

OLYMPIC PHYSICS OLYMPIC PHYSICS

奥林匹克物理 2

舒幼生主编
湖南教育出版社



奥林匹克物理 2

主编：舒幼生

编委：山宗欣 许洪男 岳胜文 高贤文

黄国明 舒幼生 谭清莲

湖 南 教 育 出 版 社

编者的话

人类生活内容有物质的和精神的两个方面，它们都是自然科学形成和发展的原动力。就基元性而言，关于物质世界结构与演化的研究归根结底是属于物理学范畴的。部分学生对物理学的兴趣已升华为精神上的追求。有这样的学生是一种乐趣，教师更觉有责任正确引导他们能真正地学好物理。

探索与求真是物理学工作者的基本素养，也应该是青少年物理学爱好者的情趣所在，因此，学习不可以是简单的重复，而更需要侧重于理解。当今，为能在社会选才性的各类考试中取得高分，为能在各级物理竞赛中获得奖牌，有相当多的学生沉浮于题海之中，一味追求着重复性（压题）上的所得。这样的学生由于一次或二次性考试中存在的机遇因素，也许会成功，但因理解上有所失，会淡化进一步学物理的兴趣，甚至影响在未来事业中的进取。

鉴于兴趣和理解在物理学习中的重要性，这本由带领中国队在国际物理奥赛中连连夺魁的主教练，北京大学舒幼生主编的《奥林匹克物理》，以现阶段我国重点中学教学内容和全国中学生物理竞赛考纲为依据，重知识扩充和理论引伸（专题讲座），以激发中学生学习物理的兴趣；重物理思想、方法和分析，重理论与实验示范性题目的介绍和讲述（命题研究、方法技巧、实验辅导、国际竞赛），以启发和加强中学生对所学物理内容的

理解。学生的参与有利于增强学习的兴趣与理解(学生之窗、问题征答),甚至鼓励学生自己编制题目,编制的尝试意味着兴趣,编制的成功意味着理解。为提倡参与精神,本书取名为“奥林匹克物理”。除以上所述,它的特点还在于,它不受教材的系统性约束,可以随时选取竞赛中最为关注的问题,在各栏目中分类阐述,使本书时编时新;收集了一些鲜为人知,又有特定教学效果的自编题;集中了一些解答问题的独特思路和巧妙解法的技巧。本书还将继续编辑出版,欢迎广大读者参与,欢迎指正。

社会的发展需要成功,人生的价值则表现为追求,希望本书伴随着你在追求中获得成功。

1993. 6. 8.

目

录

□命题研究

第十届全国中学生物理竞赛决赛

理论笔试情况及其分析 彭圣儒(1)

第24届 IPhO 一道试题中的科研性

与综合性命题思想 舒幼生(19)

□专题讲座

理想气体的状态方程 黄国明(29)

摩擦角的应用 陈光红(50)

质点的运动方程及轨道方程 许文彬(62)

力的独立作用原理和分运动独立性

原理的综合应用 高自友(82)

磁聚焦 舒幼生(93)

□方法技巧

黑盒子问题的解题思路 杨正川等(110)

关于光具组成像的计算问题 张维德(133)

近似处理法的应用 卢浩然(146)

巧选支点解平衡问题	陈光红 (161)
-----------------	-----------

□实验辅导

实验的训练问题	吴智 (171)
测定性实验的设计	刘彬生 (188)
粗析中国队在国际物理奥赛实验考试中的弱点	舒幼生 (212)

□国际竞赛

介绍第 24 届 IPhO 的一道理论赛题和一道实验 赛题	舒幼生 (216)
奥林匹克物理中的杨氏双缝干涉和平行波束干 涉的赛题	舒幼生 (231)

□学生之窗

学生题屋	张霖涛等 (244)
伽利略快速圆弧问题	李翌等 (268)
纠正一道力学题的错误	詹勇 (274)
成功之道	卜美平 (277)

□问题征答

征答题	
《奥林匹克物理 1》征答题 3 答卷	曹继恩等 (281)
《奥林匹克物理 1》征答题 4 答卷	楚天骊等 (292)

□赛事报道

湘江之滨、麓山之畔的盛会	岳胜文 (299)
--------------------	-----------

我们是怎样做好物理竞赛的组织

和辅导工作的	李国纲 (302)
'93 威廉斯堡之行	舒幼生 (307)

命题研究

第十届全国中学生物理竞赛决赛 理论笔试情况及其分析

湖南师范大学 彭圣儒

(一)

