

高等医药院校规划教材

供临床医学、预防医学、基础医学、口腔医学、麻醉、医学影像学、药学、药物制剂、检验、
护理、法医、医学影像技术、医学信息工程等专业使用

医学物理学

学习指导

主编 叶福丽 鲍艳 赵元

YIXUE WULIXUE
XUEXI ZHIDAO



科学出版社

高等医药院校规划教材

供临床医学、预防医学、基础医学、口腔医学、麻醉、医学影像学、医学影像技术、药学、药物制剂、检验、护理、法医、医学影像技术、医学信息工程等专业使用

医学物理学学习指导

YIXUE WULIXUE XUEXI ZHIDAO

主 编 叶福丽 鲍 艳 赵 元

副主编 朱 蕤 张 玲 董秀梅

编 者 (以姓氏笔画为序)

叶福丽 史贵连 朱 蕤 李义兵

张 玲 范 灼 赵 元 彭 微

董秀梅 鲍 艳

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是高等医药院校规划教材《医学物理学》的配套教辅,全书共13章,每章包括教学基本要求、知识要点、解题指导、教材习题解答、自我评估和自我评估参考答案。书后附有10套模拟测试题。本书主要帮助学生总结教材的主要知识点以及教学的重点和难点,注重训练学生对基本概念和基本规律的理解和运用,培养学生分析问题、解决问题的能力。

本书可供高等医药院校及综合性大学的临床医学、预防医学、基础医学、口腔医学、麻醉、医学影像学、医学影像技术、药学、药物制剂、检验、护理、法医、医学信息工程等本科专业的学生使用,也可作为广大教师的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

医学物理学学习指导/叶福丽,鲍艳,赵元主编. —北京:科学出版社,2017.6
高等医药院校规划教材

ISBN 978-7-03-052897-1

I. 医… II. ①叶… ②鲍… ③赵… III. 医用物理学-医学院校-教学参考资料 IV. R312

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第113083号

责任编辑:池 静/ 责任校对:张凤琴
责任印制:赵 博 / 封面设计:张佩战

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717
<http://www.sciencep.com>

三河市宏图印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16
2017年6月第一次印刷 印张:21
字数:497 000

定价:43.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前言

《医学物理学》是高等医药院校一门重要的基础理论课程。为帮助学生进行课后的复习总结和练习、培养学生自学能力、提高学生分析问题和解决问题的能力、帮助学生提高学习效率,以便学生用较少的时间掌握较多的现代医学所需要的物理知识,我们根据医学物理学课程的基本要求和高等医药院校的实际情况,编写了《医学物理学学习指导》,与赵元、叶福丽主编的《医学物理学》配套使用。

本书紧扣主教材,其章节顺序与主教材相同,以方便读者使用。全书共13章,每章又分为基本要求、知识要点、解题指导、教材习题解答、自我评估和自我评估参考答案六个部分。“基本要求”部分让学生明白本章的学习目的;“知识要点”部分引导学生掌握本章的基本内容;“解题指导”部分总结解题的思路和方法,讨论解题技巧;“教材习题解答”部分对主教材《医学物理学》各章的习题给出详细的参考答案;“自我评估”供学生自学和教师教学参考使用。同时还附了十套模拟测试题及参考答案。本书适合高等医药院校各专业学生使用,是学生学习《医学物理学》的有力工具,对于教师是一本很有价值的教学参考书。

在编写本书过程中,我们得到湖北科技学院生物医学工程学院领导及科学出版社的大力支持和帮助,并得到了同行们许多很好的建议,在此对他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中若有不妥之处,恳切希望使用本书的师生给予批评指正。

编者

2017年4月

目 录

第 1 章 原子核与放射性	1
一、基本要求.....	1
二、知识要点.....	1
三、解题指导.....	5
四、教材习题解答.....	6
五、自我评估.....	10
六、自我评估参考答案.....	12
第 2 章 激光及其医学应用	16
一、基本要求.....	16
二、知识要点.....	16
三、解题指导.....	18
四、教材习题解答.....	18
五、自我评估.....	21
六、自我评估参考答案.....	22
第 3 章 X 射线	24
一、基本要求.....	24
二、知识要点.....	24
三、解题指导.....	27
四、教材习题解答.....	27
五、自我评估.....	29
六、自我评估参考答案.....	32
第 4 章 振动与波	35
一、基本要求.....	35
二、知识要点.....	35
三、解题指导.....	39
四、教材习题解答.....	43
五、自我评估.....	47
六、自我评估参考答案.....	54

