

第 10 届 CPHO-S 物理竞赛联考

试题评析

理论

这套题目的考试时间是在 7 月上旬，距离复赛还有比较长的时间。所以在一开始命题者们的命题思路是：强化试卷的训练作用，弱化试卷的检验和排位作用。所以这套题目整体风格上与总决赛有着不小的差距，同学们做起来感觉很不适应也是正常现象。此外，本套试题的目的之一也是希望可以给予考生一些打击，以敦促大家在暑假静下心来备战。

命题者们在命制这套试卷的目标是把这套卷子命制为一套风格新颖，具有大量的信息题的试卷。通过这套试卷，命题者们希望同学们解决信息题目的能力得到训练和提升；同时，为了应对总决赛命题风格再次突变的情况（虽然可能性比较小），命题者们希望同学们能从这套试卷中积累一些应对风格新颖试卷的经验。

一

命题思路

本题定位是简单题，并且在审题时删去了本题的简正模考察部分与主要计算部分——原第（2）问（这将在附件中给出），成为了更加简单的题。

阅卷情况

然而，仲裁发现，虽然仲裁给分标准较宽，但是本题得分情况也并没有想象的那么乐观，主要失分点是：

1. 把压电晶体当成纯电介质或纯弹簧（这样做答案中将不会出现 α ，不觉得这很奇怪吗）（题干说“可以视为平行板电容器”，没有说可以视为“内部仅为线性电介质”的平行板电容器）；
2. 落掉系数 2；
3. 没考虑磁场（这样做答案中将不会出现 B ，不觉得这很奇怪吗）；
4. 使用能量法，但写压电晶体的势能时把它看成弹性势能和静电能的叠加（实际上压电晶体的势能比这复杂，能量法解本题将在附件中给出）；
5. 解出的 ω_0 是虚数（没有能量损失，振动振幅为何会衰减？）。

总结

仲裁发现，本题的失分主要在分析和计算，因此给出以下建议：

在分析方面，一、应深入理解所学知识，明了各个公式的适用条件： $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$ 和 $\vec{P} = (\epsilon - \epsilon_0) \vec{E}$ 只在线性各向同性电介质中才成立，而 $\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho_f$ 和 $\vec{\nabla} \cdot \vec{P} = -\rho'$ 以及 $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$ 却是任意情况都适用的。二、应广泛学习，如在考试前对压电晶体有一定了解，本题分析出错率就大大降低了。三、所写式子都要有依据，不能凭感觉，比如，压电晶体的势能为什么就是弹性势能和静电能的叠加？

在计算方面，一、建议先分析问题，再把求解问题用到的所有方程工整地列出，然后才开始求解方程，不要看到一个地方能列方程就列一条，看到两条方程能消掉一个未知数就进行计算而把分析问题的思路搁在一边，这样容易漏方程，尤其是电磁感应的题。二、

做完之后，看看答案有什么不对的地方：题中有磁场，为什么答案中没有 B ？题中的压电方程中有 α ，为什么答案中没有 α ？

二

命题思路

本卷原有一道 80 分的几何光学大题，但由于该题是三维折射定律题，且要求十几个角度值，难度过大，因此，为平衡试卷难度，审题组建议更换该题，并要求笔者命制新的几何光学题。

于是，笔者思考，几何光学只是三定律、费马原理，几何关系，以及从中导出的各种成像公式吗？能够熟练运用这些知识并能将每条光线的轨迹计算得清清楚楚就掌握几何光学了吗？并不是。由于几何光学建立在光线这一抽象模型的基础上，因此，要想让几何光学理论指导实践，不仅要会算光线的轨迹，更要会从光线中分析空间中某个位置的人眼会看到什么，即理解“像”，还要能根据实际情况（包括人眼视角很小的概念）做合理近似。

于是，便有了本题。本题计算量不大，但考察考生是否理解不能理想成像的元件尺寸小将会意味着什么，将会对实际情况有怎样的影响，让作一条过 A 、一条过 O 的光线相交就得到像的同学得分极低。（类似的错误也发生在难题集萃下册几何光学题 4 的第 1 问的解答中）

