

上海第一医学院 师资进修教材

《临床核医学》习题选编

1981



10044163

目 录

绪 论	1 页
问答题	1 ~ 5 页
第一章 核物理基本知识	6 页
名词解释	6 ~ 8 页
问答题	8 ~ 13 页
计算题	13 ~ 15 页
第二章 放射线的探测及核电子仪器	16 页
名词解释	16 ~ 17 页
问答题	17 ~ 30 页
计算题	30 ~ 32 页
第三章 放射性测量及数据处理	33 页
名词解释	33 ~ 34 页
问答题	34 ~ 37 页
计算题	37 ~ 40 页
第四章 辐射剂量学基础	41 页
名词解释	41 ~ 43 页
问答题	43 ~ 44 页
计算题	44 ~ 47 页
第五章 放射药物学基础	48 页
名词解释	48 ~ 49 页
问答题	49 ~ 56 页
第六章 放射免疫基础	57 页
问答题	57 ~ 65 页
第七章 放射卫生学基础	66 页
名词解释	66 ~ 70 页
问答题	70 ~ 74 页
计算题	74 ~ 77 页
第八章 内分泌系统	78 页
甲状腺	78 ~ 97 页
肾上腺	97 ~ 101 页
第九章 心血管系统	102 页
心脏功能	102 ~ 108 页
心肌“热区”显像	108 ~ 111 页

	心肌灌注显像.....	111~113页
	心脏大血管血池显像.....	113~114页
	放射性核素心血管照相.....	114~117页
第十章	骨关节系统.....	118页
第十一章	神经系统.....	122页
第十二章	消化系统.....	129页
第十三章	泌尿系统.....	145页
	放射性核素肾图及肾血流量等.....	145~154页
	肾显像及其他.....	154~155页
第十四章	呼吸系统.....	156页
第十五章	血液、淋巴系统.....	163页
第十六章	放射性核素内照射治疗.....	169页
	放射性碘在治疗上的应用.....	169~174页
	放射性磷在治疗上的应用.....	174~176页
第十七章	放射性核素敷贴治疗及放射性胶体治疗.....	177页
	放射性核素敷贴治疗.....	177~179页
	放射性胶体治疗.....	179~182页

绪 论

1. 什么是核医学? 它与放射医学有何不同?

核医学(又名原子核医学或原子医学)是研究同位素及核射线(包括医用加速器)的医学应用的科学。它是原子核技术和医学相结合产生的一门新学科,其主要内容是同位素及核射线在临床诊断、治疗及医学研究中的应用。

所谓临床核医学即指放射性核素(不包括封闭源)在临床诊断、治疗和医学研究中的应用。它又分基础及临床两部分。前者指放射化学、放射药理学、核电子仪器、电子计算机在核医学中的应用等临床核医学的基础;后者包括诊断核医学(功能、显像等)、标本测量核医学(竞争性放射分析、活化分析等)以及治疗核医学等。

放射医学是研究放射病的防治及其理论的科学。它与核医学是两个范畴。

2. 为什么说核医学是医学科学现代化的重要标志之一?

首先核医学是原子能事业的重要组成部分,它体现了科学技术的发展水平。核医学必需的设备、药物依赖于反应堆、加速器、核电子仪器等先进的原子能科学技术。因此,所有工业先进的国家都有发达的核医学。

另一方面,核医学体现了医学科学的发展水平。近几十年来,医学科学的进步,特别是生命科学的重要突破,如分子生物学、遗传工程学、免疫学等新学科的发展都离不开同位素的应用。凡当代研究出的新药也都离不开同位素的应用。实际上核医学已经深入到基础医学和临床医学的各个领域,它是医学科学现代化的重要标志之一。

3. 核医学对医学有何贡献?

(1)为医学科学提供了灵敏、特异的分析手段,从而解决了其他分析方法难以解决的问题。

①可以测定不易分离的成分。如用同位素稀释法测定全身水量、血容量等。
②可以精确测定体内的微量化合物成分。如竞争性放射分析的灵敏度可达 $10^{-9} \sim 10^{-15}$ 克水平,它能测定数百种体内生物活性物质及药物等。

③可以在不损伤机体的情况下进行元素的定量分析。如活化分析可定量测出头发、指甲中的微量元素含量。

(2)示踪原子在医学上的应用:

①研究代谢的转变及转变途径:如对蛋白质合成复杂过程的了解,就是在采用示踪原子进行研究后,其合成及合成途径才得到了证实。

②鉴别内外源因子:如口服100毫克钙,粪便排出20毫克,是否吸收了80毫克呢?经双重示踪原子研究证明,排出的20毫克钙中含有代谢排出的钙,说明体内吸收大于80毫克。

③观察放射性药物在体内的分布和转移:如核素的脏器显像,功能测定及核素造影等。

(3)为临床提供了一种崭新的放射疗法:放射性药物引入病变部位,比外照射治疗更直

接有效。如 ^{131}I 碘治疗甲状腺癌转移及甲状腺机能亢进,用 ^{90}Y 钇微球治疗原发性肝癌等。

4.核医学对临床医学有哪些贡献?

