

都工学校图书馆 346351
基本馆藏

高等学校交流讲义

放射化学

FANGSHE HUAXUE

上册

群力编



人民教育出版社

統一書號 K 13010·974

定價 ¥ 0.55

〔只供學校內部使用〕

346283
成都工學院圖書館

基本館藏

高等學校交流講義

放射化学

FANGSHE HUAXUE

下 册

群 力 編



人民教育出版社

統一書號 K 13010·1028

定價 1.10

〔只供學校內部使用〕

高等学校交流教材



放 射 化 学

FANGSHE HUAXUE

上 册

群 力 編

人 民 教 育 出 版 社



放 射 化 学

FANGSHE HUAXUE

下 册

群 力 編

人 民 教 育 出 版 社



185848

本讲义共十六章，分上下两册出版。上册包括七章，主要内容为低浓物理化学和放射性元素分离法；下册为九章，主要内容为天然与人工放射性元素化学、核裂变与核散变化学、核反应与核蜕变化学、同位素的生产与制备、同位素交换与辐射化学等。

本讲义可作为放射化学课程的教材，也可作为其他有关课程的参考书。各有关专业在使用本讲义时，可以根据具体情况进行增减。

由于编写仓促，本讲义还存在不少缺点，希读者提出宝贵意见，如有意见请寄北京人民教育出版社高教用书编辑部。

放 射 化 学

上 册

群 力 編

北京市书刊出版业营业许可证出字第2号

人民教育出版社出版（北京景山东街）

京 华 印 书 局 印 装

新华书店北京发行所发行

各 地 新 华 书 店 經 售

统一书号K 13010·974 开本850×1168 1/32 印张5 5/16

字数 123,000 印数 12,701—21,200 定价(5) ¥0.65

1961年7月第1版 1962年4月北京第1次印刷

本讲义共十六章，分上下两册出版。上册包括七章，主要内容为低浓物理化学和放射性元素分离法；下册为九章，主要内容为天然与人工放射性元素化学、核裂变与核散变化学、核反应与核蜕变化学、同位素的生产与制备、同位素交换与辐射化学等。

本讲义可作为放射化学课程的教材，也可作为其他有关课程的参考书。各有关专业在使用本讲义时，可以根据具体情况进行增减。

由于编写仓促，本讲义还存在不少缺点，希读者提出宝贵意见，如有意见请寄北京人民教育出版社编辑部。

放 射 化 学 下 册

群 力 編

北京市书刊出版业营业许可证出字第2号

人民教育出版社出版（北京景山东街）

京 华 印 书 局 印 装

新华书店北京发行所发行

各 地 新 华 书 店 經 售

统一书号K13010·1028 开本850×1168 1/32 印张11 1/16 插页2

字数278,000 印数12,501—20,500 定价(6)¥1.10

1961年8月第1版 1962年5月北京第3次印刷

目 录

第一章 緒論

§ 1-1 放射化学的内容	1
§ 1-2 放射化学的主要特点	2
(一)低浓度和微量 (二)“不恒定” (三)放射性	
§ 1-3 放射化学发展簡史	3
(一)天然放射现象的发现 (二)钋和鐳的发现,“放射化学工作法” (三)蜕变理論的創立 (四)同位素概念的形成和放射系的建立 (五)放射性元素的基本化学研究的开展 (六)人工放射现象的发现.核反应化学的开端 (七)铀核裂变现象的确定 (八)现阶段放射化学	

第二章 共結晶共沉淀

§ 2-1 共沉淀現象的两大类	16
(一)体积分配 (二)表面分配 (三)区分体积分配和表面分配的主要方法	
§ 2-2 共結晶共沉淀的分类	19
(一)同品和同二晶现象(眞正的混晶) (二)新类型混晶 (三)反常混晶	
§ 2-3 眞正混晶規律性的定量研究	23
(一)均匀体积分配 (二)达到均匀体积分配平衡状态的实验条件 (三)不均匀体积分配	
§ 2-4 共結晶共沉淀方法的应用	35
(一)分級結晶 (二)在放射化学研究工作中的一些应用	

第三章 放射性元素的吸附

§ 3-1 放射性元素吸附研究的簡史	45
§ 3-2 在离子晶体上的吸附	49
(一)双电层結構及吸附的分类 (二)一級交換吸附 (三)二級交換吸附 (四)內吸附	
§ 3-3 放射性元素在玻璃上的吸附	58
§ 3-4 放射性元素在胶体和无定形沉淀上的吸附	62
(一)离子交換吸附 (二)化学吸附 (三)分子吸附	
§ 3-5 放射性元素在活性炭上的吸附	63
(一)活性炭上吸附的一般規律和机构的研究 (二)应用放射性元素在活性炭上的吸附制备放射性同位素	