阅卷情况

然而，仲裁发现，除了意料之中的主要失分点，还有两个主要失分点，现将三个主要失分点列举如下：

1. 未考虑到球面镜和球透镜不能理想成像及本题的元件尺寸小的问题，画两条相距很远并且明显其中一条不会经过元件的光线相交得到像的位置（意料之中）；
2. 用费马原理但没有正确近似到二阶小量（本题费马原理的正确解法将在附件中给出）；
3. 各种明显的计算错误，说“明显”是因为取 $\theta = 0$ 不能退化为标准的傍轴球面成像公式。

总结

首先，不出所料，仲裁发现的确有相当一部分同学作一条过 A 、一条过 O 的光线相交就得到像，对该问题的解释如下：

什么是“像”？对于发光物体上一点 S ，其发出无数条光线，这些光线组成一以 S 为中心的单心光束。这一光束经光学系统作用，即每条光线都经光学系统作用后，得到另一个光束。如该光束中进入人眼的部分是单心的，则人眼就会判断 S 成像于这部分光线的中心 S' 处。如果是准单心的，成像质量就受到影响。如果不是单心的，就成不了像。本题所用球面反射镜、球面折射镜在大角度范围内都不能成像，但我们知道满足傍轴近似条件时能够近似成像。但傍轴近似有两个条件，一是元件收到的光线和元件的交点分布范围远小于元件特征曲率半径，二是 $\angle SAO \ll 1$ ，其中 S 是点光源位置， O 是元件球心位置， A 是元件收到的光线和元件的交点的一个特征位置。本题题干说明元件尺寸很小，而 $\angle SAO$ 却不一定很小这正是引导考生发现，如果仅考虑纸面内的光线，即使上述第二个傍轴近似条件不满足，也可以近似成像。本题中，由于元件尺寸很小，从点光源 S 发出的光线仅有一小部分能打到元件上，所以需作从 S 发出的两条很靠近的光线被元件作用后得到的光线的交点来确定像的位置，而不能作一条过 A 、一条过 O 的光线相交，因为过 O 的光线打不到元件上。类似的事常常发生于“人眼”上。因人眼的视角很小，在点光源发出的单心光束经光学元件作用后的光束中的人眼看到的像在过人眼的两条很靠近的光线的反向延长线的交点处。

其次,针对阅卷情况建议考生:一、用费马原理,以及能量守恒、拉格朗日方恒等需要求一次导数和几何光学定律、动力学方程等价的结论进行近似解决问题时,如同样的问题用几何光学定律、动力学方程需要近似到一阶,那用这些方法需近似到二阶;二、如计算的问题和常见的问题差别不大以至于把某些参数代入特殊值就可以化为常见问题时,可以在计算结果中把这些参数代入特殊值,比对退化的答案和常见的结果,以快速检验是否算错,比如本题,若发现代入 $\theta = 0$ 不能退化为傍轴近似的相应标准公式,就说明算错了。

然后,笔者还要向大家道歉,参考答案与评分标准、阅卷指南中都没提及用费马原理作答如何给分,这影响到了这部分考生的得分和教练对这部分试卷的评阅。

最后,还要提醒:非傍轴成像的实际情况没有本题这么简单,实际上要考虑三维折射,将会出现像差。本题为了平衡试卷难度,只考虑纸面内的光线。

三

命题思路

本题是命题组为了均衡试卷难度而加入的一道送分题。然而为了送分送的不那么明显,命题人在题干中给出了做元功的表达式,但是却没有说明是“外界对表面系统做功”还是“表面系统对外界做功”,以此作为一个小坑。另外,为了增加迷惑性,命题人把第一个图画的情况与实际情况略有出入,考生在考场上应该有跳出这种小陷阱的能力。

阅卷情况

如同前文所说的那种情况,如果考生在一开始弄错了正负号,那么本题的得分将会非常可怜。如果在复赛现场,全篇错一个符号的解答有可能得接近满分,但也有可能得极低的分数。这次阅卷把所有符号错的试卷全部判得非常低,目的是让大家在这场考试中留下很深的印象,而在真正考试之时不会犯同样的错误。

总结

学过热力学理论的同学在这道题目上可能稍占优势,但是笔者认为这种优势主要是信心上的,在实际阶梯过程中反而可能因为对于热力学理论不够熟悉而浪费时间。对于没有系统学过热力学理论的同学而言,根据题目所给的提示也可以顺利地从卡诺循环入手推导出结果。