第5章 声和超声	63
一、基本要求.....	63
二、知识要点.....	63
三、解题指导.....	66
四、教材习题解答.....	67
五、自我评估.....	70
六、自我评估参考答案.....	80
第6章 分子动理论	87
一、基本要求.....	87
二、知识要点.....	87
三、解题指导.....	91
四、教材习题解答.....	96
五、自我评估.....	98
六、自我评估参考答案.....	105
第7章 流体的运动	112
一、基本要求.....	112
二、知识要点.....	112
三、解题指导.....	114
四、教材习题解答.....	118
五、自我评估.....	120
六、自我评估参考答案.....	126
第8章 力学基础	134
一、基本要求.....	134
二、知识要点.....	134
三、解题指导.....	138
四、教材习题解答.....	142
五、自我评估.....	143
六、自我评估参考答案.....	151
第9章 静电场	158
一、基本要求.....	158
二、知识要点.....	158
三、解题指导.....	162
四、教材习题解答.....	167
五、自我评估.....	170
六、自我评估参考答案.....	179

第 10 章 直流电	187
一、基本要求.....	187
二、知识要点.....	187
三、解题指导.....	189
四、教材习题解答.....	192
五、自我评估.....	194
六、自我评估参考答案.....	200
第 11 章 磁场与电磁感应	210
一、基本要求.....	210
二、知识要点.....	210
三、解题指导.....	213
四、教材习题解答.....	214
五、自我评估.....	218
六、自我评估参考答案.....	226
第 12 章 波动光学	230
一、基本要求.....	230
二、知识要点.....	230
三、解题指导.....	234
四、教材习题解答.....	237
五、自我评估.....	239
六、自我评估参考答案.....	250
第 13 章 几何光学	258
一、基本要求.....	258
二、知识要点.....	258
三、解题指导.....	260
四、教材习题解答.....	264
五、自我评估.....	266
六、自我评估参考答案.....	271
模拟测试题	280
模拟测试题 1.....	280
模拟测试题 1 参考答案.....	282
模拟测试题 2.....	286
模拟测试题 2 参考答案.....	288
模拟测试题 3.....	291
模拟测试题 3 参考答案.....	292

模拟测试题 4	295
模拟测试题 4 参考答案	297
模拟测试题 5	301
模拟测试题 5 参考答案	303
模拟测试题 6	306
模拟测试题 6 参考答案	308
模拟测试题 7	311
模拟测试题 7 参考答案	313
模拟测试题 8	316
模拟测试题 8 参考答案	317
模拟测试题 9	320
模拟测试题 9 参考答案	321
模拟测试题 10	324
模拟测试题 10 参考答案	326
参考文献	328

第 1 章 原子核与放射性

一、基本要求

- (1) 掌握核素、核力、原子结合能、半衰期、放射性活度的概念。
- (2) 掌握放射性原子核的衰变类型和衰变规律。
- (3) 理解原子核的基本性质、射线及光子与物质的相互作用的形式。
- (4) 了解辐射剂量相关的概念及其安全防护。
- (5) 了解放射性核素的医学应用。

二、知识要点

(一) 原子核的基本性质

(1) 原子核组成：原子核带正电并具有一定质量，由核子（质子 p 和中子 n）组成。原子核的形状近似球形，半径 $1.2 \times 10^{-15} \text{m}$ 。原子核的质量可用原子质量单位量度， $1\text{u} = 1.6605402 \times 10^{-27} \text{kg}$ ，原子核的密度为 $\rho = 2.3 \times 10^{17} \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

(2) 放射性核素和同位素：质子数相同，中子数也相同，且具有相同的运动状态的一类原子核称为一种核素。质子数相同而中子数不同的核素，彼此称为同位素，同位素具有相同的化学性质。

