

第 8 届 CPHO-S 物理竞赛联考

试题评析

一

命题思路

本题是命题组为了送分均衡试卷难度硬生生憋出来用心良苦的一个电学题，就是说，本题需要通过一些废话精心的包装使得一个水题显得没有那么水。

实际上，等效电压源、电流源以及星三角变换在复杂电路的求解中有着重要意义，本题的命制也是希望各位考生能够有所思考，而非遇到电路一言不合就基尔霍夫。

阅卷情况

本题的作答状况没有辜负命题人的良苦用心，绝大部分同学都轻松拿下。为数不多的问题大致如下：

- 1、第（2）小问使用基尔霍夫定律暴力求解...虽然没有扣分，但这种行为一旦算错就将面临零分。一般而言，都应当依照题目的引导进行作答，否则容易误入歧途。
- 2、最终结果不代入、不化简。这类行为固然可以节省时间，但在第 35 届决赛的查分环节中，阅卷的总负责人曾以“化简是有工作量的”为由驳回了绝大部分选手第一题第（2）小问的查分。对于简单题目而言，阅卷尺度会较为严格，选手们一定要注意防止因为类似的细节原因丢分。

总结

在考场上遇到类似第一题这样的送分题，选手应当保证快速、高准确率地完成，以保证拿到基本分数，并为后续难题留出时间。

实际上，由于进入考试状态需要一定时间，所以考试中作答的第一个题错误率相对较高，且花费时间相对较长。此时，不妨将诸如本题这种简单题稍微往后放一些，以保证正确率并且有效节约时间。

二

命题思路

本题是一道刚体力学与运动学结合的题目，考察了转动惯量的计算、弹性碰撞、质点运动学等知识点。题目整体的难度大致为复赛偏易，风格较为传统，除最后一问略需思考外全部在考察基础知识，与 32 届复赛第二题、37 届复赛第二题有一定相似之处。

而本题最后一问，表面上是计算概率，实质上是分析碰撞后细杆两端的运动规律，考察运动学的相关内容，可以说做到了陈中出新，能够令答题者眼前一黑眼前一亮。

阅卷情况

整体上，本题的得分情况较好，相当比例的同学拿全或基本拿全了（1）和（2.1）两问的 24 分，排名靠前的同学绝大多数拿到了满分 40 分，这也在意料之内。

当然，仲裁时同样发现部分同学犯了一些细节上的错误，包括但不限于方程漏项、方程组解错、弄反 AB 两端等等。至于前两问出现知识型错误的同学，建议复习巩固一下力学的基础知识。这里提一下，对于（2.1）问类似的题目，仲裁者平时最常用的做法是列碰

撞前后系统的动量守恒、对碰撞点所在空间位置这一定点的角动量守恒，以及恢复系数为 1（接近速度等于分离速度）三个方程。这样求解起来是相当迅速的，节省时间的同时也可以降低计算错误率。

再就是（2.2）问。严格来讲最好要像参考答案一样讲清楚每个周期的情况，不过只分析一个周期实际上也无伤大雅，阅卷时没有刻意强调，得到正确结果基本上就可以给满了。但在计算时需要注意第一个周期的情况有些特殊。（后面的周期中，A 端会在上一个周期里扫过一段 B 端能运动到的距离，这是只计算第一个周期的概率时所不能体现的）

相当一部分的同学在（2.2）问中利用运动学上速度为零的临界情形求解，也有同学换参照系求解，都是非常值得肯定的。当然，不论采用哪一种解法，都应该写清楚关键的方程和阶段性结论，辅以必要的文字描述和图示，以便在答案出错时让阅卷者能够找到给分点。

总结

笔者认为，在考试过程中，有一定水平的同学应该在 10 分钟内拿到（1）及（2.1）的 24 分，再花 10 分钟拿下部分（2.2）的分数；优秀的同学应该保证在 10 到 20 分钟内拿满 40 分，并由此提振信心，完成试卷的其余题目。