核医学对临床医学贡献较大的有以下几个方面:

- (1)骨、关节显像。
- (2)核心脏病学。
- (3)肺通气灌注显像。
- (4)肝胆显像。
- (5) ^{75}Se —蛋氨酸胰腺显像。
- (6)甲状腺功能测定和甲状腺疾病的治疗。
- (7)肾小球、肾小管功能测定、尿路梗阻及尿逆流的诊断。移植肾功能状态的随访监护等。
- (8) ^{67}Ga 对某些肿瘤、炎症的诊断。
- (9)放射性核素泪囊造影术。
- (10)用脑池造影检查脑脊液循环的病理生理学改变。
- (11)放射性核素脑血管造影。
- (12)放射性核素计算机辅助断层摄影的应用。
- (13)放射免疫分析法的广泛应用等。

5.放射性核素诊断常用的原理是什么?

放射性核素诊断是通过含有放射性核素的药物引入体内进行测量(功能、显像等)或体外标本测定(竞争性放射分析、活化分析等)来诊断疾病。

根据放射性药物分布聚集在身体的某些脏器,某些细胞或某些组成部分,或参加某些代谢过程,或流经某一通道,用放射性测量的方法把这些分布、聚集、流通的量和速度显示出来,经过大量的应用,用统计学方法求出正常范围、变异范围和某些疾病状态下的异常特点,根据这些的规律诊断疾病。

(1)细胞功能性吸收

某一脏器某种细胞在一定程度上能选择性地吸收某种放射性药物,吸收的放射性药物可以掺入细胞的有关代谢过程,也可以是一种简单的吸收和相继排出。前者如甲状腺对 Na^{131}I 的吸收和利用。后者如肝多角细胞对 ^{131}I —RB的吸收和排出。根据吸收的量和速度以及在脏器内的分布情况可以做出功能判断和形态显示。

(2)细胞吞噬

如肝、脾和骨髓的网状内皮系统可以吞噬血液内的放射性胶体颗粒而显影。

(3)细胞拦截:

衰老的、形态异常或经热或化学变性的标记红细胞,可以拦截在脾脏,借以显示脾脏。

(4)微血管阻断

当放射性颗粒明显地大于微血管直径,静脉注入后将栓塞于肺的微血管,以观察肺血流灌注情况。

(5)化学吸附和离子交换

如骨微细结构的表面可以吸附 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 标记的各种磷酸盐,骨中的 Ca^{++} 可与 $^{87\text{m}}\text{Sr}$ 进行交换,使骨显像。

(6)简单的弥散: 如放射性惰性气体可以从血流内弥散至肺泡内。

(7)流经通道 如从肾小管上皮细胞分泌的放射性药物随尿流排出体外, 可以显示尿路是否通畅和有无积液。

(8)简单的分布 将放射性药物引入体内某一空间如注入脑室, 可以显示此空间的大小。

(9)稀释原理 放射性药物引入体内某一空间或代谢库后, 根据放射性稀释的原理可定量计算出空间和代谢库的大小。如血容量测定、蛋白质代谢等。

(10)竞争性放射分析法。 为体外标本测量, 可测定300多种体内活性物质及药物等微量物质。

6.放射性核素内照射治疗的原理是什么?

放射性核素内照射治疗是将含有放射性核素的药物引入体内进行治疗的方法。它的原理是利用放射生物效应即射线对组织细胞的电离作用可以抑制细胞的生长使其变质、坏死。

核素治疗和外放射源放射治疗的不同点是: (1)放射性药物通过代谢途径到达病变部位, 如 ^{131}I 治疗甲状腺机能亢进, ^{32}P 治疗真性红细胞增多症。(2)可将放射性药物做成胶体、微球等多种形式, 通过手术、注射等方式直接引入病变部位, 如 ^{198}Au 胶体注入腹腔治疗转移癌, ^{90}Y 微球注入肝动脉治疗原发性肝癌等。

由于核素治疗具有以上两个特点, 故又称为内照射治疗。

7.在医学诊断中应用放射性核素的优缺点是什么?

优点:

(1)灵敏, 可测量 $10^{-9} \sim 10^{-15}$ 克水平。

(2)是在符合生理情况的条件下进行实验。由于核素示踪剂量与体内某物质含量相比是微不足道的, 不会破坏体内生理生化平衡状态。

(3)可分辨原有分子和新引入分子。

(4)测定时不需提纯。

(5)可以发现其他方法不能发现的事实。

(6)在临床应用中, 是一种方便、安全、无创伤的诊断工具; 并可反映生理生化的过程、提供动态和定量资料。

(7)在基础医学研究中还可从分子水平动态认识生物的本质。

缺点:

(1)所需仪器复杂、昂贵。

(2)工作人员要有特殊训练。

(3)有些放射性药物来源困难。

(4)有些放射性核素半衰期太短或太长给实验观察带来困难。

(5)由于同位素效应有时可影响标记化合物的性质。

(6)具有放射性, 可能损害工作人员健康。

8.近十年来, 核医学发展了那些新技术?