第十届全国中学生物理竞赛经过预赛的第一试和第二试后,于1993年10月8日至11日在湖南师范大学举行决赛,共有29个省、自治区和直辖市的105位同学参赛。经过理论笔试和实验考试,最后评选出一等奖15名、二等奖34名、三等奖56名和单项特别奖3名。

根据全国中学生物理竞赛章程所制定的命题原则的要求,竞赛命题要从我国目前中学生的实际情况出发,但题目的内容不必拘泥于现行的教学大纲和统编教材;既要考查学生的基础知识,又要着重考查学生的能力。这样有利于引导学生用正确的方法学习物理,有利于培养学生的能力,有利于发现人才,同时也能对物理教学改革提供有益的启发。

从本届决赛活动的实际结果,对照竞赛的目的和命题原则来看,本届决赛的理论试题具有以下特点:

第一、试题的内容集中在中学物理的基本原理和基础知识

上,涉及的知识面广。试题以力学和电学为主。力学题包括物体的平衡、牛顿定律、动量守恒、机械能守恒、简谐振动等。热学题包括热力学第一定律、理想气体状态方程和内能等。电学题包括电势、电容、静电平衡、安培力、电磁感应、自感等。光学题包括透镜和凹面镜的成像知识和作图法等。试题内容遵守不超出中学物理范围、不直接使用大学物理概念和公式、不采用微积分运算的界定。由于竞赛不同于毕业会考,也不同于高考,因此试题力求避开题海中常见的、中学反复训练过的那些题目,几乎没有那种简单的直来直去的题。

第二、突出考查学生分析问题和解决问题的能力。题型新颖,试题具有原型性,富有竞技性。本届决赛试题中涉及的单孔拱形桥的设计、双单摆、存在化学反应的热力学过程、具有自感的导线框在有界匀强磁场中的运动、等效光学系统的确定等问题,要求考生必须善于分析有关的较复杂的物理过程和现象的物理实质,具有准确鲜明的物理思想,才能把握住解题的关键,条理分明地确定解题步骤,避免盲目性和随意性,增强自觉性,发挥创造性。如果对基本原理没有真正弄懂,物理思想贫乏,企图依靠套用某种题型搬用公式来处理问题,显然是难以奏效的。

第三、要求能掌握和运用灵活多样的解题技巧。赛题大都没有繁琐的计算,但仍保证有一定精度的运算量。有些题还能一题多解,这就要求解法要简便,讲究解题技巧。本届试题的解答将涉及到利用对称性、等势法、递推法、隔离法、等效处理、级数求和、近似计算、振动的参考圆法、图形求解等多种运算技巧。考生必须具有灵活运用数学工具来解决物理问题的能力,并能敏捷反应、准确判断,寻求出最佳的解题方案。

第四、本届决赛题具有良好的区分度,能够拉开不同考分

档次的考生。本届决赛理论笔试共八道题，大体上可分为力学3道、热学1道、电学3道、光学1道，全卷按140分计算（原卷120分），考生按考分的分布情况如下表：

考分区间	110~100	99~90	89~80	79~70	69~60
考生人数	5	2	7	11	21
占考生总数之比	4.8%	1.9%	6.7%	10.5%	20%

考分区间	59~50	49~40	39~30	29以下
考生人数	19	10	17	13
占考生总数之比	18.1%	9.5%	16.2%	12.4%

其中理论笔试的最高得分为110分，最低得分为7分，考生平均得分为55.56分。由上表可知，考生人数按考分的分布基本上是呈正态型的，具有“两头少、中间多”的特点，拉开了不同档次考分的考生，具有良好的区分度。但是也有同志认为，考生的平均分数偏低了一点，个别题的运算繁了一点。

总之，竞赛试题总是具有一定的难度和深度的，或者说具有“难、新、活”的特点，但是本届试题做到了难而不超、活而不怪、新而不偏，正如赛后有的考生所反映的：“这套试题所涉及的都是中学物理知识，但是它富有竞赛味。”

(二)

下面我们来逐题地看看本届考生的决赛情况。理论笔试各题的得分情况如下表。

表中的得分率按下式计算：

$$\text{第 } x \text{ 题得分率} = \frac{\text{本题平均分}}{\text{本题标准分}} \times 100\%$$

试卷题次	一	二	三	四	五	六	七	八
原标准分	12	12	12	12	16	16	20	20
人平均得分	6.77	7.56	5.63	6.78	9.06	3.76	4.50	3.57
最佳成绩者得分	12	12	6	12	14	6	12	20
本题得分率	56.4%	62.9%	46.9%	56.5%	56.6%	23.5%	22.5%	17.9%
得满分人数	4	47	3	53	2	1	0	3
得零分人数	11	3	5	35	9	22	34	57