§ 3-6	放射性元素在滤纸上的吸附	64
§ 3-7	放射性气体在固体物质上的吸附	65
	(一) 气体本身性质和吸附剂性质的影响 (二) 温度的影响 (三) 气 相中存在着其他气体的影响	
§ 3-8	研究吸附过程的意义	68
第四章 放射性胶体		
§ 4-1	放射性胶体及其某些特点	71
§ 4-2	研究放射性胶体的一般方法	72
	(一) 渗析法 (二) 超过滤法 (三) 分散法 (四) 离心和超离心法 (五) 自射线照相法 (六) 离子交换树脂法 (七) 电化学方法	
§ 4-3	放射性胶体形成的原因和影响胶体形成的一些因素	76
§ 4-4	放射性气溶胶	79
	(一) 放射性气溶胶的形成 (二) 放射性气溶胶的性质 (三) 原子 弹爆炸时形成的放射性气溶胶	
§ 4-5	研究放射性胶体的意义	82
第五章 放射性物质的电化学		
§ 5-1	放射性物质的临界沉积电势	86
	(一) $A-V$ 曲线法 (二) 沉积-溶解曲线法	
§ 5-2	电化学沉积过程的动力学	88
§ 5-3	能斯特方程对微量物质电化学的适用性	90
§ 5-4	应用——电化学分离法	95
	(一) 放射性物质的电化学置换法 (二) 电解沉积法	
第六章 萃取法		
§ 6-1	萃取法一般介绍	108
	(一) 分配系数及分离系数 (二) 萃取的次数及最适当的溶剂用量	
§ 6-2	萃取原理及机构、类型	115
	(一) 形成复盐而被萃取 (二) 根据丧失亲水性而被萃取 (三) 以 物理分配为基础的萃取	
§ 6-3	萃取机构的研究	124
	(一) 数据的处理与计算 (二) 萃取剂的结构与性能间的关系。萃 取机构的研究	
§ 6-4	萃取法的应用	129
	(一) 利用元素在两相间的分配, 研究放射性元素的状态与性质 (二) 萃取法在放射化学中广泛应用在同位素的制备、分离和纯化 (三) 萃取法应用于核燃料的提纯及照射后核燃料的回收 (热铀处 理)	

第七章 离子交换色层分离

§ 7-1 引言	134
§ 7-2 离子交换树脂的性质与分类	135
(一)离子交换树脂的性质 (二)离子交换树脂的分类	
§ 7-3 离子交换平衡	141
(一)道南(Donnan)膜理论 (二)离子交换的亲合力、离子水 化理论	
§ 7-4 离子交换色层法的操作程序	148
(一)选择树脂 (二)树脂的预处理 (三)装置仪器 (四)淋洗分 离操作	
§ 7-5 离子交换色层法在放射化学领域中的应用	151
(一)离子交换在放射化学分离中的应用 (二)利用离子交换法研 究示踪浓度放射性同位素的存在状态	
§ 7-6 无机离子交换剂	158
(一)无机离子交换剂的重新兴起 (二)无机离子交换剂的交换原 理和应用	

目 录

第八章 天然放射性元素化学	165
§ 8-1. 放射性元素分离的一些特征	165
§ 8-2. 钋(Po)	166
§ 8-3. 镭(Ra)	169
§ 8-4. 射气的化学	174
§ 8-5. 测定放射性元素的射气法	177
§ 8-6. 锕(Ac)	180
§ 8-7. 钍(Th)	183
§ 8-8. 镤(Pa)	188
§ 8-9. 铀的化学	192
第九章 鐳、錒、碲、釷	204
§ 9-1. 周期表空位的填补	204
§ 9-2. 鐳(Te)	205
§ 9-3. 錒(Pm)	207
§ 9-4. 碲(At)	209
§ 9-5. 釷(Fr)	211
第十章 超铀元素	214
§ 10-1. 引言	214
§ 10-2. 镎(Np)和钚(Pu)的发现	214
§ 10-3. 钚(Pu)	216
§ 10-4. 镎(Np)	225
§ 10-5. 95—103号元素的发现	231
§ 10-6. 锕系元素的化学	236
§ 10-7. 制备超铀元素的方法	242
§ 10-8. 研究超铀元素的一些技术问题	246
§ 10-9. 锕系理论	249
§ 10-10. 锕系元素的电子构型	254
§ 10-11. 合成后超铀元素的可能性	256
第十一章 同位素交换	260
§ 11-1. 基本概念	260
§ 11-2. 简单的和复杂的同位素交换	265
§ 11-3. 同位素交换反应的机构和阶段	267
§ 11-4. 同位素交换反应的推动力,同位素的均匀分配	276

