

放射性測量參考手冊

В И. 巴兰諾夫等 編

地質出版社

放射性測量參考手冊

适用于物探工作者和地質工作者

В.И. 巴兰諾夫 Н.Г. 莫罗左娃

А.С. 謝尔迪尤科娃 編

П.И. 查洛夫 В.Л. 沙什金

地質出版社

1959·北京

放射性測量參考手冊

編者 B. И. 巴 兰 諾 夫 等
譯者 于 銘 強
出版者 地 質 出 版 社
北京宣武門外永光寺西街3号
北京市書刊出版業營業許可證出字第050号
發行者 新 華 書 店
印刷者 地 質 出 版 社 印 刷 廠
北京安定門外六鋪炕40号

印數(京) 1—6,000册 1959年8月北京第1版
開本 787×1092¹/₃₂ 1959年8月第1次印刷
字數 182,000字 印張 8⁸/₂₅
定價(10) 1.10元

目 录

| | |
|---|-------|
| 序 言..... | (6) |
| I、放射性转变..... | (7) |
| 1. 放射性概論..... | (7) |
| 索提和法揚司位移定律。門捷列夫元素周期系。放射性元素衰变系。放射性元素表。元素一次衰变中所放出的放射性辐射的平均能量 E_i 。鈾同位素間的比例关系。未列入放射性元素系中的天然放射性元素。 | |
| 2. 放射性單位..... | (29) |
| 放射性同位素数量單位。氡濃度單位。阿尔发辐射單位。伽瑪(γ)辐射單位。 | |
| 3. 放射性标准源..... | (31) |
| 放射性元素数量标准源。含量标准源。辐射标准源。 γ -辐射标准源。 | |
| 4. 放射性元素的衰变和积累..... | (33) |
| 放射性衰变定律。一个系內任何放射性元素原子数量的計算。放射性平衡。放射性元素衰变和积累表。由空气中收集在帶电金屬絲上的 $Rn(RaA、RaB、RaC)$ 放射薄层的 α -衰变理論正常曲綫表。 | |
| 5. 放射性气体的性質..... | (78) |
| 射气的物理性質。氡的 α -辐射的电离作用。射气扩散。 | |
| II、放射性辐射..... | (86) |
| 1. 阿尔发辐射..... | (86) |
| 各种放射性元素所放出的 α -質点数量。 α -質点的射程。 α -射线綫譜。制动性能。 α -質点在气体中的射程与压力和温度的关系。 α -質点的电离作用。全电离和电离率与残余射程值的理論关系。 | |

2. 貝他輻射 (97)

β -射綫譜。 β -射綫的射程。 β -射綫的吸收定律。 β -輻射的吸收过程。 $UX_1 + UX_2$ 和RaE β -射綫的質量吸收系数。在屏蔽 β -輻射的条件下能譜成分的变化。某些放射性元素的 β -射綫的相对电离值与底盤原子序数的关系。鈷 β -射綫的鈉当量。天然放射性元素 β -輻射的某些常数。

3. 伽瑪(γ)輻射 (106)

說明 γ -輻射的某些值。 γ -射綫对物質的穿透。克萊因-尼西納-塔姆公式。某些元素的 γ -射綫減弱全系数的組成部分。在寬射綫束的情况下某些材料对 γ -射綫的減弱。某些材料的不同层厚对 γ -射綫的質量減弱系数。大 γ -射綫源的自身吸收修正值。放射性元素的 γ -輻射能譜。 γ -輻射的某些常数。

4. 反冲射綫 (126)

III、放射性測量仪器 (128)

放射性測量工作中所采用的主要类型靜电計和驗电器。放射性輻射計数管的基本参数。野外輻射計的簡述。野外輻射計。伽瑪測井仪器。實驗室測量仪器。

IV、放射性測量方法 (143)

1. 野外放射性測量方法 (143)

伽瑪方法。放射性測井。貝他方法。射气方法。伽瑪輻射計的标準。輻射計自然底数的測定。

2. 實驗室放射性測量方法 (150)

阿尔发方法。貝他方法。伽瑪方法。綜合貝他-伽瑪方法。射气方法。放射性照象。放射性測量方法的簡短說明。記錄輻射时漏記脉冲的誤差修正。測量准确度的評价。

V、地壳的放射性 (162)

1. 放射性元素的分布 (162)

2. 岩石的放射性 (165)

3. 水和沉积物的放射性 (169)

4. 大气的放射性 (171)