(3) 同核异能素和同量异位素：原子核与原子一样具有分立的能级，原子核可以处在不同的能量状态，在一定条件下，可以产生能级跃迁。质子数和中子数都相同，但能量状态不同的核素称为同核异能素；质子数不同而质量数相同的核素称为同量异位素。

(4) 结合能、比结合能和核的稳定性。

核子结合成原子核时有质量亏损，表明在结合过程中有能量释放。放出的能量称为原子核的结合能。比结合能即每个核子的平均结合能： $\varepsilon = \frac{\Delta E}{A}$ 。

比结合能的大小反映了原子核的稳定性，中等质量的原子核最稳定，重核不稳定；核的稳定性还与核内质子数与中子数的奇偶性有关，偶偶核最稳定，质子与中子的比例失调，原子核也不稳定。

(二) 放射性核素的衰变类型

(1) 放射性衰变：放射性核素自发地蜕变，变为另外一种核素，同时放出各种射线，这种现象称为放射性衰变。

核衰变遵循质量守恒定律、能量守恒定律、动量守恒定律、电荷守恒定律。

(2) 原子核衰变类型： α 衰变、 β 衰变、 γ 衰变和内转换。

① α 衰变：放射性核素的原子核放射出 α 粒子而衰变为另一种原子核的过程。 α 衰变方程式： ${}^A_Z X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} Y + {}^4_2 \text{He} + Q$ 。

② β 衰变：分为 β^+ 衰变、 β^- 衰变和电子俘获。

β^- 衰变：放射性核素的原子核放射出负电子而衰变为另一种原子核的过程，同时伴有反中微子 $\bar{\nu}_e$ 放出。

β^- 衰变方程式： ${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z+1} Y + {}^0_{-1} e + \bar{\nu}_e + Q$ 。

β^+ 衰变：放射性核素的原子核放射出正电子而衰变为另一种原子核的过程，同时伴有中微子 ν_e 放出，叫做 β^+ 衰变。 β^+ 衰变方程式： ${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z-1} Y + {}^0_{+1} e + \nu_e + Q$ 。

电子俘获：放射性核素的原子核俘获一个核外电子，使核中的一个质子转变为一个中子，从而衰变为另一种原子核的过程。电子俘获衰变方程式： ${}^A_Z X + {}^0_{-1} e \rightarrow {}^A_{Z-1} Y + \nu_e + Q$ 。

③ γ 衰变：当原子核发生 α 衰变或 β 衰变时，往往衰变为不稳定的激发态子核。要向低激发态或基态跃迁，同时放出 γ 光子。

④ 内转换：原子核的衰变能也可以直接传递给核外电子，使电子从原子中飞出，这种现象叫做内转换，发射的电子叫内转换电子。

(三) 放射性核素的衰变规律

(1) 原子核的衰变规律： $N = N_0 e^{-\lambda t}$ ， $N = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{T} t} = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{t/T}$ 。

(2) 半衰期 T 。

① 物理半衰期 T ：放射性核素衰变到原来数目一半时所用的时间叫物理半衰期。它是用来表示放射性核素衰变快慢的物理量， $T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$ 。

② 生物半衰期 T_b ：单纯通过生物体的代谢而排出体外，使放射性核素减少一半所需的时间， $T_b = \frac{\ln 2}{\lambda_b} = \frac{0.693}{\lambda_b}$ 。

③ 有效半衰期 T_e ：是同时考虑物理半衰期和生物半衰期，使放射性核素在体内减少一半所需的时间， $T_e = \frac{0.693}{\lambda_b}$ ， $\frac{1}{T_e} = \frac{1}{T_b} + \frac{1}{T}$ 。

(3) 平均寿命 τ ：是一个反映放射性核素衰变快慢的物理量，它具体是指某种放射性核平均存在的时间， $\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{\ln 2} = 1.44T$ 。

(4) 放射性活度 A ：指在单位时间内发生放射性核衰变的数目，

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N = A_0 e^{-\lambda t} = A_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{t/T}$$

A_0 和 A 分别代表初始时刻和 t 时刻的放射性活度。

(四) 射线与物质的相互作用

1. 电离和激发

具有足够能量的带电粒子与核外电子碰撞时，可以使核外电子脱离原子核的束缚产生自由电子和正离子（离子对）的过程称为电离。能量不足的带电粒子与核外电子作用时，使电子跃迁至高能级的过程则为激发。处于激发态的原子自发地回到基态并释放能量的过程称为退激。