§ 11-5. 同位素交换反应的特点	279
§ 11-6. 在均相稳定体系中简单同位素交换反应的指数规律和基本的动力学特点	280
§ 11-7. 研究同位素交换反应的实验方法	287
§ 11-8. 同位素交换反应在放射化学及一般化学中的意义	292
第十二章 核转变过程中的化学效应	294
§ 12-1. 引言	294
§ 12-2. (n, γ) 反应的化学效应	296
§ 12-3. (γ, n) 反应的化学效应	313
§ 12-4. 同质异能跃迁的化学效应	319
§ 12-5. β -蜕变化学	323
第十三章 裂变反应和散变反应的化学	332
§ 13-1. 裂变	332
§ 13-2. 自发裂变	344
§ 13-3. 高能核分裂反应	348
第十四章 放射性同位素的制备和生产	369
§ 14-1. 生产放射性同位素的重要核反应	370
§ 14-2. 产额的计算	377
§ 14-3. 靶子物的选择与靶子的制备	385
§ 14-4. 生产方法	391
§ 14-5. 由裂变产物生产制备放射性同位素	413
§ 14-6. 放射性同位素的分析鉴定	419
第十五章 放射性同位素在化学上的应用	426
§ 15-1. 引言	426
§ 15-2. 应用放射性指示剂的一般原理	428
§ 15-3. 放射性指示剂在分析化学中的应用	439
§ 15-4. 放射性指示剂在物理化学中的应用	470
§ 15-5. 应用放射性指示剂研究化学反应机构	482
第十六章 辐射化学	496
§ 16-1. 引言	496
§ 16-2. 水和水溶液的辐射化学	499
§ 16-3. 有机物辐射化学效应	503
§ 16-4. 高分子化合物的辐射效应	508
§ 16-5. 核辐射对高分子的作用	512
§ 16-6. 固体物质的辐射效应	517
附录 I	520
附录 II	524

第一章 緒論

§ 1-1 放射化学的内容

放射化学是原子能科学的一个重要组成部分。它和原子核物理有着密切的联系。特別在发展的初級阶段，二者不但是相輔相成，且彼此难以区分。同时放射化学又是近代化学发展中的一个較年青的分支。在 1910 年人們才第一次引用“放射化学”这个名詞。近五十年来放射化学有了很大的发展，它所包括的内容也日益广泛。現在，在一些书本和文献上常常可以看到“放射性元素化学”、“核化学”、“应用放射化学”、“示踪原子化学”和“分析放射化学”等名詞，而这些名詞都仅仅反映了放射化学的部分内容。

斯达力克(И. Е. Старик)在他所著的“放射化学基础”一书中定义放射化学是研究放射性同位素的普通化学和物理化学性质的学科，其特点是研究超微量物质的状态及其行为的規律性；并且它有特殊的研究方法。布列斯列尔(С. Е. Бреслер)在他所著的“放射性元素”一书中对放射化学下的定义是：“放射化学研究放射性物质的制备、分离、純化和鉴定，主要放射性常数的測定以及研究放射性元素生成和蜕变的核过程。”上述两个定义各自突出了放射化学中的某一方面的特点。我們认为要构成比較全面的放射化学定义应该把上述两个定义有机地結合起来。可以概括地认为放射化学包括核化学、放射性元素化学和应用放射化学等三方面的内容，它的含意如下：

放射化学研究放射性同位素和原子核轉变产物的行为和化学性质，研究它們的制备、分离、純化和鉴定，以及研究放射性示踪原

子在化学中的应用。

應該說明这样的定义还是不能令人滿意的，为了有助于了解放射化学的内容和任务，还須进一步了解放射化学的主要特点。

§ 1-2 放射化学的主要特点

放射化学除了具有与一般化学的共同点以外，概括說来，它还有下列三个主要特点：

(一) **低濃度和微量** 在放射化学工作中通常遇到的放射性物质的量总是极少的，因此在高度稀釋(低濃)的条件下研究放射性物质的化学性质是放射化学的一个特点。举例來說，在實驗室中常常碰到这样数量級强度的一些放射源：譬如每分钟有 10,000 个蜕变。表 1-1 列举了一些强度为 10,000 蜕变/分的放射源的量。

表 1-1

同 位 素	半 衰 期	克 原 子
鐳 (Ra^{226})	1620 年	2×10^{-11}
鐳 F (Po^{210})	138 天	5×10^{-15}
釷 B (Pb^{212})	10.6 小时	1.5×10^{-17}
釷 C (Tl^{208})	3.1 分	7.5×10^{-20} (45,000 个原子)

