

216451

基本馆藏

铀矿床普查与勘探

下 册

(地球物理部分)

梁 基

科学普及出版社

3561

334j1

T.2

216451

鈾矿床普查与勘探

下 册

(地球物理部分)

梁 基

科学普及出版社

1959年·北京

本書提要

“鈾矿床普查与勘探”分上、下两册。上册为鈾矿地質，下册为鈾矿的地球物理。全書上、下两册，就普查与勘探鈾矿的全部問題作了全面而又系統的介绍，这对大家搞原子能科学，办鈾矿工业将会有很大的帮助。

本書是它的下册部分——鈾矿的地球物理。主要内容有天然放射性， $\alpha\beta\gamma$ 射线，放射性測量，以及鈾矿床的各种放射性地球物理探矿法。

总 号：1234

鈾矿床普查与勘探

下册（地球物理部分）

著 者：梁

基

出版者：科学普及出版社

（北京市西直門外都家灣）

北京市書刊出版業營業許可証出字第 091 號

發行者：新华书店

印刷者：北京五一五厂

开 本：850×1168 $1/32$ 印張：10 $1/4$

1959 年 4 月第 1 版 字數：218,700

1959 年 4 月第 1 次印刷 印數：30,015

統一書號：15051·211

定 价：（9）1 元 1 角

目 录

第五篇 放射性探矿的物理基础

第一章 緒論	1
第二章 原子的構造	4
1. 原子和分子在物質構造上的意义	4
2. 元素周期表	5
3. 核心式原子模型	5
4. 原子中电子的分布	6
5. 激發能和电离能	8
6. 原子核的常識	9
第三章 天然放射性	15
1. 天然放射現象	15
2. 放射綫的性質	15
3. 原子核的放射性轉變	16
4. 放射系	18
5. 其他天然放射性元素	21
第四章 放射綫	33
(一) α 射綫	33
1. α 射綫的一般性質	33
2. α 射綫的电离特性	35
3. α 射綫的射程	38
(二) β 射綫	41
4. β 射綫的一般性質	41
5. β 射綫的吸收	47
6. β 射綫的射程	51
7. β 射綫的电离特性	54
(三) γ 射綫	55
8. γ 射綫的一般性質	55
9. γ 射綫的的吸收	56
10. γ 射綫的吸收与能量的关系	61
11. γ 射綫的电离特性	62

12. γ 射線的射程	64
第五章 衰變規律和放射平衡	67
1. 放射性物質衰變的規律性	67
2. 衰變的統計性漲落	70
3. 連續衰變元素間的放射性平衡問題	73
4. 放射平衡的破壞	87
第六章 放射線的測量	96
(一)放射線測量的內容和方法	96
(二)游離電流法	97
1. 游離電流測量法的原理	97
2. 游離室	98
3. 游離電流的測量——CF-1M 靜電計	102
(三)游離脈沖法	105
4. 氣體放大和游離脈沖測量的原理	105
5. 蓋—彌氏計數管	105
6. 計數管電路	113
7. 計數管的種類	114
(四)閃爍法	117
8. 閃爍測量法的原理	117
9. 閃爍計數器	118
10. 閃爍法的應用	132
第七章 放射性測量的單位和標準放射源	140
1. 引言	140
2. 單位	141
3. 標準放射源常識	146
4. 幾種常用的標準放射源	147

第六篇 放射性測量

第八章 γ 探礦方法	160
1. γ 探礦法的原理和技術狀況	150
2. γ 測量中的底數和輻射儀的校正	154
3. 應用野外輻射儀進行放射性測量的技術	162
4. 路線普查中的 γ 測量	165

5. 矿区检查中的 γ 测量	179
6. 野外 γ 放射性测量中异常的判断	186
7. 用通用辐射仪作矿石中铀之百分含量测定	189
8. β 测量	191
第九章 射气探矿法	205
(一)CF-11 型野外射气仪	205
1. 仪器的操作步骤和原理	206
2. 射气仪的校正	208
(二)射气在矿体和围岩中的分布状态	210
3. 几个物理常数	210
4. 水平矿层和围岩中的射气扩散状态	210
5. 圆球矿体在围岩中的射气扩散状态	215
6. 影响射气分布状态的因素	217
(三)射气测量工作方法	218
7. 射气测量工作的布置	218
8. 取样方法	219
9. 测量步骤	220
10. 发现异常后的处理	222
(四)工作的质量检查和编录	223
11. 质量检查	223
12. 工作编录	224
(五)异常判别的解释处理	226
13. 常见的异常形式	226
第十章 γ 测井法	230
(一)緒言	230
1. γ 测井	230
2. 放射性测井	230
3. 放射性测井工作的布置	231
(二)测井方法	231
4. 测井前的准备工作	231
5. 测井工作的进行	233
6. 测井的质量检查	234
(三)测井资料的整理	235