2. 散射和轫致辐射

带电粒子通过物质时，和原子碰撞，使电子速度减慢且改变运动方向，这种现象称为散

射。带电粒子通过物质时，因受到原子核电场的作用，其速度突然减小，运动方向，损失的能量以电磁波的形式辐射出来，这种辐射称为轫致辐射。

3. 射程和吸收规律

带电粒子与物质作用时将能量释放在物质中的现象称为吸收。粒子被吸收前的运动轨迹的长度称为路程，其沿入射方向的直线距离则为射程。比电离值越大，粒子的能量损失越快，射程就越短。

4. 光子与物质的相互作用

相互作用的方式主要有三种：光电效应、康普顿效应和电子对效应。

(1) 光电效应：光子与核外电子作用，将全部能量传递给电子，使该电子脱离原子，而光子本身消失，这种作用方式称为光电效应，脱离原子的电子称为光电子。当光子能量等于或略大于脱出功时，发生光电效应的概率最大。

(2) 康普顿效应：当能量较高的光子和核外电子相互作用时，光子只损失一部分能量，光子的能量和运动方向都发生改变，电子获得能量而脱离原子的过程称为康普顿效应。发生康普顿效应的概率与原子中电子的数目成正比。康普顿效应是光子与原子中电子发生弹性碰撞的结果。

(3) 电子对效应：能量大于 1.022MeV 的入射光子在原子核电场作用下转化为一对沿相反方向飞行的正、负电子对，多余的能量成为电子对动能，这种作用方式称为电子对效应。

光子与物质作用的主要方式的发生概率与光子能量和物质原子序数有关。对低能光子能量，光电效应占优势；对高能光子，电子对效应占优势；对中等能量光子，康普顿效应占优势。

5. 中子与物质的相互作用：散射和核反应

1) 散射

散射分为：弹性散射和非弹性散射。

中子与原子核作用时部分能量传递给原子核，运动方向和速度发生改变，同时引起原子核反冲，这种作用称为弹性散射。低能的中子与轻核作用时主要发生弹性散射。

高能中子穿过原子核与其相互作用时运动方向改变，把一部分能量传递给原子核使其处于激发态，随后原子核退激而放出 γ 射线，这时出射的中子和原子核的总动量不再守恒，这种现象称为非弹性散射。

2) 核反应

中子不受原子核电场的作用，它很容易被原子核俘获而引起剧烈的核反应，放出 γ 射线和其他粒子的过程称为中子俘获。

中子俘获分为：中子俘获反应 (n, γ)、电荷交换反应 (n, p)、发生 α 粒子 (n, α)、发生核裂变四种。

(五) 辐射剂量与防护

1. 射线的辐射剂量

① 照射量 X 和照射量率 \dot{X} ：当 X 射线或 γ 射线的光子在单位质量的空气中产生的所有次级电子完全被空气阻止时，在空气中所形成的任何一种符号离子总电荷量的绝对值，称为照射量，

$$X = \frac{dQ}{dm}。$$

照射量率指单位时间内的照射量的增量，可表示为 $\dot{X} = \frac{dE}{dt}$ 。

② 吸收剂量 D ：单位质量的被照射物体吸收的电离辐射的能量称为吸收剂量， $D = dE/dm$ ，国际单位是 Gy（戈瑞）， $1\text{Gy} = 1\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

注意：吸收剂量适用于任何类型、任何能量的电离辐射以及受照射的任何物质，并适用于内、外照射。谈及吸收剂量时，须指明是哪种辐射对何种物质的特定位置造成的吸收剂量。

③ 比释动能 K ：是指 E_T 不带电粒子在质量为 dm 的介质中释放的全部带电粒子的初始动能总和 $dE_{T,R}$ ，即 $K = \frac{dE_{T,R}}{dm}$ 。

比释动能反映不带电粒子把多少能量交给了带电粒子。适用于间接致电离辐射，但适用于任何物质，使用时也必须指明相关物质和所在的位置。

④ 当量剂量 $H_{T,R}$ ：等于某一组织或器官 T 所受到的平均吸收剂量 $D_{T,R}$ 与辐射权重因子 W_R 的乘积，即 $H_{T,R} = D_{T,R} W_R$ 。