这种模型较基础、计算量不大的题目一般在复赛中会出现一两道，无论是冲击省队还是省一的选手，都应该迅速有效拿下。

此外，当遇到诸如（2.2）这种容易让人发懵的题目时，考生应当保持镇定，静下心来思考或者先跳过，切忌焦躁！

三

命题思路

本题旨在考查同学们对理想可逆热机（制冷机）和卡诺定理的理解深度，以及物理直觉的敏锐程度。计算量小，总体难度不难，会的同学几乎可以秒杀。但这道题的形式十分新颖，比起理论题，可能乍一看更像一道实验题目。要求不加证明的给出最佳结果，更是要求同学们有扎实的功力和充分的自信，在短时间内找到正确方法并迅速解题。

当然，此题也有几个迷惑同学们的点，其中一个是水是否会全部凝固呢，若全部凝固，显然就要适用不同的方程了，相信有同学会在此处纠结许久，事实上，在做这道题的最开始就进行一个简单的数量级分析，就会发现水永远不会全部凝固。可见，做题之前，对于题目有一个大致的感性的认知是有助于理清思路的；反之，上来就开算，算一会又开始觉得不对劲，肯定会浪费很多时间，更严重的是，这会导致你对这道题的不自信，甚至不敢做下去了，那就太可惜了。这是一个实用的解题技巧。

最后，此题使用有关熵的知识可以迅速解决，这也比较契合近年来复决赛的风格，也即鼓励大家稍微学一学考纲之外的知识，当然，用超纲知识解题，错了无过程分，这是大家务必注意的。

阅卷情况

笔者在阅读此题的时候，认为此题并不是一道太难的热学题，无论是物理思想亦或是运用的数学工具。但是经过笔者仲裁以后，发现本题的答题情况并不乐观，很多考生浪费了较多的笔墨在本题上面涂涂改改，并出现了很多不值得、且不应该犯的错误。

第（1）问常见错误：

1、认为温度变化小，不考虑微小过程，直接对总吸放热套用卡诺定理。出现这个问题的考生需要注意的是，热机的效率也是一个同阶的小量，并且会随着冰的升温逐渐降低至零。

所以热机的效率变化不可忽略，需要对过程进行微分处理。这个错误会导致最终答案是标答的两倍。

2、缺少对冰块是否凝固这一个判断进行证明。这是一个十分严重的问题，做题的时候每一个这种“二选一”的判断都需要严格的证明，而且这个证明往往是有分值的。仔细写出证明也有助于避免踩坑。如果缺少证明，答案正确尚且可以蒙混过关，答案错误的话就必须扣除此证明的分值。

3、有同学计算的时候少保留了位数，最终导致答案数量级错误。笔者建议计算的时候尽可能多保留几位有效数字。输入计算器的时候请尽量使用原数据。答卷中可以少写几位数字避免过长，但如果是有限小数建议写全。

4、卡诺定理中温度写反。这类错误比较低级，故不以评价。需要额外注意的是，在本题中由于温度之间差别不大，所以如果写反的话答案会比较相近，而非精确 0.0275 J 。

第(2)问常见错误：

1、使用熵守恒进行计算，且计算错误。在答题时，应考虑到本题并非很难，答案更有可能使用构建热机，故应避免使用“熵”这一进阶内容。虽然使用熵可以减少计算量，但若计算错误则难以获得相应的小分。熵守恒这一方法更适合作为便捷的验算方法，而非写在答卷上。

2、热机构建不一致。有同学额外构建了“大部分冰”与“少部分冰”之间的热机，而不是标准答案方法。由熵、能量守恒容易知道这两者是等价的，但是很显然标准答案中的方法更容易计算。所以希望考生答题之前先简单作一个判断。有考生额外构建了热机，但是答案错误，笔者希望这些考生在复盘时，勿把错误原因简单归结为热机构建错误，而应同时检查自己的计算。

3、认为“小块冰”质量为 0.02 kg ，并将 n 错看成 50 ，导致结果为 272.3 K 。这类考生笔者希望读题仔细一点，以后不要犯这种低级错误。

4、对“小块冰”所在热机做功进行积分（即标准答案中12式左半的积分），有考生认为初始温度为 273 K 而非 272.9 K ，导致最终结果为 272.005 K 。这也是一个低级错误，希望能减少这种犯错。