由表可知,第一、二、四、五题得分率较高,第六、七、八题得分率较低。下面分力、热、电、光四部分试题来谈谈应试情况。(本届决赛试题及其参考解答请参看本文第三部分。)

一、力学试题部分:

1. 第一题(题略): (1) 此题要求用 20 块相同的积木块搭成一座具有最大跨度的单孔拱形桥, 这是一个不考虑摩擦的多个物体的系统平衡问题, 大部分同学能完成其设计示意图(图 1), 桥孔高度 $H=9h$ 。(2) 为了保证桥的最大跨度, 这就要使第 $(n-1)$ 块以上的合重力 $(n-1)G$ 的作用线恰好通过第 n 块的边缘点 B , 并以第 $(n+1)$ 块的端点 A 为支点, 与第 n 块重力 G 相平衡(图 2)。即

$$(n-1)G\Delta x_n = G\left(\frac{L}{2} - \Delta x_n\right),$$

$$\Delta x_n = \frac{L}{2n} = \frac{2h}{n}.$$

$$\text{跨度} \quad K = 2 \sum_{n=1}^9 \Delta x_n = 11.32h$$

$$\text{得到} \quad K:H = 1.258.$$

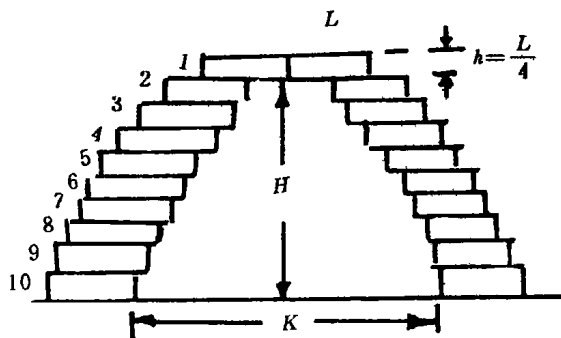


图 1

(3) 也有考生逐块计算归纳得到递推公式的：即第 1 块比第 2 块的最大突出量为 $\Delta x_1 = L/2$ ；第 2 块比第 3 块的最大突出量可由平衡条件

$$G\Delta x_2 = \left(\frac{L}{2} - \Delta x_2 \right) G$$

得为 $\Delta x_2 = L/4 = L/(2 \cdot 2)$

同理，第 3 块的突出量为

$$\Delta x_3 = L/(2 \cdot 3) \dots,$$

最后归纳得出： $\Delta x_n = L/(2n)$ 。

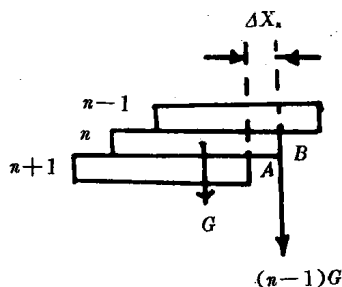


图 2

2. 第六题 (题略)：(1) 这是由两个相同的摆连成的双圆锥摆题，有两种情况 (图 3)，但考生们普遍只想当然地考虑了 α 、 β 均为正的情况，而没考虑 α 、 β 异号的情况。(2) 此题只有一位考生得满分，他能发现两种情况的运动可用同一组动力学方程来描述，即

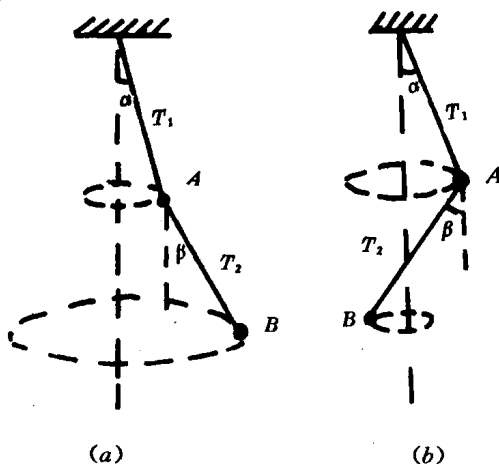


图 3

$$\text{质点 } A \quad \begin{cases} T_1 \cos \alpha = mg + T_2 \cos \beta \\ mL \sin \alpha \omega^2 = T_1 \sin \alpha - T_2 \sin \beta \end{cases}$$

$$\text{质点 } B \quad \begin{cases} T_2 \cos \beta = mg \\ mL(\sin \alpha + \sin \beta) \omega^2 = T_2 \sin \beta \end{cases}$$

