

《核辐射物理及探测学》后半学期口试题

各位同学，《核辐射物理及探测学》课程来到后半学期之后，愈发有了专业课的特点——要求既能准确理解知识点，又能对其进行综合运用，使看似繁杂的知识点交联成较为简洁的体系。根据课程内容，下面列出了 20 多个关于辐射探测学的问题供大家讨论。

说明：

- 请各组同学在 2022 年 12 月 28 日前完成口试。
- 口试时长 30 分钟，分组方法与上半学期口试相同。
- 在 30 分钟内，如果有 3 道题目无法正确回答，记为失败，需要再次口试。

以下为题目

1. 问题 01：形成全能峰的最后一个反应是什么？(6,9,12 章内容相关，下同)

问题描述：在测量 γ 能谱时，我们希望 γ 光子的全部能量都可以用来形成信号，然后在“全能峰”（全部光子能量的峰）那里形成贡献。如果，你现在面对的是一个 1.33MeV 的光子，并且最后在探测器输出的能谱中确实也看到了它的全能峰，请分析一下该全能峰可能的形成过程。解释一下：最后一步反应是谁？

2. 问题 02：随机性是如何“演变”为确定性的？(7,8,9,10,12)

问题描述：核辐射测量过程的各个环节都包含有随机性。例如：我们在测量活度时，放射源中每个原子核的衰变都是独立而随机的，那我们为什么又可以言之凿凿地说“测得某源的活度是多少多少”呢？又如：带电粒子在探测器介质内的电离过程是随机的，产生的载流子数目并不确定，每个载流子的产生都是随机的，可是为什么我们最终又能够以很好的分辨率（如半导体探测器）来形成全能峰呢？简而言之，微观过程总是难以免除随机性，那么宏观过程是如何变得越来越确定呢？

3. 问题 03：关于湮没辐射的问题？(6,12)

问题描述：在 γ 能谱中，我们通常可以看到 511keV 的湮没峰，它来自于一个正电子和一个负电子湮没后的 2 个 511keV γ 光子中的一个，那么，我们为什么几乎看不到 1.022MeV 的“湮没峰”呢？此外，看到湮没峰时，你认为正电子的产生方式可能是什么？

4. 问题 04^{选做}：为什么基于 MeV X-ray 的集装箱检测系统只能测量质量厚度信息？(6)

问题描述：在集装箱检测系统中，通常会用 6MeV 的电子与钨靶来制备轫致辐射，然后根据 6MV X-ray 的衰减量来分析集装箱内所藏匿物质的情况。但是基于 6MV X-ray 的透射成像技术，只能提取射线穿透路径上的集

装箱内物体的质量厚度，请问这是为什么？

5. 问题 05：为什么实测计数一定低于期望计数？(7,12)

问题描述：当我们用探测器来测量某个放射源（例如 ^{137}Cs ）的活度时，若期望计数率为 m ，实测计数率的期望值 n 一定比 m 小，请问这是为什么？

6. 问题 06：和峰的成因？(7,12)

问题描述：用 NaI (Tl) 探测器测某单能 γ 源，不妨认为是 ^{137}Cs 的 0.662MeV，通常，我们不仅能够看到 0.662MeV 的全能峰，还有可能看到 1.324MeV 的和峰，这是为什么？和峰是否可以完全消除呢？

7. 问题 07 ^{选做}：如何利用放射源来制备时钟？(7)

问题描述：若你拥有活度已知（大小可以“随心所欲”地设定）的放射源，以及本征效率已知、死时间很小（可忽略）的探测器和计数器，是否可以制备出一个比较精准的秒表来？

8. 问题 08：为什么气体探测器通常具有较好的 n/γ 区分能力？(6,8,13)

问题描述：气体探测器在测量中子和 γ 时，信号表现很不一样，前者幅度大，后者幅度小，这使得利用甄别阈来区分中子和 γ 变得很容易，算是气体探测器的天然优点，请问这是为什么？

9. 问题 9：探测器的电流形状是确定的吗？(8,9,10)

问题描述：从气体探测器开始，我们会学习 3 种探测器（气体探测器又可以分为：普通电离室、圆柱形电离室、屏栅电离室、正比计数器、G-M 管）。这些探测器都会将射线沉积在灵敏体积内的能量转换为电流。提问：

- 1) 电流的形状（不是幅度）是确定的吗？对哪些探测器可以认为是确定的，对哪些则不能认为是确定的？
- 2) 电流的形状若不定，则会对射线能量的分析造成什么影响？我们又是如何解决这个问题的？

10. 问题 10：什么是等效电路？(8,9,10)

问题描述：进入探测器的学习阶段之后，我们就免不了老提“等效电路”这个术语，那么构成等效电路的电阻、电容是哪些呢？这个电路有个冲击响应，可以由什么函数来描述呢？这个冲击响应又为什么会对一个探测器是工作在“脉冲”模式，还是工作在“累计”模式构成影响呢？

11. 问题 11：为什么正比计数器的输出信号幅度正比于射线沉积的能量？(8)

问题描述：在正比计数器中，我们用的 R_0C_0 并不大，也许只有几个微秒，而又知道正比计数器中是离子在做主要贡献，后者的弹道亏损问题应该是不能忽略的，那么为什么利用正比计数器还能测量射线的沉积能量——即 V 和 E_{dep} 之间还存在正比关系呢？