7. 原始資料的編制	235
8. 点測法測井曲綫圖的繪制	236
9. 自动記錄結果的复制	237
(四)異常解釋的方法	238
10. 影响異常值的条件	238
11. 当矿層和岩層分界清楚時確定界面的方法和說明	239
12. 矿層和岩層分界面是否清楚的了解	240
13. 矿層和井眼相交成任一角度時的修正	241
14. 矿層鈾含量的确定	242
(五)在各种典型条件下矿層的定性解釋及其厚度和含量的求法 和計算实例	243
15. 矿層上下層面和岩層均具有清楚的分界面且具有均匀 含量的厚層	243
16. 矿層上分界面明显, 下分界面不明显的具有均匀含量 的厚層	244
17. 矿層和圍岩上下分界面均不清楚的均匀厚層	246
18. 薄層傾斜厚度	246
19. 含量不均匀或帶有非矿夾層的矿層	247
20. 泥漿和套管吸收的修正	247
21. 含量系数的求法	249
第十一章 水文地質学及放射性水文地質調查	250
(一)一般水文地質学	250
1. 緒言	250
2. 地下水概念	251
3. 地下水自然水源	253
4. 地下水的化学成份	256
5. 勘探区内水文地質观测	261
(二)放射性水文地質調查	268
6. 自然水中放射性元素	269
7. “金屬”富集在水中过程的因素	270
8. 自然水中鐳富集的条件	272
9. 在自然界水中鐳元素富集条件	272
(三)放射性水文地質普查方法	273

10. 放射性水文地質普查“金屬”矿的方法及任务	273
11. 矿化的标志	273
12. 放射性水文地質普查工作的阶段	274
13. 勘探矿区放射性水文地質調查工作任务	278
附：普查放射性元素的水文地質方法	278
1. 普查放射性元素的水文地質方法	278
2. 順便普查时的放射性水文地質調查	281
3. 取水样的方法和操作	282
4. 編录	284
第十二章 实验室工作方法	284
(一) 游离电流法	285
1. 使用仪器	285
2. α 游离法	286
3. β 游离法	296
(二) 游离脉冲法	290
4. 使用仪器	290
5. β 脉冲法	299
6. γ 脉冲法	300
7. 不平衡矿石的测定(γ β 法联合应用)	302
附：天然放射系	303
× × 地区伽瑪測量路線和異常点分布圖	307

第五篇 放射性探矿的物理基础

第一章 緒 論

1938年至1939年間，赫恩和斯脫拉思曼以化学方法分析用中子打击后的鈾元素时，發現其中有鋇和鐳等元素，而它們的原子量恰为鈾原子量的一半。这个現象被德国女物理学家麥脫納立作了理論上的解釋，这就是关于鈾原子核的分裂及人們可以从这个分裂过程中获得原子核能的理論。

当利用原子核能的概念建立之后，鈾矿勘探的任务在全世界人們的面前提出来了。

第二次世界大战结束后，鈾矿勘探活动象雨后春筍一般在世界各国展开。正是因为原子核能的掌握对于一个国家的国民經济和國防力量有着深刻的影响，所以活动进展的猛烈是可以想象的。到了1955年8月，当世界和平利用原子能會議在日内瓦召开的时候，人們在矿床类型、探矿理論和技术方面已經能够提出比較完整和系統的材料来了。

在这十年来的鈾矿勘探工作中，放射性物理探矿方法及其仪器有突出的發展。現在看来，这种方法已經成为鈾矿普查的基本形式了。不难了解这种方法所以被广泛应用和得到發展，归納起来不外是費用便宜、工作方法簡便和勘探效果上的直接有效。

放射性物理探矿方法是以原子核物理学为理論基础的。要想获得关于放射性元素衰变的規律，放射綫的性質，以及它們和物質相互作用关系的观念，以求从根本上掌握探矿方法的原理，我們就不能不涉及到最近六十年原子和原子核物理發展的內容，我們就不能不去掌握这些物理科学研究上的最新成果。其次，放射性物理探矿方法乃是上述理論在鈾矿勘探实践上的应用，要想获得关于方法的性能、成熟程度、使用的范围与局限、發展的方向和可能性的观念，以求立于現代的技术水平，我們就得特別要研究