总结

本题是一道比较简单热学题，只考察了可逆热机的运用，而且计算量也偏小。对于完整学过一轮的考生而言这题应当满分，并且需要尽量标准化、简洁化答题过程以便提升得分率，并合理权衡时间分配。对于刚入门的考生，可以仔细阅读本题的解答，以熟悉并掌握可逆热机的概念。

对于上述所提到的犯低级的粗心错误的考生，在本题中就会有明显的扣分，希望引以为戒，在平时刷题过程中也对这种错误留个心眼。对于更倾向于使用进阶方法（即“熵”）解此题的同学，笔者建议尽量提高运算准确性，以作为自己答题的保障。

四

命题思路

本题在构思时的目标就是这张卷子的压轴难题：首先是跳出了平面平行运动的框架去考察刚体，其次计算有一定难度，且动力学分析繁琐，坑很多，非理论基础极其扎实且细心的人很难全部做对。不过通过此题，大家可以学到的东西还是不少的。

第一个有争议的点在于运动关系，即(1)式，关于为什么总角速度除去后只有垂直盘面分量可以这样理解：在公转系中，圆盘不光是质心不动，也不能有除了绕对称轴自转以

外的任何其他转动，否则圆盘的位型必然会有奇奇怪怪的变化。确定了这点后，只需要用算出和地面接触点速度即可。

此外，有关匀强恒定磁场中洛伦兹力矩表达式的推导，笔者最初出现了幻觉，幸好命题组内有学识渊博的同学指出错误并给出正确表达式。这个表达式的有用之处在于把复杂的积分转化成求角动量，而对于规则刚体的角动量一般不难求，由此简化了运算。两种证明中，第一种比较简单且直接，但第二种或许更有启发性，希望大家都能充分理解。此外，该表达式稍作修改即可用来计算转动参考系中的科里奥利力矩问题。

阅卷情况

在阅卷过程中，发现大家很少有完全没有思路的，但看得出不少同学没有静下心来细致的分析，犯了“想当然”的错误，主要有下面几点：

- 1、运动学约束方程写错：这个运动方程一旦写错，这道题就废了一大半，因此对这种决定性的关键方程一定要慎之又慎，若大意出错，之后的努力都是无用功。
- 2、算力矩漏掉摩擦力/算摩擦力漏掉洛伦兹力：是受力分析、力矩分析不细致的结果，或是隐约记得类似的题目，就把过程照搬上去，这种错误稍细心即可避免。
- 3、开根号不加正负号，漏解：绝大多数同学都没有注意，大概是默认为正了，然而题目只规定了正方向，未说明只取正的解，负的解同样有物理意义，不能舍去，因此而扣分十分可惜。
- 4、证明跳步或逻辑混乱：做证明题就如同写作文，很难说有一个绝对客观的对或错（当然，如果出现明显错误，那自然是错的），所以一定要给评卷人呈现一个简明又细致的证明过程。建议大家写证明题要先自己完全搞明白，再把思路以最易于理解的方式写在答题卡上，如果边写边想，难免会出现混乱的地方。

总结

这道题虽然难度大，得分难，但事实上除了运动约束关系可能不太容易搞明白以外，其余只要进行耐心细致的动力学分析，并没有让人难以理解的地方。对于比较复杂的动力学问题，一定要步步为营，切勿走捷径。

此外，这道题作为一道偏向普通物理风格的题目，做题的同时也可以从中学到不少知识，希望大家能在考后充分吸收这道题目蕴含的各种知识点。

五

命题思路

本题第（1）问的灵感最初来源于一些物理工程应用文献中对静电透镜的介绍，与经常于各种考试中出现的磁场透镜经典试题部分相似，意图在于考察诸位考生电磁学方面的基本功。考虑到本卷此前并未考察考生几何光学方面的素养，笔者尝试将此题与几何光学中不多见但颇有效的矩阵光学方法相结合，同时考察考生们数列递推的功底，命制了此题的第（2）问