12. 问题 12：气体探测器 vs 闪烁探测器的 γ 探测效率？（8,9）

问题描述：气体探测器的 γ 探测效率通常不高，闪烁探测器的则可以很高，是什么原因导致了前者低、后者高呢？

13. 问题 13：为什么在测量能谱时，无机闪烁体的弹道亏损可以不考虑？（9）

问题描述：我们用无机闪烁体可以测量射线的沉积能量，此时一般 R_0C_0 选的和无机闪烁体的发光时间相当（对此你可以理解为电流持续时间和等效电路的时间常数是一样的），因此弹道亏损一定是存在的。但是，我们似乎并不担心由此而导致的能量测量问题（即输出信号的幅度和能量沉积之间的正比关系），为什么？

14. 问题 14：为什么闪烁探测器的能量分辨率通常最差？（9）

问题描述：众所周知，闪烁体探测器的探测效率可以说是最好的，但是它的能量分辨率却排在半导体、气体之后，几乎是最差的，这是为什么？

15. 问题 15：PN 结对于 Si 探测器的意义是什么？（10）

问题描述：在金硅面垒探测器中，PN 结的作用是巨大的，如果没有 PN 结，半导体探测器能量分辨率好的优点就不可能发挥出来，这其中具体的道理是什么呢？

16. 问题 16：相较于金硅面垒探测器，高纯锗探测器的效率为什么可以很高？（10）

问题描述：金硅面垒探测器通常只适合于测量重带电粒子和低能电子，对于高能 γ 射线其效率很低。但是，同样作为 PN 结型探测器的高纯锗，却可以实现很高的 γ 探测效率，道理是什么？

17. 问题 17：为什么半导体探测器的前置放大器的 R_0C_0 很大？（10）

问题描述：在半导体探测器中，前置放大器的时间常数 R_0C_0 通常会选择为毫秒这么大，这是为什么？如果不这样选择，可能会导致什么问题？

18. 问题 18：哪种探测器的等效电容是不确定的、而是随工作条件变化的？（8,9,10）

问题描述：在三种探测器中，等效电路中的 C_0 都可以被认为是由探测器自身的 C_1 ，分布电容 C' ，仪器的输入电容

C_i 共同构成的，看上去应该是确定不变的。但是有一种探测器，它的 C_1 是变的，导致了 C_0 也就变了。

这是哪种探测器， C_1 改变的原因是什么？

19. 问题 19：请列举出三种探测器在探测过程中所涉及的级联过程。（7, 8,9,10）

问题描述：在第七章的学习中，我们知道了大的数量往往意味着好的统计性（即相对涨落小），但这个结论对于级联变量并不成立，因为级联变量中的第二级过程虽然增加了数量，却实际上恶化了统计性（相对涨落增大）。

请你回顾下气体、闪烁和半导体探测器，列举出在这些探测器中的哪些过程涉及到了级联变量？

20. 问题 20：死时间校正的问题？（12）

问题描述：在一个用来测量核计数的探测器系统中，死时间是否必然存在？为什么？如果用 NaI 探测器去测量某 γ 源的计数，若全能峰的计数率为 10000cps，峰总比是 0.5，死时间为 10 μ s，则死时间校正因子是 1/0.9，对吗？如果有错，错在哪里？

21. 问题 21：真符合与偶然符合？（12）

问题描述：真符合发生的条件是什么？偶然符合能被完全消除吗？请分别解释其原因。

22. 问题 22：一个 γ 能谱里面有多少个可能的峰？（12）

问题描述：在 γ 能谱里面，你可能看到很多峰，都有什么峰呢？它们的成因分别是什么？

23. 问题 23：一个探测器的能谱形状，与计数率有关吗？（12）

问题描述：我们用 NaI(Tl)探测器来测量某 γ 射线源的能谱时，是否可以认为，所测 γ 能谱的形状，与源强是无关的？为什么？

24. 问题 24：在 γ 能谱的特征中，有哪些是与“逃逸现象”有关的？（12）

问题描述：在测量 γ 能谱时，我们会遇到很多种“逃逸现象”，请尽可能多地列举出由光子逃逸所致的能谱特征。

25. 问题 25：如何测量慢中子？（4, 13）

问题描述：在测量能量很低的慢中子时，例如 1eV 的中子，应该利用什么方法？可否用反冲法，为什么？

26. 问题 26：中子灵敏度的物理意义是什么？（13）

问题描述：在测量慢中子时，有个中子灵敏度的概念，请问它的量纲是什么？怎么理解它的物理意义？

27. 问题 27：如何测量快中子？（4，13）

问题描述：对于数 MeV 的快中子，通常应该怎么测？为什么不能沿用慢中子的测量方法了？

28. 问题 28^{选做}：中子的存活时间及分布函数(4,13)

问题描述：在 F.Reines 和 C.L. Cowan 开展的反电子中微子测量实验中，利用反电子中微子和质子产生了正电子和中子，通过正电子事件和中子事件的符合，确认了反电子中微子的存在。在这个过程中，正电子湮没的快，中子最终被 ^{113}Cd 俘获的慢，请分析一下，一个 1MeV 的中子在掺有一定浓度 ^{113}Cd 的溶液中的存活时间服从什么样的分布，平均寿命由什么决定？为了回答这个问题，需要用到第四章、第九章和第十三章的知识，大家需要先回顾课程文件中的第三章阅读材料(14)。