5. 放射性衰变的热量(172)
6. 标准沉积岩体的成分中所包括的基本元素的核性质(174)
- VI、确定绝对地质年代的放射性方法(175)
 铅法。钍法。铀法。铯法。钷法、钷法和放射性碘法—确定晚期地质岩体年代的方法。铷法。地质年代表。
- VII、使用放射性元素工作规则(187)
 放射性辐射的防护。在地质工作条件下的有害性。
- VIII、一般参考数据(189)
1. 数学参考表(189)
 指数函数、双曲线函数和三角函数。指数积分和琴克函数。泊松函数值。
2. 有关宇宙射线的简短资料(197)
- 参考文献(201)

序 言

在編写本参考手冊时，作者的目的在于介紹研究天然矿体放射性的物探人員和地質人員最常使用的有关放射性和放射性测量的資料。因此参考手冊中不包括与人为放射性和人为放射性元素的放射性测量有关的資料。

参考手冊的主要內容是与放射性衰变和放射性輻射性質有关的資料。

为了防止把其他参考書中所列的图表資料和数据資料过多地列入参考手冊中，作者認為列出一些放射性测量人員必須經常在手边使用的一般性的有限数量的参考数据还是必要的。

图表資料和数据資料是根据最新公布的資料經過檢查的。

由于考慮到，目前除了人数不多的物探人員一勘探人員外，很多的地質人員在各种地質工作中也开始廣泛地采用放射性测量方法，作者在参考手冊中列出了一些有关放射性测量仪器、放射性测量方法、确定絕對地質年代方法和放射性元素在地壳中分布的簡略資料。

参考手冊主要供物探工程师和地質工程师使用，但也适用于研究放射性测量課程的地質專業和物探專業的大学生以及在工作中与天然放射性有关的所有人員。

作者希望使用参考手冊的讀者將有关参考手冊內容的意見寄往出版社，作者將特別感謝。

I、放射性轉变

1. 放射性概論

放射性——以一定輻射能的形式釋放出能量的原子核的自然轉变。

放射性原子核轉变的种类:

- (1) 阿尔发 (α) 衰变;
- (2) 貝他 (β) 衰变 (电子貝他衰变和阳电子貝他衰变);
- (3) 电子俘获 (K-俘获);
- (4) 同質異能轉变;
- (5) 原子核分裂。

索提和法扬司位移定律。

如果原子序数为 Z 的元素衰变时抛出一个 α -質点 (阿尔发衰变), 那么便形成一种新元素, 其原子序数要比母体元素 (原来的元素) 少 2 ($Z-2$), 質量数則少 4 个單位, 即产生的新元素在門捷列夫周期表中的位置要比原来的母体元素的位置向左移兩位。