⑤ 有效剂量 E ：指全身受照射时体内各组织与器官的当量剂量与相应的组织权重因数乘积的和，即 $E = \sum_T W_T \cdot H_{T,R} = \sum_T W_T \cdot \sum_R W_R \cdot D_{T,R}$ 。

2. 放射生物效应

人体组织吸收电离辐射能量后会产生物理、化学和生物学的变化，导致生物组织的损伤，称为放射生物效应。

1) 照射方式

照射方式分为：外照射和内照射，外照射又分为局部照射和全身照射。

辐射源由体外照射人体称为外照射；当外照射身体的某一部位时，引起局部细胞的反应者称局部照射；当全身均匀地或非均匀地受到照射而产生全身效应时称为全身照射。

将放射性物质通过各种途径引入机体的照射方式称为内照射。

2) 放射损伤的类型

按照射剂量率分：急性效应和慢性效应。

按效应出现的时间分：早期效应和远期效应。

按效应表现的个体分：躯体效应和遗传效应。

按效应的发生和照射剂量的关系分：确定性效应和随机性效应。

电离辐射还会诱发旁效应，旁效应是指未直接受照射的细胞产生与受照射细胞相同或相似的辐射生物效应的现象。

3) 影响辐射生物学效应的因素



3. 辐射防护

(1) 辐射防护的目的：辐射防护的目的就是在不过分限制照射的有益实践的基础上，防止有害的确定性效应的发生，并将随机性效应的发生降到可接受的水平，使人员的受照剂量和危险保持在能合理达到的尽可能低的水平。

(2) 辐射防护的三原则：正当性、最优化和个人剂量限值。正当性即权衡利弊，只有利大于弊的实践才被认为是正当的；最优化是要求将受照射降低到可合理达到的尽可能低的水平；个人剂量限值是对受控源实践中个人受到的有效剂量或当量剂量不得超过的数值；个人剂量限值是与个人相关的保证个人受到的照射不发生确定性效应，但对随机性效应只能保证剂量限制在可以接受的水平，不能保证随机效应不发生。

(3) 辐射防护的基本方法。

① 外照射防护基本措施：外照射防护的基本方法是时间防护、空间防护和屏蔽防护。

② 内照射防护的基本方法：内照射防护的一般方法有预防性防护、排污技术和废物处理技术等。

预防性防护指采用围封和隔离措施防止污染扩散。

排污技术是指严格按照操作规程，尽可能防止和减少表面放射性污染的发生，对已发生的污染要及时采取适当的措施去除表面污染，防止污染扩散。

三、解题指导

例 1 将放射性活度为 200Bq 的放射性钠溶液注入患者血管， 30h 后抽出 1cm^3 血液，测得其计数为每分钟 0.5 个核衰变。若钠的半衰期为 15h ，在不考虑代谢的情况下，估算出患者的全身血量。

解 放射性钠注入患者 30h 后的放射性活度为

$$A = A_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} = 200 \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{30}{15}} \text{Bq} = 200 \times \left(\frac{1}{2}\right)^2 \text{Bq} = 50\text{Bq}$$

设患者的全身血量为 x ，则

$$\frac{1\text{cm}^3}{\frac{0.5}{60}\text{Bq}} = \frac{x}{50\text{Bq}}$$

得

$$x = \frac{50}{0.5} \times 60\text{cm}^3 = 6000\text{cm}^3$$

例 2 ^{60}Co - γ 刀初装时钴源活度为 6040Ci ，钴源半衰期为 5.27a （年），使用 7.61a 后钴源的活度还剩多少 Bq ？其平均寿命为多少年？（ $1\text{Ci} = 3.7 \times 10^{10}\text{Bq} = 3.7 \times 10^4\text{MBq} = 37\text{GBq} = 3.7 \times 10^{-3}\text{TBq}$ 。）

解 $A_0 = 6040 \times 3.7 \times 10^{10}\text{Bq} \approx 22.35 \times 10^{13}\text{Bq} \approx 224\text{TBq}$