式中 $\beta > 0$ 对应图 3 (a) 的情况, $\beta < 0$ 对应图 3 (b) 的情况。取小角近似后, 可得

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{g - L\omega^2}{L\omega^2} = \frac{g}{2g - L\omega^2}$$

$$\text{即} \quad \omega^4 - 4\left(\frac{g}{L}\right)\omega^2 + 2\left(\frac{g}{L}\right)^2 = 0.$$

解之可得转动平面的角速度

$$\omega_{1,2} = \sqrt{\frac{(2 \mp \sqrt{2})g}{L}}, (\beta_{1,2} = \mp \sqrt{2} \alpha)$$

两质点轨道半径之比:

$$\alpha/(\beta + \alpha) = 1/(\sqrt{2} + 1) = 0.414, \text{ 情况(1);}$$

$$\alpha/(|\beta| - \alpha) = 1/(\sqrt{2} - 1) = 2.414, \text{ 情况(2).}$$

3. 第五题 (题略): (1)

考生都能根据题意作出图4, 能察知 P 、 Q 释放后的分离点在其平衡位置 O 处, 分离时两者速度同为 v_0 , 此后 P 作简谐振动, Q 以 v_0 作匀速直线运动。由

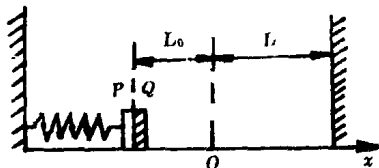


图 4

$$\frac{1}{2}(m_P + m_Q)v_0^2 = \frac{1}{2}KL_0^2$$

式中 $m_Q = 2.5m_P = 2.5m$.

得到 $v_0 = \sqrt{\frac{2K}{7m}}L_0$

P 作一次完全振动在 O 处与 Q 第一次碰撞, 应有

$$t_P = T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}}$$

$$t_Q = \frac{2L}{v_0} = 2\frac{L}{L_0}\sqrt{\frac{7m}{2K}}$$

因有 $t_P = t_Q$, 代入 L 值可得 $L_0 = 2.01$ 厘米。

(2) P 、 Q 分离后至第一次碰撞之间, P 至分离点 O 的最大距离, 依题意可知就是 P 第一次全振动的振幅 A_1 :

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}KA_1^2.$$

所以 $A_1 = 1.08$ 厘米。

P 、 Q 在第一次与第二次碰撞之间, P 至原分离点的最大距离 A_2 是否是第二次振动的振幅呢? 考生必须抓住在 O 处第一次碰撞后的瞬时速度, 建立起 P 、 Q 运动的清晰图景。

$$\begin{cases} m_P v_0 - m_Q v_0 = m_P v_P + m_Q v_Q \\ \frac{1}{2}m_P v_0^2 + \frac{1}{2}m_Q v_0^2 = \frac{1}{2}m_P v_P^2 + \frac{1}{2}m_Q v_Q^2 \end{cases}$$

解之可得: $v_P = -\frac{13}{7}v_0$ (向左),

$$v_Q = \frac{1}{7}v_0 \text{ (向右)}.$$

由(1)已知 Q 速为 v_0 时, Q 往返一次时间恰等于 P 的振动周期, 现在 Q 速小于 v_0 , P 的周期不变, 因此 P 在第一次碰撞后的 $\frac{1}{2}$ 周期内不会与 Q 发生第二次碰撞, A_2 应为第二次振动振幅。

$$\frac{1}{2}m_P v_P^2 = \frac{1}{2}KA_2^2$$

可得: $A_2 = 2$ 厘米。

(3) 考生很少能利用图解法来确定 P 、 Q 第二次碰撞时刻 t^* , 问题是不善于利用初始条件来确定 P 、 Q 的运动方程。以第一次碰撞为计时起点, $t=0$ 时, P 以最大负向速度通过 O , 用参考圆可确定初位相 $\alpha = \pi/2$, 故 P 的运动方程:

$$x_P = 2\cos\left[\sqrt{\frac{K}{m}}t + \frac{\pi}{2}\right]$$

Q 在第一次与第二次碰撞之间的运动方程:

$$x_Q = v_Q t = \frac{2}{13}\sqrt{\frac{K}{m}}t$$

当 $t=T$, 则 $x_Q = 1$ 厘米 $< L$, 故 Q 到达右壁之前的位移-时间图线是通过原点与 $(T, 1 \text{ 厘米})$ 点的直线, 即可标出 t^* (图 5)。

二、热学试题部分:

第七题 (题略): (1) 热力学第一定律向来是物理竞赛中的重点和热点。本题是研究一个含有混合气体和钢丝棉的热力学

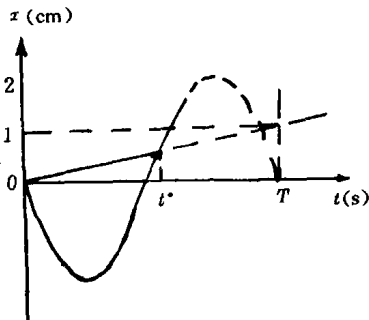
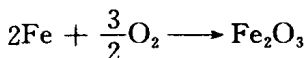