上述理論在實踐中的發展內容及其成就。

放射性物理學整個發展歷史距今有六十年。

1896年2月24日，法國物理學家 A. 貝克勒耳在國家科學院宣讀了他的一篇論文報告發現了（鉀化合物的）放射性。從此揭開了原子核物理學（也是放射性物理學）研究的幕。

1898年 C. G. 斯密脫和 M. 居里發現釷也有放射性，M. 居里並且發現釷礦石的放射性比純粹的釷元素強。經過長期艱苦的分析工作，居里夫婦發現了兩種新的放射性元素“釷”和“鐳”。其中鐳的放射強度是釷的 2.8×10^6 倍，而釷則更大。物質的放射性就這樣被確定下來了。居里夫婦的工作成果，物質的這種新特性（放射性），引起了歐洲大陸和海岸上科學家的極大注意。在當時的歐洲頓時形成了一個研究物質放射性的巨流，差不多各個科學家的實驗室和國家研究所都投入了這種工作。

1902年英國物理學家 E. 盧瑟福和化學家 F. 索德系統地研究了放射綫性質，弄清了放射綫的內容。1903年他們又將放射性物質及其射綫與放射性衰變產物聯繫起來時，利用當時已建立的元素週期表，提出了放射性元素衰變的理論。他們指出：放射綫乃是放射性元素的原子（核）衰變成新原子（核）時放出的一種伴生現象。

1911年，蓋格和牛泰闡明了 α 射綫的射程和元素衰變常數之間的关系。他們指出：放射性元素的半衰期愈短，則它所放射出的 α 射綫底速度愈大。這項关系當時在確定壽命極長和壽命極短的放射性元素的半衰期上曾有很大的指導意義。

同一年（1911）E. 盧瑟福根據他和許多科學家們用 α 放射綫撞擊原子研究的結果，提出了新型的並為現在公認的核心式原子結構的理論。至此，元素週期表（也就是元素化學性質的本質）得到了說明，而過去氣體放電研究中電子與原子碰撞的許多現象也迎刃而解了。

經過幾個國家許多科學家的長期研究，天然放射性元素大量地被發現了（例如：Ac, Rn, RaTh, MsTh, Tn, Io, TnX, UX 等）。二

十世紀的最初十年是放射化学特別發達的时期。

根据这些發現了的放射性元素和早年已建立的衰变理論，放射性元素間系統化的工作，也开展起来了。先是1910年索德根据他自己对放射性物質的深刻的放射化学研究，明确地提出了有“放射性元素”和非放射性元素的存在。他指出：这种放射性元素和某种沒有放射性的元素之間，除了原子量方面和放射性方面之外，其他如化学、电化学以及光譜的性質方面，都一样，無从区别。到1913年当J. J. 湯姆遜提出正电射綫研究報告时，同位素的观念被明确了。A. S. 魯瑟根据这个观念和他对放射性元素衰变关系的深刻了解，在1913年提出了放射性元素在 α 衰变和 β 衰变时該元素及其衰变产物在元素周期表上的关系。接着法揚和索德提出了位移定律。至此，一切發現了的天然放射性元素，获得了系統和完整的了解，天然放射性元素的衰变系統于是建立起来了。

1919年E. 盧瑟福用 α 射綫撞击氮原子时發現了原子核的人为分裂現象。在这以前早在法国伊蘭·居里和約里奧·居里的實驗室中，發現：“經 α 射綫撞击过的物質也具有放射性”。人为的放射現象被發現了。

1927年阿斯頓以精密的技巧改进了研究帶电質点質量的質譜仪。借这个仪器的帮助，他进一步闡明：同位素乃是自然界一切化学元素中普遍存在的現象。据此，他对帶电質点質量的慎密研究，又發現了一般原子核的質量有亏损的現象。

1928年嘉謨、高弗和康敦以量子力学观点分析了盖格、牛泰定律的意义，提出了現在公認的关于原子核 α 衰变的理論。

1932年約里奧·居里和戚德威克發現了中子。接着德国W. 海森堡和苏联的伊凡年科分別利用这种發現提出了原子核是由質子和中子組成的学說，推翻了早先原子核由質子和电子組成的假想。

1934年意大利青年科学家佛米，根据上述学說提出了原子核 β 脫变的理論，即当原子核中的中子轉变成成为質子的时候，放出

一个 β 射线和一个微中子。

和放射性物理学有关的重大理论，到1934年基本上都已建立了。

至于放射性物理探矿工作方面的发展内容，由于各国间封锁保密的结果，材料很不完全，我们只能在以后有机会再讨论了。

第一章 参考文献

1. F. Soddy: The interpretation of the atom. 1932.
2. G. Hevesy and F. Paneth: A Manual of Radioactivity. 1926.
3. Lippard and Andrews: Nuclear Radiation physics 1954.