(1)核显像技术：目前闪烁照相机正在取代扫描仪。同时闪烁照相机本身的类型及性能也有新发展，如出现了半导体照相机，多丝正比照相机，多晶体照相机等。近年来核显像技术的重要突破是放射性核素计算机处理断层摄影术(ECT)的应用。它的主要特点是，不但可以获得机体横断面图像，而且可以观察脏器功能的动态变化，以及放射性核素在脏器内的分布等。

(2)竞争性放射分析法的广泛应用：该技术的特点是灵敏度高，特异性强，方法简便，标本用量少，已广泛应用于内分泌、肿瘤、药理及心血管疾病的科研和诊断。目前正沿着自动化和规格化的方向发展。

(3)活化分析：是灵敏度高、特异性强的微量元素测定法。此方法的优点是：①灵敏度高，能探测 10^{-12} 克水平的微量元素，样品量只需几微升到0.1毫升；②为非破坏性的检查方法；③样品制备比较简单；④可进行多元素分析，凡原子序数大于11的元素都可以用此法分析；⑤操作迅速，整个分析过程需要的时间短；⑥带电粒子活化分析可用于表面分析，如质子的有效穿透力可控制在50微米以下；⑦带电粒子活化分析可进行小面积扫描，此时，照射区限制在0.5平方毫米以下。

活化分析包括中子活化分析，带电粒子活化分析，光子活化分析等。近年来带电粒子活化分析，尤其是质子激发X线发射分析(PIXEA)发展特别迅速。此法对环境污染的监测、食品检查、职业病、肿瘤学、冠心病、地方病和法医学等方面的研究有很大的价值。

(4)稳定性同位素的应用：近年来，由于高能核磁共振仪、质谱仪及活化分析技术的发展，稳定性同位素的大规模生产，使稳定性同位素的应用有很大的进展。

稳定性同位素的主要优点是。

①除氘以外一般都没有毒性。

②无放射性，不会产生自分解。

③有些元素缺乏合适半衰期的放射性同位素，只能选用稳定性同位素。

④可与放射性同位素配合使用，用于双标记实验。

(5)液体闪烁测量技术的发展，该技术适用于 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{35}S 等软 β 放射性核素的测量，具有高灵敏度、高效率、使用方便、测量迅速等优点。近年来，正向高度自动化方向发展，可连续测量数百个样品。

(6)放射自显影术的发展：放射自显影术是利用核射线可使乳胶感光的性质来测量放射性。近年来的主要进展是：①整体自显影及其定量；②彩色自显影；③高速放射自显影。

9.近十年来放射性药物有什么新进展？

(1)短寿命放射性核素的广泛应用：核素发生器及回旋加速器生产的短半衰期核素用于脏器和肿瘤显像，由于可使用较大剂量，因而获得高质量显像，已有趋势取代反应堆生产的放射性核素。目前应用最广的是 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 $^{113\text{m}}\text{In}$ 两种发生器，此外 ^{68}Ga 、 ^{132}I 、 ^{129}Cs 、 $^{137\text{m}}\text{Ba}$ 、 ^{82}Rb 、 $^{81\text{m}}\text{Kr}$ 等发生器也已应用于临床。回旋加速器生产的短半衰期核素如 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 等是供ECT研究机体代谢的重要核素。

(2)随着短寿命核素的广泛应用，已发展出“快速标记合成法”及“一步法药盒”等新技术。

(3)快速鉴定技术的发展：近年来出现的快速纸层析法可在3~5分钟内对 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 标记化合物的放化纯度进行鉴定。

10, 电子计算机在核医学中有那些应用?

- (1) 分析器官显像及功能测定的结果。
- (2) 示踪动力学的研究。
- (3) γ 射线能谱的定量分析。
- (4) 体外测定装置的自动化。
- (5) 放射自显影术的定量分析。
- (6) 放射治疗辐射剂量的计算。
- (7) 资料贮存、检索及处理。
- (8) 实验室管理与计划的制定。
- (9) 放射性核素计算机辅助断层摄影术(ECT)。

(张承刚)

第一章 核物理基本知识

名词解释

1. 元素(element):

一般指化学元素, 相同元素的原子具有相同的核电荷数。

2. 核素(nuclide)

具有确定原子序数及质量数, 並处在一定能量级(大于 10^{-10} 秒)的原子, 称为一种核素。

例如: ^1_1H 、 $^{198}_{79}\text{Au}$ 、 $^{12}_6\text{C}$ 、 $^{99}_{43}\text{Tc}$ 、 $^{99\text{m}}_{43}\text{Tc}$ 等各为不同的核素。

3. 放射性核素(radionuclide):

凡是原子核处于不稳定状态, 自发地转变为另一种核素, 並放出射线者, 称为放射性核素。原子序数在83以上的元素均为放射性核素。

4. 同位素(isotope):

凡原子核内质子数相同, 中子数不同的核素, 彼此称为同位素。例如: $^{131}_{53}\text{I}$ 、 $^{125}_{53}\text{I}$ 、 $^{127}_{53}\text{I}$ 互为同位素。

5. 同质异能素(isomer):

原子核内质子数和中子数均相等, 而它们的能量状态不同的核素, 彼此称为同质异能素。

例如: $^{113}_{49}\text{In}$ 与 $^{113\text{m}}_{49}\text{In}$ 即互为同质异能素。

6. 核子(nucleon):

组成原子核的基本粒子称为核子。例如: 中子、质子等。

7. 核反应(nuclear reaction)

某种微观粒子与原子核相互作用时, 使原子核结构发生变化, 形成新核, 並放出一个或几个粒子的过程, 称为核反应。

8. 同位素丰度(isotopic abundance)

某元素中, 某种同位素天然存在的含量, 占该元素总量的百分数, 称为同位素丰度。

9. 单能光子核素与多能光子核素(single photon nuclide and multiple photon nuclide)

放射性核素在衰变过程中放射出单一能量的 γ 射线, 称为单能光子核素; 放射出两种以上能量的 γ 光子者, 称为多能光子核素。

10. 基态和激发态(base state and excited state):