题目整体难度中规中矩，可以说，拥有复赛及以上的扎实物理功底的考生应当在较短的时间内取得较高的分数。

阅卷情况

本题的主要失分点：

第（1）问：

- 1、认为径向场均匀，原理性错误扣分；
- 2、电子电量绝对值 e 写为 q ；

3、考虑相对论效应；

第 (2.1) 问：

4、代入了第 (1) 问的表达式，未按规定表达结果；

5、自设正方向表达 θ' ，且所设正方向与答案不同；

6、答案保留 $\tan \theta$ 而未近似；

第 (2.2) 问：

7、认为两根均为 $(1, -1)$ 内的实数，或认为必须有 $\Delta \geq 0$ ，否则没有物理意义；

8、没有普遍性的方式表达递推关系；

9、用矩阵对角化方法求解。

对大家的建议：

a. 仔细审题，看清题目设的符号（针对 2、4）、正方向（针对 5）和近似要求（针对 3、6）；

b. 尽量避免用新颖方法（针对 9）；

c. 下笔严谨，不能过于随性，虽然阅卷人很可能理解你的含义，但还是得按评分标准给分，严格地说有明显错误的式子不能得分（针对 1、8）；

d. 不要轻易舍弃某些答案，它们很可能有意义（针对 7），可以回想一下谐振子方程是怎么用特征根法解的，其两特征根亦为虚数。

总结

本来该题是一道送分题，但严格的评分标准让本题也成为了一道拉分题。不少考生在第 (2.2) 问认为特征根为虚数时没有物理意义，直接舍弃，或者认为两根均为内的实数，解不等式不小心得到正确答案；另有更多考生认为均匀，不用积分。如果犯此类原理性错误，即使答案对，阅卷人也有扣分的权力，希望大家引以为戒。

六

命题思路

古斯汉森位移是一个非常有趣的光学现象，甚至可以说是出乎人们认知，是命题人最喜欢的光学现象之一，故将该现象出成试题。考虑到单考察古斯汉森位移会导致了解和没了解过的同学之间对该题理解差距过大，故加上第三问用以平衡。

这道题整体难度命题人认为并不大，题中有思维难度的部分大多已在提示中给出，基本上只剩下计算方面的问题，个人认为熟练的竞赛生这道题不应当丢分。

当然，若对于波动光学不太熟悉，在本题的理解上还是有一定困难的。

阅卷情况

阅卷时发现了同学们的各种丢分点，笔者做如下整理：

1、第一问不少同学求得的相位差与答案相反，题中已明确指出是入射光线与出射光线的相位差形式，许多同学因此痛失 2 分，实在可惜。提个建议，如果遇见拿不准答案形式的题目，不妨将两个答案都写下来，这样可以避免因为这种原因失分。

2、从第一问阅卷情况看来，许多同学对复数运算并不敏感，分式上下可以明显发现模相等，幅角相反，直接得出结果。许多同学选择分母实数化，导致结果冗长，可能有部分没有进入仲裁系统的同学就因此失分了。还有一部分同学，原本答案是正确的，为将形式化得自己认为好看，在化简过程中出现失误，导致结果错误，这是最可惜的丢分，个人认为标答的形式是最好看且不会出错的形式，给各位同学作参考。

3、第二问大部分同学理解到了求导为零的考点，但许多同学，当然也可能是由于出现了情况（2）被数学形式吓到，不敢继续算下去，转而自欺欺人，认为导数为零等价于本身的值为零分。这是绝对不可取的，计算能力是物理竞赛最重要的能力之一，尤其是求导这方面，这也是选择 p 光不选择 s 光的原因，在复决赛中，比这个求导更刁难人的也是有可能出现的，不能因为形式复杂就去规避，这是绝对不可取的。

4、第三问中许多同学自己假设了一个光在中的波长这样一个物理量，但第二问中应该已经给出了真空中的波长，这样自己随意设物理量是绝对不行的。而且就算整个题目都没有出现波长，也不能设这样一个不具有普遍意义的物理量，而是更应该以真空为标准，不能一味的追求形式和过程的简便，物理竞赛就是考验人的，处处都予以简便就不是物理竞赛了。

总结

本次考试这道题的满分并没有很多，证明了大部分选手还相当欠缺计算能力以及相信自己能算出结果的自信，希望大家能够好好对照标准答案寻找错因，并从本题中找到自己的不足。同时，也建议对这个物理现象本身有兴趣的同学查阅相关资料并作进一步学习。