如果原子序数为 Z 的元素在衰变时放出貝他 (β) 質点 (电子貝他衰变), 那么便会产生

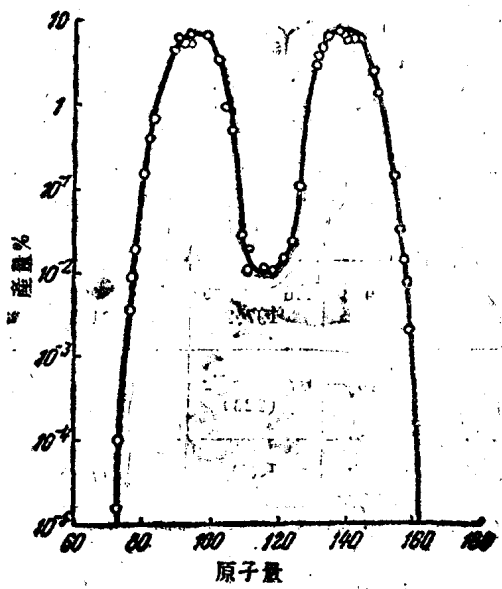


图 1. U^{235} 分裂的各种碎片的产量与質量的关系曲线

夫列捷門

| 周 期 | 列 | 元 | | | | |
|--------|-----------------|------------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| | | I | II | III | IV | V |
| I | 1 | 1 H 1.0080 | | | | |
| II | 2 | 3 Li 6.940 | 4 Be 9.013 | 5 B 10.82 | 6 C 12.010 | 7 N 14.008 |
| III | 3 | 11 Na 22.997 | 12 Mg 24.32 | 13 Al 26.98 | 14 Si 28.09 | 15 P 30.975 |
| IV | 4 | 19 K 39.100 | 20 Ca 40.08 | 21 Sc 44.96 | Ti 22 47.90 | V 23 50.95 |
| | 5 | Cu 29 63.54 | Zn 30 65.38 | Ga 31 69.72 | 32 Ge 72.60 | 33 As 74.91 |
| V | 6 | 37 Rb 85.48 | 38 Sr 87.63 | 39 Y 88.92 | Zr 40 91.22 | Nb 41 92.91 |
| | 7 | Ag 47 107.880 | Cd 48 112.41 | In 49 114.76 | 50 Sn 118.70 | 51 Sb 121.76 |
| VI | 8 | 55 Cs 132.91 | 56 Ba 137.36 | 57 La* 138.92 | Hf 72 178.6 | Ta 73 180.88 |
| | 9 | Au 79 197.2 | Hg 80 200.61 | Tl 81 204.39 | 82 Pb 207.21 | 83 Bi 209.00 |
| VII | 10 | 87 Fr (223) | 88 Ra 226.05 | 89 Ac 227 | Th 90 232.12 | Pa 91 231 |
| 高造益氧化物 | | R ₂ O | RO | R ₂ O ₃ | RO ₂ | R ₂ O ₅ |
| 高气态氧化物 | | | | | RH ₄ | RH ₃ |
| ① 錒系 | 58 Ce 140.13 | 59 Pr 140.62 | 60 Nd 144.97 | 61 Pm (145) | 62 Sm 150.43 | 63 Eu 152.0 |
| ② 超錒元素 | Np 93 (237) | Pu 94 (242) | Am 95 (243) | Cm 96 (245) | Bk 97 (245) | |

元 素 週 期 系

| VI | | VII | | VIII | | | | 0 | |
|------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|--------------|----|
| | | (H) | | | | | | 2 4.003 | He |
| 8 16.0000 | | 9 1.900 | | | | | | 10 20.183 | Ne |
| 16 32.066 | | 17 35.457 | | | | | | 18 39.944 | Ar |
| Cr 24 52.01 | Mn 25 54.93 | Fe 26 55.85 | Co 27 58.94 | Ni 28 58.69 | | | | | |
| 34 78.96 | Se | 35 79.916 | Br | | | | | 36 83.80 | Kr |
| Mo. 42 95.95 | Tc 43 (99) | Ru. 44 101.7 | Rh 45 102.91 | Pd 46 106.7 | | | | | |
| 52 127.61 | Te | 53 126.91 | I | | | | | 54 131.3 | Xe |
| W 74 183.92 | Re 75 186.31 | Os 76 190.2 | Ir 77 193.1 | Pt 78 195.23 | | | | | |
| 84 210 | Po | 85 (210) | At | | | | | 86 222 | Em |
| U** 92 238.07 | | | | | | | | | |
| RO ₃ | R ₂ O ₅ | | | RO ₄ | | | | | |
| RH ₂ | RH | | | | | | | | |
| 64 Gd 156.9 | 65 Tb 159.2 | 66 Dy 162.46 | 67 Ho 164.94 | 68 Er 167.2 | 69 Tu 169.4 | 70 Yb 173.04 | 71 Lu 174.9 | | |
| Cf 98 (246) | En 99 (253) | Fm 100 (255) | Mv 101 | | | | | | |

一种原子序数为 $Z+1$ 和質量数保持不变的新元素，即新形成的元素在門捷列夫周期表中的位置較原来的母体元素的位置向右移一位。

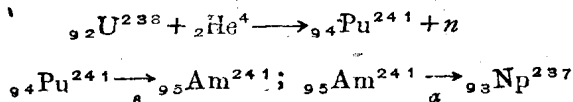
在电子俘获和阳电子其他衰变时，元素向左移一个位置。

在同質異能轉变时，原子序数不变。

在慢中子作用下产生核分裂时，产生大量的分裂产物，它們的分布如图 1 双背形曲綫所示。

放射性元素衰变系

自然界中所遇到的重放射性元素 (U 和 Th) 組成了几个衰变系，这些系又是由按次轉变的放射性同位素構成。在放射 α -質点和負 β -質点时，便发生元素的轉变。同一个系中的任何元素的質量数的差别与四个原子量單位成倍数。因此在原則上可能有用下列各式表示質量数的各个系： $4n$ 、 $4n+1$ 、 $4n+2$ 和 $4n+3$ (n —整数)。天然衰变系服从于这个規律，即， $4n$ 符合于釷 (Th) 系、 $4n+2$ 符合于 U^{238} 系、 $4n+3$ 符合于 U^{235} 系。第四个类型的衰变系曾用人工方法得到。該系由 ${}_{93}Np^{237}$ 开始，其半衰期为 $2.25 \cdot 10^6$ 年，它可以在下列反应中产生：