微观粒子系统(如: 原子核或其他多粒子体系等)的最低能量状态称“基态”, 比基态高的能量状态称激发态。处于激发态的原子核是不稳定的。不同壳层的核外电子占据着不同低能量位置的状态, 也称基态。由于某种原因内层电子获得了能量使之跳到外壳层, 这种状态也称为激发态。

11. 跃迁和退激(transition and de-excitation)

专指微观粒子系统从某一状态(初态)到另一状态(末态)的过程,称为跃迁。例如在 γ 衰变过程中,原子核的质量和原子序数都没有改变,仅原子核的能量状态发生了改变,称为跃迁, (isomeric transition)。跃迁时释放出能量。原子由激发态回到基态的过程称为退激。

12. 电离与激发 (ionization and excitation)。

中性分子或原子形成“离子”的过程,称为电离。在气体中产生电离是由于高能粒子(电子或离子)的碰撞或其他高能射线的辐照;在溶液中则主要由于溶剂极性分子的吸引微观粒子系统(原子、原子核等)。当其内部能量高于基态能量时所处的量子状态,称为激发。例如核外电子获得能量跳到较高能级上去的过程。

13. 电子俘获(electron capture);

原子核俘获一个轨道电子,使核内的一个质子转变为中子及中微子者,谓之电子俘获。因K壳层电子被俘获的几率最大,所以电子俘获又称K电子俘获。

14. 核衰变(nuclear decay);

放射性原子核自发地发生结构及能量状态的改变,放射出射线,转变成另一种核素的过程,称为核衰变。

15. 自裂变(spontaneous fission);

原子核分裂为两个重量相近似的核(裂块)的过程,同时还可能放出中子(也有分裂为更多裂块的情形但几率很小)称自裂变。它是重核不稳定性的一种表现,其裂变半衰期一般很长,如 ^{235}U 裂变半衰期约 10^{16} 年。

16. 感生裂变(induced fission)

某些重原子核受到其他粒子(中子、带电粒子、光子)轰击时,分裂成两个质量较轻的碎片,并释放出能量的过程,称感生裂变。

17. 标识X射线和俄歇电子(Auger electron);

原子的壳层电子状态转变时所产生的辐射,如当进行电子俘获或 γ 衰变的内转换时,K层或其他壳层少了一个电子,此时能级高的壳层电子跃迁到这个壳层来填补空位。在跃迁过程中,以发射X线的形式释放能量,这种X线即特征X线,或称为标识X线。此外壳层电子在跃迁过程中,还可能把能量传递给另外一个壳层电子,使其成为自由电子而释放,这样释放的电子,称为俄歇电子。

18. 内转换电子(internal conversion electron);

原子核的激发能直接传给核外电子,使之发射出去的现象,称为内转换现象。发射的电子称为内转换电子。

19. 湮没辐射(annihilation radiation)

β^+ 粒子与物质相互作用时,当它的全部动能损失后,便与物质的自由电子相结合。根据质能转换定律: $E = mc^2$, 转变为一对能量相等 ($E_\gamma = 0.51\text{MeV}$), 方向相反的 γ 光子。这个现象称正负电子湮没。其辐射称光化辐射或湮没辐射。

20. 轫致辐射(bremsstrahlung);

高能的带电粒子急速前进受阻时,所发出的电磁辐射,称为轫致辐射。

21. 物理半衰期(physical half-life);

放射性核素的原子核的数目减少到原来一半所需要的时间,称为该核素的物理半衰期。

22. 衰变常数(decay constant);

指每个原子核在单位时间内发生衰变的几率，或单位时间内衰变掉的原子数占原有放射性原子数的百分率。

23. 平均寿命(mean life)

放射性原子在衰变前的平均生存时间，称为该原子的平均寿命。用 λ^{-1} 表示。 λ 为衰变常数。

24. 次级电离(secondary ionization)

辐射可使物质电离，并产生初级离子。初级电子继而又在物质中产生电离，称为次级电离。产生的带电离子称为次级电子。

问答题：

1. 简述原子与原子的结构。

原子是构成元素的基本单位。不同元素的原子具有不同的性质，但原子的基本结构大致相同。原子由带正电荷的原子核及核外电子组成。原子核位于原子的中心，它所占的空间很小，但是原子质量的绝大部分集中在原子核。原子核是由带正电荷的质子及中性的中子组成。核外电子带负电荷，它的数目与核内质子数目相等，因此原子是中性的。电子在一定的轨道上围绕原子核旋转。

2. 用 A_ZX 表示原子的结构 AZX 各代表什么？

X 代表元素符号

Z 代表原子核内质子数，即原子序数。

A 代表原子的质量数，即质子数与中子数之和。

3. 以 ${}^{131}\text{I}$ 、 ${}^{125}\text{I}$ 、 ${}^{113}\text{In}$ 、 ${}^{113\text{m}}\text{In}$ 、 ${}^{111}\text{In}$ 、 ${}^{198}\text{Au}$ 为例，说明它们哪些是核素？它们之间哪些是同位素？同质异能素？

${}^{131}\text{I}$ 、 ${}^{125}\text{I}$ 、 ${}^{113}\text{In}$ 、 ${}^{113\text{m}}\text{In}$ 、 ${}^{111}\text{In}$ 、 ${}^{198}\text{Au}$ 各为一种核素。

${}^{131}\text{I}$ 、 ${}^{125}\text{I}$ 、 ${}^{113}\text{In}$ 、 ${}^{113\text{m}}\text{In}$ 、 ${}^{111}\text{In}$ 为两组同位素。