七

命题思路

在球粒陨石形成机制的研究中，陨石年代学研究一直是很重要的环节，本题参考Pb-Pb方法在定年中的应用并结合泊松分布，试图考察考生的基本统计素养及建模技巧。

本题第（1）问核心在于泊松分布的数学性质，其中（1.1）考察了泊松分布的推导过程，而（1.2）考察了泊松分布的基本性质。第（2）问则是具体的应用，首先考察了 β 衰变的典型过程，然后考察对（1）中知识及半衰期的掌握和应用。

阅卷情况

在（1.1）问中，很多同学想到了将时间均分并求极限的方法，这里的典型情况是在求解最终概率时求极限出错甚而不知道求极限，这也是大部分低分答卷无法得出准确概率分布的原因。应当说，在此题中无法取得较高分数的同学，数学建模能力有待加强。

很多同学在（1.2）问中采用了二项分布的性质来得出最终的结果，这是一个取巧的办法，出题人此前并未考虑到这一点。但是多数使用此性质的同学在运用性质时未作出恰当说明，直接使用没有恰当定义的变量者有之，直接给出答案而无导出过程者有之，这也导致了这样做的考生在改卷及其后的仲裁中处于较为不利的境地。

难以想象相当比例的考生在（2.1）的核反应方程式中出错，实在是相当可惜。这可能也部分反映了考生对原子物理等冷门知识点的掌握普遍有待提高。

大体上（2.2）情况良好，偶尔也见到同学混淆半衰期的概念导致满盘失误的情况。这里主要的问题在于很多考生没有将结果化简到一个简洁美观的形式，从而在后续的批改中为自己带来不利。

总结

总体上本题是一个模型较为新颖的题目，主要难点及考点均在于模型的建构和数学计算。对统计和概率熟悉的考生当然不会感到困难，但对于数学思维有待充分训练的部分考生，可能会出现与他人拉开较大差距的不利情况。本题整体考察了考生的建模与应对能力，可以说在顶尖考生与复赛省一水平考生间产生了较强的区分度。

八

命题思路

这道题的灵感来源于第 38 届复赛福建卷第二题，该题讨论了太阳帆对光的反射作用会对飞行器运动产生的影响，笔者由此联想到了坡印廷—罗伯森效应，于是命制了这样一道题。

本题的难度定位是一道简单题，整道题的思路很简单，计算量也不大。首先计算太阳帆反射作用对飞行器产生的力，这是很基础的一个小问，之后便开始讨论相对论效应产生的影响——光线方向会有偏转，从而对飞行器产生阻力。

阅卷情况

本题难度不大，但由于各种原因阅卷工作进展并不太顺利，仲裁率较高。

多数同学都能计算出正确结果，但是得满分的同学仍是少数。未得满分的同学中，部分同学没有计算过程或计算过程物理含义不清；部分同学未在（3）中说明忽略太阳帆尺缩或忽略高阶效应，未在第（4）中说明太阳系下光线遵循非相对论镜面反射，有同学对此提出异议，笔者也认为评分标准此处有待商榷，虽然没有不合理之处，但从阅卷情况来看，这种要求可能确实有些严格；还有部分同学因为书写扣分，仔细辨认后才能看出最后的计算结果是正确的。

未能得到理想分数的同学，大多是因为答案的系数或量纲有问题，（1）中要考虑到反射问题，（4）中的系数也需要留意，量纲出现问题的同学需要注意计算的准确度。此外，还有部分同学对黑体辐射相关知识理解不到位，无法在（1）中得出正确结果。

总结

本题思维难度不大，是坡印廷—罗伯森效应的简化模型，按照题目要求作答即可，主要考察参赛者细节处理和准确计算的能力。针对此类题目，在考场上处理好时间分配的问题即可，尽量提高得分效率。

实验

A. 刚体回转半径的测量

本题是大学普通物理的经典实验之一，其实验原理较为浅显。本部分实验笔试题目侧重于数据处理，通过不同方式的数据处理方法，考察考生对实验数据的敏锐程度与有效运用的能力。