釷系与其他三个天然衰变系不同，該系不以鉛同位素結束，而以鉍 (Bi^{209}) 同位素結束。

大家一致認為，在地球物質的地質历史以前的年代，当正在形成着目前地球上已不再形成的放射性同位素时，在那时，應該产生全部可能产生的化学元素的同位素，其中也包括寿命短的同位素。到目前为止，只有半衰期与地球年龄相近似（即十亿年左右）的稳定同位素和放射性同位素才保留下来了。其他全部放射性同位素，其中包括整个釷系，完全都衰变了。周期表中所列的半衰期超过 10^9 年的單一放射性同位素在自然界中的存在即可以証明这一点。

放 射 性 铀

| 元素名称 和 元素符号 | 门捷列夫周期 表中的符号及 Z 和 A | 半 衰 期 T | 放射常数 λ (秒 ⁻¹) | 辐射性质 |
|-------------------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------------------|--|
| 铀 I UI | ${}_{92}\text{U}^{238}$ | 4.498·10 ⁹ 年 | 4.883·10 ⁻¹⁸ | α γ e^- |
| 铀 X ₁ UX ₁ | ${}_{90}\text{Tn}^{234}$ | 24.101 天 | 3.32874·10 ⁻³ | β^- γ |
| 铀 X ₂ UX ₂ | ${}_{91}\text{Pa}^{234}$ | 1.175 分 | 9.8314 10 ⁻³ | β^- γ Й.П.⊙(0.15%) |
| 铀 Z UZ | ${}_{91}\text{Pa}^{234}$ | 6.7 时 | 2.87·10 ⁻⁵ | β^- γ |
| 铀 II UII | ${}_{92}\text{U}^{234}$ | 2.475·10 ⁵ 年 | 8.8743·10 ⁻¹⁴ | α |
| 钍 IO | ${}_{90}\text{Th}^{230}$ | 8.3·10 ⁴ 年 | 2.65·10 ⁻¹³ | α γ e^- |
| 镭 Ra | ${}_{88}\text{Ra}^{226}$ | 1622 年 | 1.384·10 ⁻¹¹ | α γ e^- |
| 氡 Rn | ${}_{86}\text{Em}^{222}$ | 3.825 天 | 2.0974·10 ⁻⁶ | α |
| 镭 A RaA | ${}_{84}\text{Po}^{218}$ | 3.05 分 | 3.788·10 ⁻³ | α (99.96%) β^- (0.04%) |
| 砒 At | ${}_{85}\text{At}^{218}$ | 2.0 秒 | 33.0 | α |

① 平衡数量与铀238同位素比较计算。要确定铀系(U)和钍铀系(AcU)任何放射

② 同性异能转变。

元 素 表

系

表 1

| 能量 (兆电子伏特) | | γ -射线能量 | 水銀柱在 760 毫米时 α -質点在空气中的射程 (厘米) | β -質点的最大射程 克/平方厘米 Al | 平衡数量 UI=10 ¹⁰ |
|---|-----------------------------------|----------------|---------------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 質点能量 | | | | | |
| (α) 4.132 (~22%) (α) 4.180 (~78%) (e^-) 0.030 (e^-) 0.055 | 0.048 | | 2.64 2.685 | | 1 |
| 0.103 (34%) 0.193 (56%) | 0.043 0.047 0.0904 | | | 0.015 0.040 | 1.44·10 ⁻¹¹ |
| 0.600 (7%) 1.500 (13%) 2.320 (80%) | 0.782 0.817 0.396(И.П.) | | | 0.200 0.67 1.03 | 4.88·10 ⁻¹⁶ |
| 0.45 (90%) 1.2 (10%) | 0.810 0.845 0.877 | | | 0.13 0.51 | 2.51·10 ⁻¹⁶ |
| 4.716 (26%) 4.763 (74%) | 0.050 0.117 | | 3.212 3.260 | | 5.41·10 ⁻⁵ |
| (α) 4.464 (α) 4.482 (α) 4.61 (~25%) (α) 4.682 (~75%) (e^-) 0.0486 (e^-) 0.0618 (e^-) 0.0630 (e^-) 0.0666 | 0.0678 0.150 0.210 0.254 | | 2.958 2.976 3.104 3.177 | | 1.78·10 ⁻⁵ |
| (α) 4.589 (5.7%) (α) 4.777 (94.3%) | 0.188 | | 3.083 3.274 | | 3.36·10 ⁻⁷⁷ |
| 5.482 | | | 4.036 | | 2.17·10 ⁻¹² |
| (α) 5.996 | | | 4.638 | | 1.18·10 ⁻¹⁵ |
| 7.79 | | | 7.027 | | 0.136·10 ⁻¹⁸ |