第二章 原子的构造

1. 原子和分子在物质构造上的意义

世界上物质的种类很多，竹、木、砂、石、花、鸟、鱼、虫、水、大气，各种金属等等都是，真是不胜列举。但是我们从它组成成份的本质上去分析，原来却是很简单。整个物质世界，就目前所知，只不过由一百种原子组成的。按照化学的观点，构成普通物质的最小单位是分子，分子是保持着该种物质基本化学性质的最小而不能再分割的单位。由不同种元素的原子所组成的物质称为化合物。人们称参与化学变化中的单独物质为元素。元素最小的单位是原子。平常看得到的如金、铜、铁、铅、铝、水银、碳、硫黄、磷、氮气，都是由同一种原子组成的单纯物质。普通物质的分子是由几种原子按一定关系结合起来构成的，例如：水分子是由二个氢原子和一个氧原子构成的，石灰分子是由一个钙原子和一个氧原子构成的。由此可见，世界上物质的千变万化，但种种差别乃是这一百种原子结合时在性质上、数量上和结合状态上不同的结果。原子是物质构造上最基本的东西，物质放射性所引起的一切现象，就是在原子和原子核中发生的。

2. 元素周期表

化学家們在研究元素的化学性質時，發現某些元素的化学性質很相似。例如 Li (鋰)、Na (鈉)、K (鉀) 三種元素都是金屬，它們都生成鹼性氧化物。1863 年英國的化学家牛蘭茲將元素按照原子量增加的次序排列起來，發現任意取八個相連的元素來看，第八個元素的性質几乎是第一個元素的性質的重複。1869 年俄國化学家門捷列也夫明確的提出了元素隨着原子量的增加，它們的化学性質呈周期性变化的观点。1871 年他并且把当时已知的六十多种元素按原子量增加的次序分成几个周期，又將这些周期重疊起來，使性質相似并能生成相同类型化合物的各元素排在同一縱列內，做成了元素周期系。十九世紀末，惰性气体的發現为周期表增加了一类(成为九类)。附表 I (見 10 頁)就是現代的元素周期系，整个周期系分为九类(縱列)七周期(橫行)。

周期表中排在縱列內的元素的化学性質很相似，它們又可以分成主族和副族兩族。例如表內第 1 縱列中的 K、Rb、Cs、Fr (主族) Cu、Ag、Au (副族)。前者的化学性質比后者的更与 Li、Na 相接近。在橫的方向是排着各种化学性質的元素。每一个周期中元素的数量是不相同的，第一周期只有兩個元素，第二、三周期各由八個元素構成，第四、五周期各由十八個元素構成，而第六、七周期則各由三十二個元素構成的。

元素周期表將一百種元素按它們的化学性質进行了系統的分类，揭示了元素之間規律性的联系。这种联系不單表現在元素的化学性質方面，而且还表現在元素的許多物理性質方面(例如密度、熔点、沸点、体积、光譜，金屬和非金屬等)。

3. 核心式原子模型

从 1817 年到現在，人們对原子的構造已經有了較深刻的認識了。根据現代原子物理学的分析，原子是由一个原子核和若干个电子構成的。它們之間非常有規律，原子的中心是原子核，体积很

小，帶正電。原子核的外圍是電子(帶負電)，電子以很高的速度(10^8 厘米/秒)圍繞着原子核運動。原子的直徑約為 10^{-8} 厘米，電子的直徑約為 10^{-13} 厘米，而原子核的直徑在 10^{-12} 至 10^{-14} 厘米間。如果將原子放大一千億倍，也就是說將整個原子比做一間大屋，則原子核猶如一粒小米，而電子則比小米略微小一些。