图 5

系统,讨论系统中存在化学反应的等温等压(300K 1大气压)过程中的热力学问题。缸内化学反应为



由于铁氧化生成1摩尔 Fe_2O_3 后氧气耗尽,缸内气体摩尔数减少($\Delta n = -1.5\text{mol}$),气体体积相应减少 $\left(\Delta V = \frac{T}{P}R\Delta n\right)$,外界在此等温等压过程中对系统的功为

$$W = -P\Delta V = -RT\Delta n = 3739.5\text{J}.$$

已知系统放热 $Q = -8.24 \times 10^5\text{J}$,故系统内能的改变量:

$$\Delta E = W + Q = -8.203 \times 10^5\text{J};$$

缸内气体内能改变量亦即氧气内能减少量:

$$\Delta E' = \frac{5}{2}RT\Delta n = -9.349 \times 10^3\text{J}.$$

考生普遍对热一律中各量不会区分其正负按代数数量运算,错误较多,没有同学能得到此题的满分。

(2) 求解缸内氮气密度的改变量可以有多种方式。这里介绍部分同学的一种解法:用 $P_0 = 1\text{atm}$, V_0 表示反应前缸内空气体积, M_1 、 M_2 表示反应前缸内氧气和氮气的质量, μ_1 、 μ_2 分别为氧和氮的摩尔质量; P 表示反应前氮气压强; V 表示反应后氮气体积。于是反应前缸内氧气和氮气的摩尔数分别为:

$$\begin{cases} \frac{M_1}{\mu_1} = 1.5\text{mol} \\ \frac{M_2}{\mu_2} = \frac{1}{\mu_2} \left(M_1 \times \frac{76.9}{23.1} \right) = 7.5\text{mol} \end{cases}$$

反应前,对缸内空气和氮气分别有气态方程为

$$\begin{cases} P_0 V_0 = \left(\frac{M_1}{\mu_1} + \frac{M_2}{\mu_2} \right) RT \\ P V_0 = \frac{M_2}{\mu_2} RT \end{cases}$$

于是反应前氮气的分压强 P 为

$$P = \frac{\frac{M_2}{\mu_2}}{\frac{M_1}{\mu_1} + \frac{M_2}{\mu_2}} P_0 = 0.79 \text{ atm}$$

反应后缸内氧气耗尽，氮气压强应为

$$P_0 = 1 \text{ atm}$$

于是氮气密度改变量，可由 $\rho = P\mu_2/RT$ 得到：

$$\Delta\rho = \frac{\mu_2}{RT} \Delta P = \frac{\mu_2}{RT} (P_0 - P) = 0.236 \text{ 千克/米}^3$$

三、电学试题部分：

1. 第三题（题略）：（1）这是一道利用对称性和等电势法计算的静电学问题。带有电量 Q 的球 1 依次地分别与球 2、球 3 用金属丝接触后，可用对称性或等势法确定各球电荷量，此时球 1、2、3 分别带电为： $Q''_1 = Q/4$ ， $Q_2 = Q/2$ ， $Q_3 = Q/4$ 。（2）当球 1 与球 4 接触，由于电荷分布已不呈对称状态，则球 1、4 的带电量 Q_1 、 Q_4 只能用等电势方法求出：

$$\begin{cases} V_1 = K \frac{Q_1}{a} + K \frac{Q_2}{r} + K \frac{Q_3}{\sqrt{2}r} + K \frac{Q_4}{r} \\ V_4 = K \frac{Q_1}{r} + K \frac{Q_2}{\sqrt{2}r} + K \frac{Q_3}{r} + K \frac{Q_4}{a} \end{cases}$$

由于 $V_1 = V_4$ ， $Q''_1 = Q_1 + Q_2 = Q/4$ ，利用 $r \gg a$ 略去二阶小量后，有

$$\begin{aligned} Q_{1,4} &= \frac{Q}{8} \left[1 \mp \frac{a(\sqrt{2}-1)}{\sqrt{2}(r-a)} \right] \\ &\approx \frac{Q}{8} \left[1 \mp \frac{a(\sqrt{2}-1)}{\sqrt{2}r} \right] \end{aligned}$$

不少同学在 V_1 、 V_4 式中只列三项，少了自身的那一项，若结果要精确到二次项就不对了。（3）最后将球 1 接地，设球 1 的电