可見它們的量是非常少的。

这样微量的研究对象，对于化学家來說的确是新的問題。由此而出現的一系列的微量物质所特有的規律性对于化学家來說也是陌生的，因为所有一般化学的經典結論都不是在这样低濃的条件下获得的。因此在放射化学的研究工作中必須充分考慮到低濃这一特点。

(二) **“不恒定”** 随着放射性核的不断蜕变，放射化学研究对象的組成总是在发生变化。这一点說明放射性物质的化学純度并

不是恒定不变的，因此化学純的概念在放射化学中往往显得不大重要；而实际上有真正意义的却是放射化学純的概念（不从化学成分而从放射性的角度来考虑物质的純度）。

研究对象的不恒定性給操作放射性同位素的工作带来了不少困难，它使放射性同位素的制备、分离和純化工作复杂化了。当处理短寿命的放射性同位素时，格外需要注意时间的因素，不然的话，丢失了时机所研究的对象就会很快地在我們的面前消失。

（三）放射性 在研究放射性物质时，必須考虑到射綫对工作者的伤害及其防御的問題。因此放射化学操作不同于一般的化学操作，它必需在具有特殊设备的實驗室中和在严格地遵守射綫的防护規則的条件下进行。显然，这一点給工作带来了許多麻煩。

但是从积极的一方面来看，正因为研究的对象具有放射性，可以借助于高度发展的近代的放射性测量技术，使研究方法的灵敏度远远超过一般化学方法所能达到的范围。如在分析化学中，灵敏度較高的光譜法的测量限度約为 10^{-8} — 10^{-9} 克，螢光法的限度为 10^{-9} — 10^{-10} 克；而用放射化学方法测量，鉴定几千或几百个原子的存在常常不是什么困难的事情。甚至在个别情况下，利用特別灵敏的探测技术，还可以探测到几个原子的存在。

§1-3 放射化学发展簡史

（一）天然放射現象的发现 放射化学的发展过程正如其他科学的发展过程一样，有其社会的物质基础和它本身发展的必然規律性。

十九世紀末，资本主义已經发展到垄断的阶段，更为集中的大工业要求建立起新的动力基础。当时电气、冶金和化学工业都有了較大的发展，而这些工业的发展促进了探矿企业的发展。鈾矿的开掘的規模也在这时候扩大了。由于新鋼种的冶炼、瓷釉及螢

光玻璃的制造等都需要一定量的鈾的化合物，所以在当时人們对于早在 1789 年发现的鈾有了更多的注意。

另一方面，在电气工业开始迅速发展的阶段，电的广泛应用要求物理学家进行各种研究去闡明电的本性。且在研究电的本性的同时，还要求科学家进一步轉向物质的微观性质的研究。在当时的物理界中，放电現象和光譜学的研究显得特別活跃。1895 年末倫琴在仔細观察克魯克斯管的放电現象时发现了 X 射綫。一些物理学家根据 X 射綫和螢光在克魯克斯管中同时出現的表面現象，武断地认为螢光是 X 射綫的来源。这一种看法引导了法国物理学家貝克萊尔(H. Becquerel) 等进一步去研究螢光物质能否产生 X 射綫的問題。

1896 年 2 月貝克萊尔将能够发出强烈螢光的硫酸鉀复盐 $[K_2UO_2(SO_4)_2 \cdot 2H_2O]$ 放在包着黑紙的感光片上，发现既使在未經日光曝晒又不致于发生螢光的条件下，感光片仍有强烈的感光。这一現象显然和螢光没有任何的联系。經過了多次的試驗和仔細的分析，貝克萊尔作出了科学的結論，肯定了自发的鈾射綫的存在，确定了天然放射現象。

(二) 鈾和鐳的发现、“放射化学工作法” 这一重要現象的发现引起了不少科学家的注意。居里夫妇用一台自制的压电式靜电計，对鈾的放射性进行了定量的研究。他們发现鈾的放射性强度决定于試样中的鈾含量；并且还发现釷也有类似的放射現象。由此提出了放射現象是一种特有的原子現象的重要概念。

1898 年居里夫妇通过实验又发现了一个极其重要的現象：天然鈾矿物的放射性要比純鈾的放射性約大四倍，而且比化学成分相同的人造鈾矿物的放射性也要强得多。这就初步肯定了鈾矿中存在着其他放射性新元素的可能性。当然門捷列夫周期表上的若干空位也給了居里夫妇以很大的启示，启发她們去努力寻找新的