電子是帶負電，它所帶的電量是

$$e = 4.803 \times 10^{-10} \text{ 靜電單位電數}$$

電子的質量很小，為

$$m_e = 0.9107 \times 10^{-27} \text{ 克}$$

電子只有氫原子核質量的 $\frac{1}{1836}$ 。在較複雜的原子中，電子在質量方面所占的比重就更小了。所以原子的質量是集中在原子核上的。原子核是由中子和質子構成的，質子就是氫原子核(帶正電)，它的電量是和電子相等而性質相反。

它的質量為

$$m_p = 1.00813 \text{ 原子量單位}$$

中子不帶電，它的質量和質子相近，為

$$m_n = 1.00893 \text{ 原子量單位}$$

構成原子核的中子和質子都稱為核子。原子核中的中子和質子的數目(即核子的數目)，我們稱為“質量數”，常用“A”代表。原子核帶正電，原子核上正電量的多少決定於原子核中質子的數目。

4. 原子中電子的分布

原子核外圍電子的數目是由原子核上所帶的正電量的數目而決定的。如原子核上的正電量為三個電子電量單位(原子核中有三個質子)，則在正常情況下，外圍就只能有三個電子。

例如：氫原子核是一個質子，它的外圍只有一個電子；碳原子核由八個中子和六個質子組成，它的外圍是六個電子；鐵原子核由三十個中子和二十六個質子組成，所以它的外圍是二十六個電子。我們現在知道的一百種原子它們原子核上所帶的正電量是

从 1 到 100 (电子电量单位), 故原子核外圈电子数也是从 1 到 100 个。

当原子核上的正电量变更时, 原子核外圈电子数目也随着变动, 原子的性质也变了。例如: ${}_6\text{C}^{14}$ 和 ${}_7\text{N}^{14}$, 前者由六个质子和八个中子组成原子核, 核外是六个电子, 称为碳原子; 后者由七个质子和七个中子组成原子核, 核外是七个电子, 它是与碳原子全不同的氮原子。原子核外圈电子和原子核之间的及电子之间的关系都是非常严格的。按现代量子力学的观点, 电子和原子核之间相互联系的牢固程度对原子中各个电子说来是并不一样的。原子核外圈电子成层地分布着, 那些离原子核较近的电子就和原子核联系得较牢, 远的就联系得较松。情况简单地可以由图 2.1 表示:

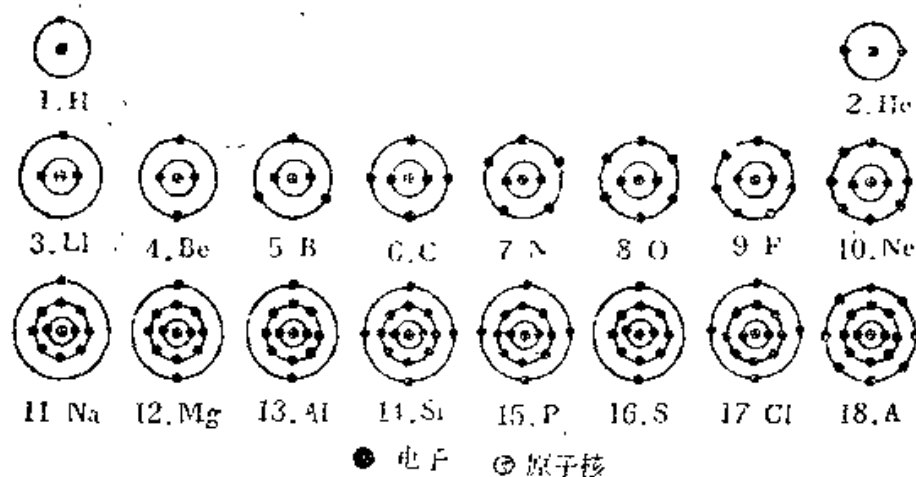


图 2.1

这些电子层常用 K、L、M、N、O、P、Q、来表示。离核最近的一层叫第一层, 用 K 表示; 稍远的第二层用 L 表示, 依次类推到最外的第七层用 Q 表示。其中第一层最多是两个电子, 第二层最多是八个电子, 第三层最多是十八个电子, 第四层最多是三十二个电子。注意即使是在同一层中, 各个电子和原子核联系的牢固程度也是不一样的。因此它们又划分为二个电子的, 六个电子

的，十个电子的，和十四个电子的四组。它们依次用 S、P、d、f 表示。在第一层中只能有 S 电子，第二层中只能有 S 电子和 P 电子，第三层以上才能有 d 电子，而第四层以上才能有 f 电子。