钴源的衰变常数

$$\lambda = \frac{0.693}{T} = \frac{0.693}{5.27} \approx 0.131(\text{a}^{-1})$$

所以 7.61 年后的活度

$$A = A_0 e^{-\lambda t} = 224 \times e^{-0.131 \times 7.61} \approx 224 \times \frac{1}{e} \approx 81.75(\text{TBq})$$

钴源的平均寿命

$$\tau = \frac{T}{0.693} = 1.44T = 1.44 \times 5.27\text{a} \approx 7.6\text{a}$$

四、教材习题解答

1-1 如果原子核半径公式为 $R = 1.2 \times 10^{-15} A^{1/3}$ (A 为质量数), 试计算: ①核物质的密度; ②核物质单位体积内的核子数。

解 ① 把原子核看成球形, 其平均密度 ρ 为

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^{3A}} = \frac{Au}{\frac{4}{3}\pi R^{3A}} \approx \frac{3u}{4\pi(1.2 \times 10^{-15})^3} \approx 2.3 \times 10^{17} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

② 单位体积内核子的个数

$$\frac{2.3 \times 10^{17}}{1.660566 \times 10^{-27}} \text{ 个} = 1.385 \times 10^{44} \text{ 个}$$

1-2 试计算 ${}^{12}_6\text{C}$ 的结合能和平均结合能 (以 MeV 为单位)。

解 ${}^{12}_6\text{C}$ 核的质量为 12u , 质子质量为 1.007276u , 中子质量为 1.008665u , 所以结合成氦原子核的质量亏损为

$$\Delta m = 6(m_p + m_n) - m_\alpha = 6(1.007276 + 1.008665) - 12 = 0.095646\text{u}$$

结合能为

$$\Delta E = 931.5\Delta m = 931.5 \times 0.095646\text{MeV} \approx 89.0942\text{MeV}$$

平均结合能为

$$\varepsilon = \frac{\Delta E}{A} = \frac{89.0942}{12} \text{MeV/个} = 7.425\text{MeV/个}$$

1-3 名词解释: 同位素、核力、原子结合能、比结合能、半衰期、放射性活度。

答 同位素: 质子数相同而中子数不同的核素, 彼此称为同位素。

同核异能素: 质子数和中子数都相同, 但能量状态不同的核素称为同核异能素。

核力: 由于核中质子间的距离非常小, 它们之间的库仑斥力很大, 所以必然存在一种很强的引力把所有核子结合在极小的空间内, 这种力不是电磁力, 也不是万有引力, 而是一种新生的力, 这种核子之间存在的特殊引力称为核力。

核的结合能: 核子结合成原子核时有质量亏损, 表明在结合过程中有能量释放。放出的能量称为原子核的结合能。

比结合能: 即每个核子的平均结合能 $\varepsilon = \frac{\Delta E}{A}$ 。

半衰期: 是指放射性原子核衰变至其原有核数的一半所需的时间。

放射性活度: 是指放射性核素在单位时间内发生衰变的核数, 它反映放射性的强弱。

1-4 核衰变的类型有哪些? 什么是电子俘获和内转换? 它们有什么区别?

答 原子核衰变类型: α 衰变、 β 衰变、 γ 衰变和内转换。 β 衰变又分为 β^+ 衰变、 β^- 衰变和电子俘获。

电子俘获: 放射性核素的原子核俘获一个核外电子, 使核中的一个质子转变为一个中子, 从而衰变为另一种原子核的过程。原子核的衰变能也可以直接传递给核外的电子, 使电子从原子中飞出, 这种现象叫做内转换, 发射的电子叫内转换电子。

电子俘获和内转换的区别: 电子俘获是属于 β 衰变的类型, 是原子核获得核外电子而引发的核衰变。内转换是原子核内放出的 γ 射线的能量被核外电子获得而飞出原子。

1-5 β 衰变中 β 射线的能谱为什么是连续的?

答 由于在 β 衰变过程中有中微子参与, 衰变所放出的能量将在电子、中微子和子核之间任意分配, 所以 β 衰变的能量谱是连续的, 即发出的电子的能量可以取从0到某一最大值 E_{\max} 之间的任何数值。

1-6 ${}_{15}^{32}\text{P}$ 的半衰期是14.3d, 求它的衰变常数和平均寿命?