性元素对天然鈾的平衡数量, 必須把表中数字乘0.993.

| 元素名称 和 元素符号 | 門捷列夫周期 表中的符号及 Z 和 A | 半 衰 期 T | 放 射 常 数 λ (秒 ⁻¹) | 輻 射 性 質 |
|-------------------|---------------------------|-------------------------|---|--|
| 鐳 B RaB | $_{82}\text{Pb}^{214}$ | 26.8 分 | $4.310 \cdot 10^{-4}$ | β^- γ |
| 鐳 C PaC | $_{83}\text{Bi}^{214}$ | 19.7 分 | $5.864 \cdot 10^{-4}$ | α (0.04%) β^- (99.96%) γ |
| 鐳 C' RaC' | $_{84}\text{Po}^{214}$ | $1.637 \cdot 10^{-4}$ 秒 | $4.2343 \cdot 10^3$ | α |
| 鐳 C'' RaC'' | $_{81}\text{Tl}^{210}$ | 1.32 分 | $8.752 \cdot 10^{-3}$ | β^- |
| 鐳 D RaD | $_{82}\text{Pb}^{210}$ | 22 年 | $9.98 \cdot 10^{-10}$ | β^- γ e^- |
| 鐳 E RaE | $_{83}\text{Bi}^{210}$ | 4.989 天 | $1.608 \cdot 10^{-6}$ | β^- (~100%) α ($5 \cdot 10^{-5}$ %) |
| 鐳 F | $_{84}\text{Po}^{210}$ | 138.374 天 | $5.80002 \cdot 10^{-8}$ | α β^+ γ |
| 鐳 G RaG | $_{84}\text{Pb}^{206}$ | 稳定的 | — | — |

續表 1

| 能量 (壳电子伏特) | | 水銀柱在 760 毫米时 α -質点在空气中的射程 (厘米) | β -質点的最大射程 克/平方厘米 AI | 平衡系数 UI=1 |
|---|---|---------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| 質点能量 | γ -射綫能量 | | | |
| 0.350 0.670 0.726 0.779 | 0.053 0.241924 0.320 0.295217 0.351992 | | 0.095 0.240 0.260 0.280 | $1.02 \cdot 10^{-14}$ |
| (α) 5.33 (α) 5.444 (55%) (α) 5.505 (45%) (β^-) 1.65 (~23%) (β^-) 3.17 (~77%) | 0.0625 0.1911 0.505 0.60937 0.769 0.935 1.22 1.241 1.419 1.766 | 3.865 3.993 4.062 | 0.76 1.60 | $0.75 \cdot 10^{-14}$ |
| 7.6802 | 0.608 1.120 1.235 1.761 2.090 | 6.869 | | $1.04 \cdot 10^{-21}$ |
| 1.800 | | | 0.84 | $1.97 \cdot 10^{-19}$ |
| (β^-) 0.0167 (e^-) 0.0556 (10%) | 0.0078 0.0161 0.0232 0.0235 0.0307 0.0370 0.0426 0.0467 | | 0.00062 0.0051 | $4.32 \cdot 10^{-9}$ |
| (β^-) 1.17 (α) 4.93 | | 3.434 | 0.50 | $2.68 \cdot 10^{-12}$ |
| (β^+) 3.3 (α) ~4.5 (~10 ⁻³ %) (α) 5.298 | 0.084 0.804 | 2.994 3.83 | 1.67 | $0.74 \cdot 10^{-10}$ |
| — | — | — | — | — |

| 元素名称 和 元素符号 | 門捷列夫周期 表中的符号及 Z和A | 半 衰 期 T | 放 射 常 数 λ (秒 ⁻¹) | 輻 射 性 質 |
|-------------------|-------------------------|---------------------|---|---|
| 銅 鈾 AcU | $_{92}\text{U}^{235}$ | $7.13 \cdot 10^8$ 年 | $3.081 \cdot 10^{-17}$ | α γ |
| 鈾 Y UY | $_{90}\text{Th}^{231}$ | 1.066 天 | $7.5259 \cdot 10^{-6}$ | β^- γ e^- |
| 釷 Pa | $_{91}\text{Pa}^{231}$ | $3.43 \cdot 10^4$ 年 | $6.403 \cdot 10^{-13}$ | α γ e^- |
| 銅 Ac | $_{89}\text{Ac}^{227}$ | 21.7 年 | $1.012 \cdot 10^{-9}$ | α (1.25%) β^- (98.75%) γ e^- |