${}^{113}\text{In}$ 、 ${}^{113\text{m}}\text{In}$ 两种核素是同质异能素。

4. 何谓核射线？常见的核射线有几种？试比较它们的异同点。

由原子核内发出的射线，称为核射线。

常见的核射线有 α 、 β 、 γ 及中子射线。① 这些射线穿透物质时都可以使物质电离。其中， α 粒子及中子(次级电离)电离能力最强。 γ 光子最弱。 β 粒子介于二者之间。② 都可引起生物学及化学效应，使照相乳胶感光。③ 具有一定的穿透物质的能力。 γ 射线和中子射线对物质的穿透能力最强， α 射线最弱， β 射线居中。④ 各自具有一定的能量，并且在放射过程中不断释放能量。⑤ 可使荧光物质产生荧光。⑥ 在磁场中， α 和 β 射线(带电粒子)发生偏转， γ 射线及中子射线不发生偏转。⑦ α 射线和 β 射线分别是带电的粒子流和电子流。 γ 射线是电磁波。中子射线是不带电的中子流。⑧ 由核内发射出的速率不同。⑨ 对人体内外照射产生的危害不同。体内照射时， α 射线、中子危害最大， γ 射线最小。体外照射时， γ 射线及中子射线最大， α 射线最小， β 射线居中。

5. X 射线与 γ 射线有何异同？

X 射线与 γ 射线都是电磁波，它们之间的区别是来源不同。

X 射线是原子核外发射出的射线，当高能电子打到致密的物质上时，就会产生 X 射线； γ 射线是由原子核内发射出来的辐射。进行 β 或 α 衰变的放射性核素常可同时释放 γ 射线。即

当原子核在发射 α 或 β 粒子后仍处于激发状态时，就会放射出 γ 射线。实际上任何处于激发态的原子核都可发射出 γ 射线。

X射线与 γ 射线的共同点：①对物质有一定的穿透力。②使空气产生电离。③具有生物学及化学作用。④使照相乳胶感光。⑤可使荧光物质产生荧光。⑥在磁场中不发生偏转。

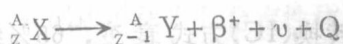
6.当发射一个 β 粒子时，原子核发生了什么变化？並以公式表示之。

当发射一个 β^- 粒子时，可以认为原子核内的一个中子转化成为质子。该核素（发射 β^- 粒子的核素）质量不变。但由于质子数增加了1，原子序数也就增加1，在元素周期表上右移一位。由公式表示：



（ $\bar{\nu}$ 为反中微子，Q为能量）

当发射一个 β^+ 粒子时，可视为原子核内一个质子转化为中子，子核与母核（发射 β^+ 粒子的）质量相同。但质子数减少1，在元素周期表上左移1位，用公式表示：



（ ν 为中微子）。

7. γ 射线的发射能否影响该原子的原子序数和质量数？为什么？

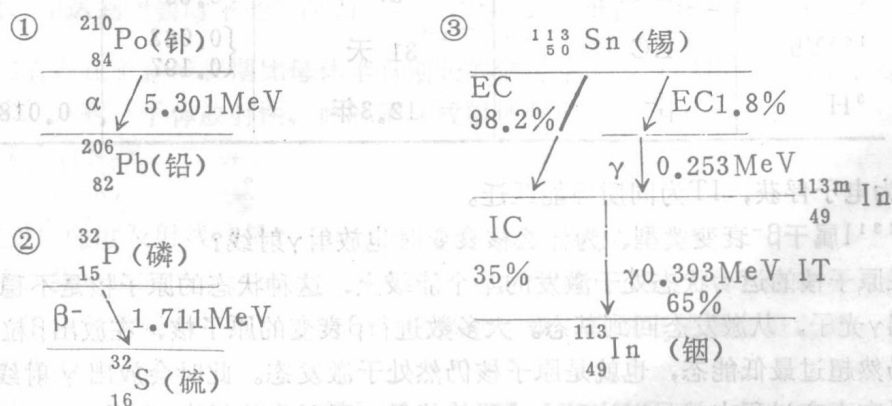
γ 射线的发射并不影响该原子的原子序数和质量数， γ 射线是原子核由激发态回到基态时放射出来的射线，是一种电磁波，不带电荷，没有质量。因此在这个过程中原子核的质量不会增减，仅仅原子核的能量状态发生了改变，所以 γ 射线的发射不影响该原子的原子序数和质量数。

8.放射性核素在t时刻存在的原子核数与t之间有什么关系？ $T_{1/2}$ 与 λ 的关系是什么？

t时间存在的原子核数与时间t之间存在着指数的关系。也就是：单位时间内变化的原子核数与该时间内存在的原子核数成正比。

$T_{1/2}$ 与 λ 之间的关系可用公式 $T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}$ 表示（ λ 为每个核衰变的几率， $T_{1/2}$ 为物理半衰期）即 $T_{1/2}$ 与 λ 成反比， $T_{1/2}$ 越长， λ 越小。反之， λ 越大， $T_{1/2}$ 越短。

9.试对下列衰变图进行分析。



图①衰变方式： α 衰变。

$^{210}_{84}\text{Po}$ (钋)经 α 衰变,放射出能量为5.301MeV的 α 粒子。原子质量减少4个单位,原子序数减少2,在元素周期表上左移二位变成 $^{206}_{82}\text{Pb}$ 。