本题主要出现的问题有以下几点：

- 1、（A.1.4）有效数字的保留有误。实际上大部分复摆实验都采用杠杆平衡或者其他方式获取质心位置，从而导致一定误差，而本问的处理方式可以轻松达到四位有效数字，大大降低质心位置对实验的影响；
- 2、（A.2.2）处理数据方法有误。部分同学通过“出现振动周期极值的位置”来计算回转半径的值，相比于标准答案通过“振动周期极值”来计算该值，优劣一目了然；
- 3、（A.2.3）不能正确将拟合公式线性化。这是处理实验数据的必备技能，不熟悉的考生务必多加练习以避免失分。

B. 线胀系数的测量

本题通过光杠杆测量金属棒的线胀系数，主要考点在于长度量的测量知识、光杠杆调节的实际操作与误差分析，对有实验经验的考生而言难度不大，而针对没有做过实验的考

生，命题组十分贴心地（大家真的不感动吗doge）给出了实验的实物图，在一定程度上让这部分考生重拾生的希望动笔的可能。

本题主要出现的问题如下：

- 1、（B.1.1）光路示意图不规范。这是实验指导书上的原图诶！！！以及，根据笔者个人的阅卷经验而言，像实验步骤、光路图、关系图这类题目的评分，因为此类题目本身的评分标准就有一定主观的余地，考生的得分往往就和阅卷人的“第一印象”直接相关，有时甚至可以达到正负一分的波动区间，所以提醒各位考生书写和规范性的重要性！！
- 2、（B.2）没有答到关键点。就是说，大家进行实验时，对实验条件务必留意，因为在相当一部分时间中，实验也是存在“近似”的，如果不在正确的实验条件下进行实验，近似导致的误差就将从次要误差变为主要误差来源，大大影响实验精度；
- 3、（B.3.1）计算结果有效数字错误/单位错误/不带单位。常见的错误，原则上此类错误在考试中出现一次就够了，千万避免再次的出现！
- 4、（B.3.2）作答超出答题框。首先命题人先向各位谢罪，本题的答题框确实没有留够，命题组在之后的联考中会多加注意。不过话说回来，各位考生还是要注意答题卡的空间管理，即便正式复决赛的答题卡空间比较充裕，但命题人身边还是发生过不止一起由于答题卡空间不足/超出答题区域作答导致的惨案。

C. 发光二极管的伏安特性测量

本题是基于某次决赛实验试题的改编，主要考察了选手的电路设计能力以及作图规范性。

本题问题较为集中，具体如下：

- 1、（C.1）使用伏安法、替代法测量或电桥桥臂不匹配。一般而言，一旦在电路设计题中出现“精确”“无系统误差”此类字眼，基本都是要求使用电桥法或补偿法进行测量；而部分考生虽然给出了电桥法的测量电路，但采用的是与答案不同的桥臂分布，此时会导致电流表/电压表上示数过大/过小导致无法测量；
- 2、（C.2）中不画出电流表内部结构、电阻箱阻值有效数字错误；
- 3、（C.3.2）中实验步骤未给出粗调、细调步骤，书写潦草、不分步。本题中电桥平衡的调节关键就在于先粗调，后细调，做过实验的同学自然知道该操作的重要性。而书写与得分息息相关这一点不再赘述，分步书写步骤可以使阅卷人更好地把握作答思路，也有助于提升阅卷人的阅卷速度，换句话说，阅卷人批得越快心情越好给的分越高。
- 4、（C.3.3）（C.3.4）伏安特性曲线图不规范、导通电压及波长有效数字有误。图示规范不再阐述，但是不是很能理解为何相当一部分考生作图时将自变量和因变量的坐标轴颠倒，虽然本次阅卷中没有扣分，但一般横轴是自变量，纵轴是因变量，希望大家能够注意。

总结

相比于第 7 届联考的实验笔试试题，本次联考的作答情况有了极大好转，选手在规范性上的完善以及对试题的熟练程度、完成度都让 CPHO-S 2022 实验组的成员们倍感欣慰。当然，这也意味着白卷及空白区域的比重大大下降，组委会在实验阅卷的过程中对命题组表示抗议。

为减轻实验的阅卷负担考虑到各位选手已经逐步熟悉实验笔试的模式，实验组的第一阶段已经完成，接下来联考中的实验笔试时间将从之前的 90 分钟降为 60 分钟（题量是否减少看命题组心情），以帮助选手更好地模拟真实考试的情况。至少从去年决赛的实验笔试来看，没人做的完 :(。