四

命题思路

本题素材取自生活,旨在带领同学们走一遍“观察——发现问题——分析问题——提出简化模型——解决问题”的过程,并在此同时考察静力学与动力学有关内容。可是,由于简化不够充分,本题计算量过大,于是为平衡试卷难度删去了动力学部分,只留下了原题的(1.1)问,完整版原题将在附件中给出。并且,考虑到答案可能很丑,笔者采用“格式规定”,即将答案拆解为六个不含三角函数的简单表达式,试图简化答案。

阅卷情况

仲裁时发现大部分人能够列出一到两种情况的受力方程,对于前两种较为简单情况的 p 、 q 的求解问题不大,但有时会出现 p 、 q 写反的问题,这是细节,是取得高分的必争之分,切不可马虎大意。

最后一种情况其实和前两种差异不大,只是表达式稍微复杂了一些,完全做出整题的人也是少之又少。我个人觉得列出了方程但是最后没有求解成功的人是可以理解的,但是不去列方程就直接放弃的人就不应该了。

总结

这道题确实在计算量上还是比较庞大的，是远超复赛难度的。我们希望通过这种高强度的训练可以让大家面对庞大的计算量可以减少畏惧心而去勇敢尝试，毕竟中间过程也是有分数的。当即使面对这种题你依然有着自信心和勇气时，加以训练，那么你的复赛甚至决赛在计算方面基本上就没有问题了。

五

命题思路

本题的定位是一个思维量较大的相对论动力学题目。命题者认为这道题目的核心在于答案中提到的一个思想：“因为物质的动力学性质（不考虑外场）仅和动量、能量相关，所以黑体辐射出的光子整体上可以看做（静质量、速度）一样的粒子群。”这样，这个题目就转化成了一个非常老旧的模型：相对论性火箭问题。按照这样的思路，命题者除了设置了一个经典问题（1.1）以外，还设置了具有一些新意的（1.2）（1.3）和（2），但这些题目在前述的等效情景下也都并不难处理。除此之外，命题者还添加了用四维矢量方法解决这道题目的解答。

阅卷情况

这道题目两极分化比较严重，很大一部分同学可能是最开始的一部没有想到，导致后面的题目看起来无法入手，而得到较高分数的同学则大多数是已经有了类似上文提及的思想，只不过没有用文字加以表述。此外，一些同学对于四维力矢量的适用情景并不十分明晰，进而导致了一些错误。

总结

这道题目在考场上没有做出来并无大碍，但命题者十分希望参加这次考试的同学能够明白这个题目所涉及的思想。此外，命题者希望同学们对于这道题目各个小问的物理图像也能有一个较为明晰的理解。

六

命题思路

本题是一道关于刚体角动量的问题。由于角动量与正比于质量的势场中势能的二阶展开都与刚体上的质量元相对质心的位矢有关，表达式也十分相似，因此刚体的转动惯量矩阵与其“质量四极矩”有着很强的关联性，使用这一结论可以大大简化刚体在缓变势场中所受力矩的计算，而不必每次再手动计算二阶展开的积分。本题正是以此为背景所作，希望通过本题让同学们对这一知识点有所了解、更加熟悉。

而本题也考察了对于部分结论的熟悉程度。例如，如果能看出离心力不产生力矩，就可以只计算重力场产生的力矩，也可将第三问与前两问的计算相统一。同时，也考察了同学们对于梯度计算的熟悉程度，也即在非直角坐标系下正确计算某方向梯度的能力。

同时，本题具有大段的知识背景叙述，对于同学们的阅读理解能力也有所考察。

阅卷情况

本题的阅卷情况较好，许多同学能在明白题目所说的基础上，给出正确的解题思路。但同时，阅卷过程中也发现了一些知识点上的、或是细节上的问题。

例如，有些同学对非直角坐标系中矢量的梯度不是很了解，错误计算了其梯度，导致了力矩计算的错误。

有些同学在第一问中将物体直接看做均匀杆，但是题目中说这一物体是“绕轴线对称”而非“沿轴线也均匀”的。有些同学在第三问中，只计算了自转角速度的角动量，未考虑公转角速度带来的角动量，从而导致答案错误。

