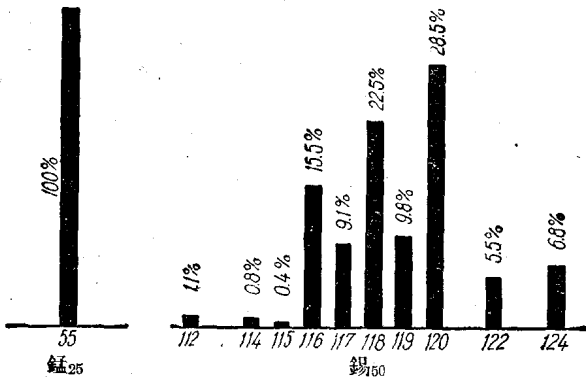


图 1.1 锰与锡的同位素分布

具有偶原子序数 Z 和偶数中子 N 的同位素在自然界中最丰富。在总数将近 242 种同位素中有 164 种就是这样组成的。只有六个天然同位素同时具有奇原子序数和奇数中子,这就是 H^2 , Li^6 , B^{10} , N^{14} , K^{40} 和 Lu^{176} 。天然同位素的分布如图 1.2 所示,其中横坐标代表原子序数 Z ,纵坐标代表中子数 N 。

如果在质量标度中用 16.0000 表示氧的最丰富的同位素的质量,则氢的最丰富的同位素的质量是 1.008145,而氦是 4.003873。

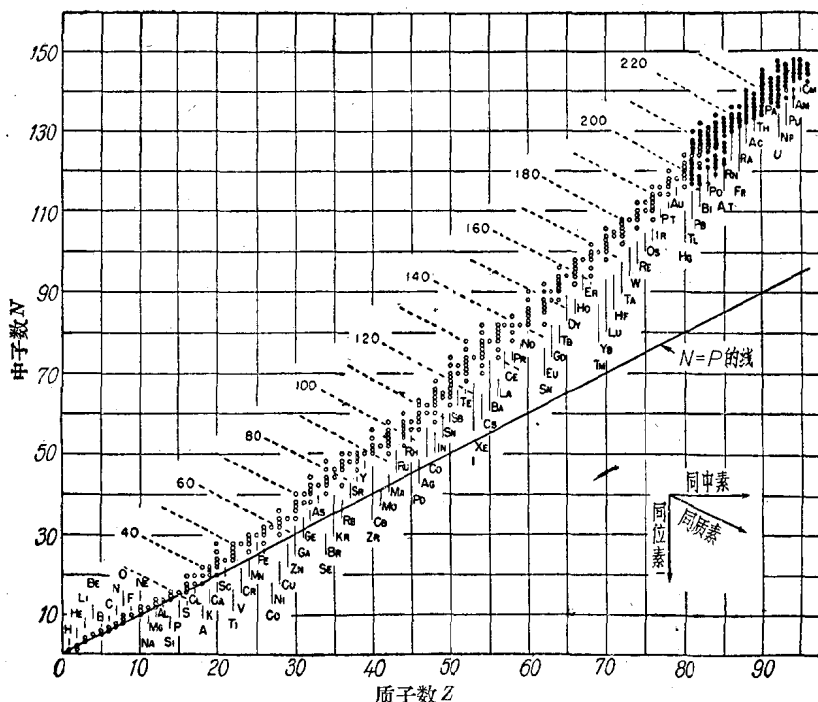


图 1.2 稳定同位素的质子和中子分布

至于中子的质量是 1.008986 。很明显,如果把较重元素看作是由较轻的元素构成的,它们的质量就不正确。例如,两个中子加两个氢原子所具有的质量为 4.034262 而不是所发现的氦 4 的质量 4.003873 。这种质量为 0.030389 质量单位的明显损失叫作“质量亏损”,它在确定元素的相对稳定性以及核反应时的能量交换时是极为重要的。同样,对氧来说,八个氢原子加上八个中子应该得到氧原子的质量为 16.137048 而不是 16.0000 ,即有一质量损失 0.137048 。所以在敛集成或组成氧核时每一核子的质量损失是这个值的十六分之一,或者是 0.008565 质量单位。

根据相对论,质量和能量之间有一对应关系(即质能相当性),根据这种关系每一核子的质量亏损,例如氧的 0.008565 质量单位就可表示成每一核子 7.984 兆电子伏特 (Mev)。对任何元素来