图②衰变方式为 β^- 衰变。

$^{32}_{15}\text{P}$ (磷)经 β^- 衰变,放出能量为1.711MeV的 β^- 粒子。原子核内一个中子转变为质子,原子质量不变,原子序数增加1,在元素周期表上右移1位,变成 $^{32}_{16}\text{S}$ 。

图③是一个连续衰变图。

衰变类型:电子俘获及同质异能跃迁(大部份)。

$^{115}_{50}\text{Sn}$ (锡)的98.2%经一次电子俘获衰变(EC),1.8%经电子俘获和 γ 衰变,放射出能量为0.253MeV的 γ 光子。使核内一个质子转化为中子,原子质量不变,原子序数减少1,在元素周期表上左移1位,变成 $^{115}_{49}\text{In}$ 。

$^{115\text{m}}_{49}\text{In}$ (铟)处于激发态,仍然继续衰变。其中35%经内转换(IC)方式衰变,65%经同质异能跃迁(IT)衰变,释放出能量为0.393MeV的 γ 光子,变成稳定态的 $^{115}_{49}\text{In}$ 。

10.试述 $^{131}_{53}\text{I}$ 、 $^{198}_{79}\text{Au}$ 、 $^{32}_{15}\text{P}$ 、 $^{51}_{24}\text{Cr}$ 、 $^{99\text{m}}_{43}\text{Tc}$ 、 $^{113\text{m}}_{49}\text{In}$ 、 $^{137}_{55}\text{Cs}$ 、 $^{169}_{71}\text{Yb}$ 、 ^3_1H 的衰变方式,物理半衰期及主要 γ (或 β 射线)能量?

核 素	衰 变 方 式	半 衰 期	能 量 (MeV)	
			γ	β
$^{131}_{53}\text{I}$	β^-	8.0 天	0.364	0.605
$^{198}_{79}\text{Au}$	β^- EC	2.69天	0.411	0.290 0.961 1.371
$^{32}_{15}\text{P}$	β^-	14.26天		1.709
$^{51}_{24}\text{Cr}$	EC	27.7 天	0.320	
$^{99\text{m}}_{43}\text{Tc}$	IT	6.02小时	0.140	
$^{113\text{m}}_{49}\text{In}$	IT	99.5 分	0.391	
$^{137}_{55}\text{Cs}$	EC	27 年	0.66	
$^{169}_{71}\text{Yb}$	EC	31 天	0.063 0.197	
^3_1H	β^-	12.3年		0.018

EC为电子俘获,IT为同质异能跃迁。

11. $^{131}_{53}\text{I}$ 属于 β^- 衰变类型,为什么核衰变时也放射 γ 射线?

如果原子核的运动状态处于激发的某个能级上,这种状态的原子核是不稳定的。它往往通过放出 γ 光子,从激发态回到基态。大多数进行 β 衰变的原子核,在放出 β 粒子后,原子核的能量仍然超过最低能态,也就是原子核仍然处于激发态。此时会放出 γ 射线而退回到基态。 $^{131}_{53}\text{I}$ 在衰变过程中就是以这种方式释放能量,所以也放射出 γ 射线。

12.放射性核素的衰变特征是什么?

放射性核素的衰变特征是:

①放射性核素具有各自的衰变类型。例如有 α 、 β 、 γ 、EC、IT等类型。

②每一种放射性核素所具有的衰变常数及半衰期是固定的。在衰变时,放射性强度随时间按指数规律减弱。

③每一种放射性核素进行衰变时,都以某种方式发射出能量,其射线能量是固定不变的。

√13.试述子体为稳定性核素的衰变规律?

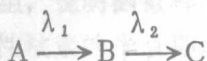
放射性原子核的衰变并不是同时发生的,而是有先有后。单位时间内衰变的原子数与原子数成正比。放射性强度按照指数规律随时间减弱。放射性强度与时间的关系可用公式表示:

$$I = I_0 e^{-\lambda t}$$

式中 I_0 是时间为零时的放射性强度。 I 是经过 t 时间以后的放射性强度, λ 为衰变常数, e 为自然对数的底。

14.试述子体为非稳定性核素的衰变规律?

一些放射性核素经衰变后其子体也是放射性者,子体继续衰变,直到生成稳定性核素为止,此即连续衰变。以公式表示为:



单位时间内子核(B)数目的变化率等于新生成的(B)核数减去衰变掉的(B)核数即

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2$$

当母体半衰期比较长,子体半衰期比较短,即 $\lambda_1 \ll \lambda_2$ 时,子体放射性强度用公式表示:

$$I_2 = (I_1)(1 - e^{-\lambda_2 t})$$

式中 I_1 为母体放射性强度, I_2 为子体放射性强度。若时间 t 相隔很长,即达到“长期平衡”时,子体的放射性强度与母体的放射性强度相同,即 $e^{-\lambda_2 t}$ 等于0,上式可简化为 $I_2 = I_1$ 。

当母体半衰期并不太长,但比子体半衰期长时,即 $\lambda_1 < \lambda_2$,子体放射性强度用公式表示:

$$I_2 = \lambda_2 N_2 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 (N_1)_0}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

当时间相隔较长,即达到“暂时平衡”时, $I_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} I_1$,此时子体和母体的放射性强度保持一个恒定的比值。在子体半衰期比母体半衰期长的情况下,当时间相隔比较长,母体几乎完全衰变成子体,只剩下子体放射性,此时子体放射性强度以公式表示:

$$I_2 = \frac{\lambda_2 \lambda_1 (N_1)_0}{\lambda_1 - \lambda_2} e^{-\lambda_2 t}$$

√15.何谓放射性强度及射线能量?它们的单位及表示方法是什么?