解 因

$$T = \frac{0.693}{\lambda}, \quad \tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{0.693}$$

故

$$\lambda = \frac{0.693}{T} = \frac{0.693}{14.3 \times 24 \times 60 \times 60} \text{s}^{-1} = 5.61 \times 10^{-7} \text{s}^{-1}$$

$$\tau = \frac{1}{5.61 \times 10^{-7}} \text{s} = 1782531.2 \text{s} = 20.63 \text{d} \quad \text{或} \quad \tau = \frac{14.3}{0.693} \text{d} = 20.63 \text{d}$$

1-7 $1\mu\text{g}$ 纯 ${}_{15}^{32}\text{P}$ 的放射性活度是多少 Ci? 经过多少天 ${}_{15}^{32}\text{P}$ 样品的放射性活度衰变到原来的1/8? (${}_{15}^{32}\text{P}$ 的半衰期是14.3d.)

解 $1\mu\text{g}$ 纯 ${}_{15}^{32}\text{P}$ 的核素个数

$$N_0 = \frac{m}{M} N_A = \frac{1 \times 10^{-6}}{32} \times 6.02 \times 10^{23} \text{个} = 1.88 \times 10^{16} \text{个}$$

衰变常数

$$\lambda = \frac{0.693}{T} = \frac{0.693}{14.3 \times 24 \times 3600} \text{s}^{-1} = 5.609 \times 10^{-7} \text{s}^{-1}$$

放射性活度

$$A_0 = \lambda N_0 = 5.609 \times 10^{-7} \times 1.88 \times 10^{16} \text{Bq} \approx 1.054 \times 10^{10} \text{Bq}$$

即

$$A_0 = \frac{1.054 \times 10^{10}}{3.7 \times 10^{10}} \text{Ci} \approx 0.2548 \text{Ci}$$

衰变1/8时由

$$\frac{1}{8} A_0 = A_0 e^{-\lambda t}$$

得

$$\frac{1}{8} = e^{-\lambda t}$$

所以

$$t = \frac{\ln \frac{1}{8}}{-5.609 \times 10^{-7}} \text{s} = \frac{-2.079}{-5.609 \times 10^{-7}} \text{s} = 3.707 \times 10^6 \text{s} = 42.9 \text{d}$$

1-8 $1 \text{g } {}^{226}_{88}\text{Ra}$ 的放射性活度为 0.98Ci , 求 ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ 的半衰期为多少年? ($1 \text{a} = 3.1536 \times 10^7 \text{s}$.)

解 $1 \text{g } {}^{226}_{88}\text{Ra}$ 的个数为

$$N = \frac{m}{M} N_A = \frac{1}{226} \times 6.02 \times 10^{23} \text{个} \approx 2.664 \times 10^{21} \text{个}$$

${}^{226}_{88}\text{Ra}$ 的活度

$$A = 0.98 \text{Ci} = 0.98 \times 3.7 \times 10^{10} \text{Bq} = 3.626 \times 10^{10} \text{Bq}$$

因

$$A = \lambda N$$

所以 ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ 的半衰期为

$$T = \frac{0.693}{\lambda} = 0.693 \times \frac{N}{A} = 0.693 \times \frac{2.664 \times 10^{21}}{3.626 \times 10^{10}} \text{s} = 5.09 \times 10^{10} \text{s} = 1614 \text{a}$$

1-9 某一放射性核素的数量为 N_0 , 经过 24h 后衰变为原来的 $1/8$, 问该放射性核素的半衰期是多少?

解 由 $\frac{1}{8} N_0 = N_0 e^{-\lambda t}$, 得

$$\lambda = \frac{\ln \frac{1}{8}}{-24} \text{h}^{-1} = \frac{-2.079}{-24} \text{h}^{-1}$$

放射性核素的半衰期为

$$T = \frac{0.693}{\lambda} = \frac{0.693 \times 24}{2.079} \text{h} = 8 \text{h}$$

1-10 在肾图检查中可静脉注射 ${}^{15}_9\text{F}$, 它的物理半衰期为 110min , 有效半衰期为 108.8min , 其生物半衰期是多少?