阅卷过程中也发现很多同学最后的答案是以角速度而非周期表示的，在复赛或决赛中这是非常有可能会扣分、且较难查分的。因此，需要特别注意题目中所求的量，而不是想当然地求一个角速度就结束。同时，第一问中也要求给出刚体的平衡角度，如果不写会被扣掉相应的分数，这也是需要加以注意的。

总结

本题整体上难度不是特别大，但是必须熟悉梯度的计算、有着足够的阅读理解能力才能得到高分。

但实际上，即使完全没有看懂题目给出的背景知识，还是可以直接计算做出第一问、第三问中的角冲量定理也可拿分，至少可以拿到 18 分。可见即使背景知识完全不了解也不明白，也并不意味着本题不能拿分，同学们可以注意这些得分点。

七

命题思路

本题来自于笔者在弹性力学课上的奇思妙想，最基本的思想是相同的微分方程与相同的边界条件会给出相同的结果。

阅卷情况

本题的完成度并不算好，由于小问众多，本题的错误千奇百怪，并无太多共性。但总结错误原因，很大一部分都是边界条件不清晰以及等效思维欠缺。不可否认，本题带有一些数理方程色彩，对于没有接触过数理方程，或是没有从偏数学的角度学习过电磁学的同学很有难度。

此外，除开题目本身的难度，题目长度带来的冲击以及题目本身的位置也是影响完成度的重要原因。

总结

一般而言，这种剑走偏锋的题不会出现在考场上，但考虑到本次联考的定位是大量给信息，题风可适当偏离复赛，这道题才能够登上台面。同学们做题时可以发现，通过等效去求解微分方程实际上并不如直接暴力求解微分方程来的快，因此这道题也就颇有一点画蛇添足的味道。但无论如何，正如命题思路中写的一样，笔者想要传达的在于思想而非题目本身。

实验

本次实验试题的风格较之前也有一定的改变，对考生信息提取及运用的能力更加重视。试题总体题量和难度较之前有明显的下降，多数考生能够完成大部分试题，但在审题和细节方面丢分较为严重，导致得分不够理想。

A. 气垫导轨上物体运动特性的研究

本题涉及到了之前实验操作考试中很难接触到的气垫导轨，即便是平常对实验下了功夫的选手初见此题也会有些无从下手。但实际上，由于有了式(a.5)的假设，本题的实验思路非常流畅。如果作图时描点准确的话，除了发现 $v-x$ 曲线近乎为直线以外，可以明显看出曲线凹凸性有所变化，由此可以得出 $\beta, \pm\alpha_1$ 分别是主导、次要主要项，之后的计算便不是难

事了。

本题的主要丢分点主要在作图（整个 A.3 部分都是基于 $v-x$ 曲线图的，所以一旦作图出现问题，之后的小问都会被牵连），绝大部分同学都作出了直线而非曲线，这是非常低级的失误，但凡有认真思考过式(a.5)的几何意义都不会如此草率地将 $v-x$ 关系处理为线性。当然，也不排除有一些选手作图描点时“粗糙”已成为习惯，自以为此次都能蒙混过关，希望本题可以给这部分同学以警示。

此外，最终判卷过程中，没有对 A.3.2, A.3.3 中数据、结论的计算（理由）等过于刁难，即便得到了正确的结果，也请大家注意自己的过程或思路是否与答案一致。

B. 铅笔芯电阻率的测定

但凡在做卷子的时候尊重一下命题人，不想当然认为他煞费苦心写在题目前的引言是废话，本题就纯纯是一个送分题。 本题是基于第 9 届联考试题简报中一句话而展开的：

*希望各位选手无论在理论或者实验的学习中，都不要陷入到
数学计算中去，一定要思考数学公式背后代表的物理意义。*

希望大家可以从本题中对这句话有更深刻的体会。

此外，也希望大家思考 B.2.2 中两组电路相比，区别在哪儿？以及，如果电源电压变为 6 V，本题答案会有所改变吗？

最后还是要提醒大家，在正式考试中，如题目无特殊说明，请大家仍按实验指导书的要求进行不确定度计算。