放射性强度,指单位时间内核衰变的次数。在单位时间内放射性原子核衰变的越多,放射性强度越大。射线能量是指每种射线所具有的做功本领,它遵守能量守恒定律,不随时间和放射性强度的改变而变化。

通常用居里(Ci),毫居里(mCi),微居里(μ Ci)表示放射性强度。它们的物理意义如下:

1 居里 = 3.7×10^{10} 次核衰变/秒

1 毫居里 = 3.7×10^7 次核衰变/秒

1 微居里 = 3.7×10^4 次核衰变/秒

1974年国际辐射单位测量委员会建议强度单位改为贝克勒尔(Becquerel) 即(Bq), 所以现在亦用贝克勒尔作为放射性强度的单位, 其定义为:

1 贝克勒尔 = 1 次核衰变/秒

1 贝克勒尔 = $1 \text{ 秒}^{-1} \approx 2.703 \times 10^{-11}$ 居里

1 微居里 = 37000 贝克勒尔

表示能量的单位是电子伏特(eV), 千电子伏特(KeV), 兆电子伏特(MeV)。

1 兆电子伏特 = 10^3 千电子伏特。

1 兆电子伏特 = 10^6 电子伏特。

1 电子伏特 = 1.6021×10^{-12} 尔格。

16. 放射性原子数N乘以它的衰变常数 λ 等于什么值?

放射性原子数乘以它的衰变常数等于放射性核衰变的次数, 即代表样品的放射性强度。

公式表示: $I = \lambda N$

✓17. 试述带电粒子与物质的相互作用。

带电粒子与物质的相互作用有:

(1) 电离或激发: 带电粒子 α 、 β 通过物质时, 按照其带电的极性, 吸引或排斥核外电子, 使物质电离。在带电粒子通过的路径周围留下了很多离子对。单位长度路径上所产生的离子对数目, 称为电离密度, 它代表电离作用的大小。电离密度与带电粒子的速率, 电荷数及物质的密度有关。粒子电荷数大, 速率小, 物质的密度大, 所产生的电离密度就大。反之亦然。 α 粒子比 β 粒子带电量, 速率低, 所以它的电离本领比 β 粒子大。

带电粒子通过物质时, 可以和原子核外电子作用, 把能量传递给核外电子。如果壳层电子获得的能量比较小, 不能脱离原子变为自由电子, 只是从内层跃迁到外层轨道使原来处于稳定状态的原子变成能量状态较高的原子, 称为激发。

(2) 散射: 带电粒子通过物质时, 因受原子核静电场的作用而改变运动方向, 但能量不变, 这种现象称弹性散射。 β 粒子因其质量较 α 粒子小, 散射角较大, 因而散射作用较显著。

✓(3) 韧致辐射: 快速的带电粒子通过物质时, 被物质原子核所阻止, 突然减低速率, 将一部份能量转变成具有连续能谱的电磁辐射, 称为韧致辐射。

(4) 湮没辐射: β^+ 粒子被物质阻止, 完全丧失动能之后, 便与物质中的自由电子相结合, 转化为方向相反, 能量各为0.51 MeV的两个 γ 光子, 这种辐射称为湮没辐射或光化辐射。

带电粒子通过物质时, 经上述作用被物质吸收。

18. 在下列三种情况中, γ 射线与物质发生了什么作用?

(1) 辐射能量全部交给电子而产生自由电子。

(2) 辐射能量部份交给电子, 产生自由电子, γ 光子能量减弱。

(3) 辐射能量用于产生一个电子和一个正电子及它们的动能。

(1) 是光电效应。(2) 是康普顿效应。(3) 是电子对生成效应。

19. γ 射线与物质的相互作用与射线能量有何关系? 与吸收物质的原子序数有何关系?

γ 射线与物质相互作用实际上是不带电的具有一定能量的 γ 光子通过三种效应转换能量的过程。这三种效应随 γ 射线的能量及吸收物质的原子序数不同而有所不同。

在光电效应中,是 γ 光子将其全部能量给予了物质中的K壳层电子,而产生光电子。这种作用在低能时,即 γ 光子能量小于1MeV时占主要地位。且随物质的原子序数的增加而增加。

康普顿效应中, γ 光子将部份能量传递给物质原子的最外层电子,产生康普顿电子。 γ 光子的能量减弱,方向改变。当 γ 光子能量大约在2MeV~5MeV之间与绝大多数轻元素(中等原子序数)相互作用时,产生康普顿效应的几率最大。

电子对生成效应中,只有当 γ 光子的能量 $\geq 1.02\text{MeV}$ 时,即 γ 光子释放的能量足够形成一个电子和一个正电子时才可发生。所以,只有高能 γ 射线与物质相互作用时,才产生电子对生成效应。此过程正比于吸收体的 Z^2 (原子序数),因此,对高Z物质电子对生成效应是重要的。

20. 如果测定放射性核素物理半衰期的实验数据是足够准确的,将这些数据在半对数纸上作图,第一组得出一条直线。第二组得出二相曲线(弯曲曲线),这说明什么?如何求其半衰期?