解 由 $\frac{1}{T_e} = \frac{1}{T_b} + \frac{1}{T}$, 得

$$\frac{1}{T_b} = \frac{1}{T_e} - \frac{1}{T}$$

所以

$$T_b = \frac{TT_e}{T - T_e} = \frac{110 \times 108.8}{110 - 108.8} \text{min} \approx 9973.3 \text{min} \approx 166.2 \text{h}$$

1-11 带电粒子与物质的相互作用方式有几种? 光子与物质又有哪些作用? 中子与物质有哪些作用?

答 带电粒子与物质的相互作用方式有四种: ①带电粒子与靶原子的核外电子发生非弹性碰撞(电离和激发); ②带电粒子与靶原子的核外电子发生弹性碰撞(带电粒子能量极低时, 与原子核的弹性碰撞只传递小部分能量, 不足以改变核外电子的能量状态。相当于带电粒子与整个靶原子的相互作用); ③带电粒子与靶原子核发生弹性碰撞(弹性散射); ④带电粒子

与靶原子核发生非弹性碰撞（非弹性散射和韧致辐射）；

1-12 名词解释：韧致辐射、射程、康普顿效应、电子对生成、电子对湮没、电离辐射。

答 韧致辐射： β 粒子与原子核的静电力作用时突然减速，并以光子的形式释放出能量的现象。

射程：粒子被吸收前（即能量耗尽留在介质中）沿入射方向走过的直线距离。

康普顿效应：当能量较高的光子和原子内的一个轨道电子发生相互作用时，光子只损失一部分能量，并改变原来的运动方向，而且光子的频率也发生变化，电子获得能量而脱离原子，这个过程称为康普顿效应。

电子对生成：能量大于 1.022MeV 的入射光子在原子核的电场作用下，其能量可能被全部吸收而转化为一对正、负电子对的作用方式。

电子对湮没：正电子与物质中的一个电子相互作用，电子对完全湮没而产生一对能量均为 0.511MeV ，且沿相反的方向飞行的光子对的现象。

电离辐射：指能量高、能够使物质发生电离的辐射。

1-13 什么是照射量、吸收剂量、当量剂量和比释动能？它们分别用于什么情况？

答 照射量：指 X (γ) 射线的光子在单位质量 dm 的干燥空气中释放出的所有次级电子，当它们完全被阻止在空气中时，在空气中产生的同种符号的离子的总电荷量的绝对值 dQ （不包括因吸收次级电子发射的韧致辐射而产生的电离）与 dm 的比值。

只适用于描述光子射线在空气介质中的电离能力，且由于照射量的测量技术，仅对光子能量处于 $10\text{keV}\sim 3\text{MeV}$ 范围内的 X (γ) 射线适用。

吸收剂量：是指电离辐射授予单位质量的靶物质（或单位质量物质）所吸收的任何电离辐射的平均能量 dE 。

吸收剂量适用于任何类型、任何能量的电离辐射及受照射的任何物质，并适用于内、外照射。但谈及吸收剂量时，必须指明是哪种辐射对何种物质的特定位置造成的吸收剂量。

当量剂量：等于某一组织或器官 T 所受到的平均吸收剂量 $D_{T,R}$ 与辐射权重因子 W_R 的乘积。

当量剂量只限于在辐射防护所涉及的剂量范围内在单个器官或组织受辐照时使用。

比释动能：是指不带电粒子在质量为 dm 的介质中释放的全部带电粒子的初始动能总和 $dE_{T,R}$ 。

比释动能只适用于间接致电离辐射，但适用于任何物质，使用时也必须指明相关物质和所在位置。

1-14 简述辐射防护的目的和原则。

答 辐射防护的目的：在不过分限制对人类产生照射的有益实践的基础上，有效地保护人类健康，防止有害的确定性效应的发生，并将随机性效应的发生降低到可接受的水平，使人员的受照剂量和危险保持在能合理达到的尽可能低的水平。

辐射防护的基本原则：正当性原则、最优化原则、个人剂量限值。

1-15 简述内、外照射的辐射防护的基本方法。

答 外照射防护基本方法：时间防护、空间防护和屏蔽防护。

内照射防护的基本方法：预防性防护、排污技术和废物处理技术等。

1-16 γ 照相机的探头由哪些部分构成？它们各起什么作用？