按照上述的划分，原子核外层的各个电子就可以严格地区分出来了。例如第一层中的 S 电子我们可用“1s”来表示，第三层中的 P 电子我们可以用“3p”来表示，第五层中的 f 电子可以用 5f 来表示，S 电子可以用 5s 来表示。关于 100 种原子内电子分布的情况如附表 2（见 12 页）。

大家如果细心地研究一下这 100 种原子的电子分布情况就会发现，随着原子核上正电量的增加，原子中最外层电子的数目总是重复地变动着，而且它的数目始终保持着在 1 至 8 个之间。这就是元素周期系中化学元素间存在着周期规律性联系的根据。元素的化学性质以及许多物理性质是由最外层电子产生的，因此这些性质就随着外层电子数目的变动而发生了周期性的变化。

5. 激发能和电离能

上边介绍的是在正常情况下原子中的电子的分布情形，我们称这时的电子是处于稳定状态之下。要改变电子所处的层次，或是将电子由原子中打出来，我们必须给电子一些能量。使原子中电子改变层次所需要的能量称为激发能。将电子由原子中打出来所需要的能量称为电离能。它们在数值上是几个到几十个电子伏特。

电子改变了层次后的原子称为激发状态的原子。激发状态的原子是不安定的。改变了层次的电子常是很快地跃迁到原来的稳定状态的层次，并将激发能抛出去。令 W_2 代表激发状态时原子的能量， W_1 代表稳定状态时原子的能量，则激发能 E_2 为：

$$E_2 = W_2 - W_1 = h\nu$$

激发能是以光的形式从原子中抛出来，通常称它为光子，用 $h\nu$ 表示。它是一种电磁波，其中 $h = 6.57 \times 10^{-27}$ 尔格秒，是一个常数； ν 是这个电磁波的频率，它的数值视光子的能量而定。

被打掉了电子的原子称为离子，通常它也是不稳定的，常向

四周吸收回电子而抛出电离能。令 W_2 代表原子电离时的能量， W_1 代表该原子在正常状态下的能量，则电离能 E_i 为：

$$E_i = W_2 - W_1 = h\nu'$$

电离能也是以光的形式从原子中抛出来，它也是光子。

对于不同层次中的电子，它们的激发能和电离能，也都是不相同的。

原子在上述情况下发出的光称为荧光和磷光。

6. 原子核的常識

(1) 一般特征：前边講过，原子核的直径在 10^{-12} 厘米至 10^{-14} 厘米間，因此原子核的体积最大不过 4×10^{-36} 厘米³。原子的質量几乎全部集中在原子核上，以氧原子为例：一个氧原子的質量是 2.66×10^{-23} 克，除去电子的質量，则原子核的密度为 6.6×10^{12} 克/厘米³。将它和水的密度（1 克/厘米³）相比，要大 6.6 亿万倍。原子核除了質量密度很高外，电的密度也是很高的，也以氧原子为例：一个氧原子核中共有八个质子，共带 3.84×10^{-17} 静电单位电量。因此原子核中电的体积密度为 9.6×10^{20} 静电单位/厘米³。这种电量的集中程度是十分惊人的。

每个原子核的特征可以用两个数来表示，就是核电量数 Z 和質量数 A 。其中 Z 代表核中质子的数目，它以电子电量为单位，数值上由 1 到 100，而 A 则代表原子核中核子的总数，据目前的情况来说，它的数值在 1 到 250 之間。

原子核可以用 ${}_Z^AX$ 符号表示。其中 X 代表某种元素的名称，而在其右上角填質量数，在其左下角填电量数。例如：质子 ${}_1^1\text{P}^1$ ；中子 ${}_0^1\text{n}^1$ ；氮原子 ${}_7^{14}\text{N}^7$ ；碳原子 ${}_6^{14}\text{C}^6$ 。

(2) 同位素：原子核中电量数 Z 值相同而質量数 A 值不相同的元素都称为同位素。这些元素在元素周期系中都在同一位置上，故有此名。例如氧有三种同位素： ${}_8^{16}\text{O}$ 、 ${}_8^{17}\text{O}$ 、 ${}_8^{18}\text{O}$ ；铜有两种主要的同位素， ${}_{29}^{63}\text{Cu}$ 和 ${}_{29}^{65}\text{Cu}$ ；碳有两种同位素： ${}_6^{13}\text{C}$ 、 ${}_6^{12}\text{C}$ 。这就是說，同一种化学性質的原子，它在質量上也是不統一的。