第一组,说明测量样品中只含有一种放射性核素。测量计数减少到一半所需的时间,即为该放射性核素的半衰期。

第二组,说明测量样品中含有二种或多种放射性核素。曲线最初部分,代表样品中全部成份的放射性总和,主要为短寿命的(短半衰期)核素的影响。最后直线部份,代表样品中长寿放射性核素。由于样品中含有不同的放射性核素,其衰变常数各不相同,强度减弱的速率各异,自然不能构成直线。

将曲线的最后直线部分外推到时间为零($t=0$)时的截距,即为长寿成份的最初放射性。其放射性强度一半值所对应的时间 t ,即为长半衰期核素的半衰期。

另外短寿命的核素可由原曲线减去外推相应值的结果,在半对数纸上再次绘制曲线,如为直线可按上述方法求其半衰期。如果仍然为弯曲曲线可再次外推求之。

计算题

1. 试求 ^{32}P 的衰变常数和10毫克 ^{32}P 的放射性强度是多少? (^{32}P 半衰期为14.3天)

(1) 求 ^{32}P 的衰变常数 λ :

根据公式 $\lambda = -\frac{0.693}{T_{\frac{1}{2}}}$, 已知 $T_{\frac{1}{2}} = 14.3$, 代入公式, $\lambda = -\frac{0.693}{14.3} = 0.0485 \text{ '天}$

(2) 求10毫克 ^{32}P 放射性强度:

根据公式 克/居里 = $0.88 \times 10^{-13} \times T_{\frac{1}{2}}(\text{秒}) \times \text{原子量}$

$$\text{即居里(Ci)} = \frac{\text{克}}{0.88 \times 10^{-13} \times T_{\frac{1}{2}}(\text{秒}) \times \text{原子量}}$$

已知: ^{32}P 10毫克即0.01克, 原子量为32, 将14.3天化为秒 即 $T_{\frac{1}{2}} = 24 \times 3600 \times 14.3$ 代

入公式 居里 = $\frac{0.01}{0.88 \times 10^{-13} \times 14.3 \times 24 \times 3600 \times 32} = 2874.4 \text{ 居里}$

或用公式, λN 计算。

因为 $\lambda = \frac{0.693}{T_{\frac{1}{2}}}$ $N = \frac{Na}{A}$

N 为1克放射性元素的原子数, 其中 $Na = 6.02 \times 10^{23}$, $A = 32$ 代入公式

$$\text{放射性强度} = \frac{0.693}{T_{\frac{1}{2}}} \times \frac{\text{克} \times Na}{A}$$

$$= \frac{0.693}{14.3 \times 24 \times 3600} \times \frac{0.01 \times 6.02 \times 10^{23}}{32}$$

$$= 1.0561 \times 10^{14} \text{ 衰变/秒}$$

已知1居里 $= 3.7 \times 10^{10}$ 次衰变/秒

所以, $1.0561 \times 10^{14} \div 3.7 \times 10^{10} = 2874.4$ 居里

2. 某医院使用 $^{113}\text{Sn} - ^{113\text{m}}\text{In}$ 发生器, 已知 ^{113}Sn 放射性强度为2毫居里, 试问

(1) 一次最多能分离多少毫居里 $^{113\text{m}}\text{In}$?

(2) 第一次分离完毕后, 如相隔2小时再次淋洗, 此时最多能得到多少毫居里的 $^{113\text{m}}\text{In}$?

(1) 一次最多分离 $^{113\text{m}}\text{In}$?

根据 $^{113}\text{Sn} - ^{113\text{m}}\text{In}$ 发生器达到长期平衡时, 即 $e^{-\lambda t}$ 近似等于零则

$$I_2 = I_1, \text{ 已知 } I_1 = 2 \text{ 毫居里}$$

$$I_2 = 2 \text{ 毫居里}$$

(2) 相隔2小时能分离出多少 $^{113\text{m}}\text{In}$?

$$\text{根据公式: } I_2 = I_1(1 - e^{-\lambda t})$$

$$\text{已知: } I_1 = 2 \text{ 毫居里, } \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}} = 1.2, \text{ 查表 } e^{-\lambda t} = 0.4353,$$

$$\text{代入公式 } I_2 = 2 \times (1 - 0.4352)$$

$$= 1.13 \text{ 毫居里}$$

($I_1 = ^{113}\text{Sn}$ 放射性强度; $I_2 =$ 所求 $^{113\text{m}}\text{In}$ 放射性强度)

3. 当 $^{99}\text{Mo} - ^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器达到暂时平衡, 此时有100毫居里 ^{99}Mo , 试问:

(1) 如果洗脱效率为70%, 此时能洗脱出多少毫居里的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$?

(2) 如果洗脱效率为100%, 一次洗脱后, 隔多少小时能洗脱出最多量的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$?

(1) 洗脱效率为70%时, 可洗脱 $^{99\text{m}}\text{Tc}$

$$\text{根据公式: } I_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot I_1$$

$$\text{已知: } I_1 = 100, \lambda_1 = \frac{0.693}{67}, \lambda_2 = \frac{0.693}{6.02}, \text{ 由于 } ^{99}\text{Mo} \text{ 值 } 87.6\% \text{ 衰变成 } ^{99\text{m}}\text{Tc}$$

代入公式:

$$I_2 = \frac{0.693}{6.02} \times 100 \times 0.876 = 96.4 \text{ 毫居里}$$

$$\frac{0.693}{6.02} - \frac{0.693}{67}$$

$$\text{效率为 } 70\% \text{ 时 } I_2 = 96.4 \times 70\% = 67.5 \text{ 毫居里}$$

(2) 洗脱效率100%, 获得最多量 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 需相隔的时间: