

英国物理奥林匹克竞赛题解

● 英国物理协会
● 舒幼生 王秋瑟

译



教育科学出版社

英国物理奥林匹克赛题

舒幼生 王秋琴 译

(京)新登字第111号

英国物理奥林匹克赛题

舒幼生 王秋琴 译

责任编辑 刘 进

教育科学出版社出版、发行 (北京·北太平庄·北三环中路46号)

各地新华书店经销 北京朝阳展望印刷厂印装

开本: 787×1092 毫米 1/32 印张: 5.5 字数: 118.930

1992年6月第1版 1992年6月第1次印刷

印数: 0.001—5.000册

ISBN 7-5041-843-X/G·804

定价: 2.50元

译 序

1986年我国首次组队赴英国参加第17届国际物理奥林匹克竞赛(简称IPhO),至今已历六届赛事。举办IPhO的目的,诚如其章程所述,是“为了促进中学物理教育方面国际交流的发展”。世界各国中学物理教育情况不尽相同,历届IPhO东道国编制的赛题也各具特色。一般而言,原苏联以及东欧诸国出题偏重理论且行文严谨,西方发达国家出题讲究实际却时有疏漏。英国在注意实际方面属后一类型,但由于受到社会及文化传统的影响,无论为国际或为国内赛事所编题目在理论方面仍属上乘,在逻辑方面也并不逊色。交流的目的在于相互取长补短,为有所取,今将收集到的英国国内理论赛题翻译介绍给我国物理教育工作者以及有兴趣并有精力在物理学习方面进行课外提高的部分中学生。需要指出的是,个别赛题的内容如同大多数IPhO题目内容一样超出了我国中学教学水平,因此建议中学生读者在使用本书时应考虑自己的具体情况可取便取,当舍即舍。

英国中学生物理竞赛也冠以奥林匹克一词,分为初赛与决赛两个阶段,由于组织所限,两赛都只包含理论内容。初赛属于资格性考试,因此称为“试题(Test Paper)”。初赛试卷由Kent大学奥林匹克竞赛中心统一命题,并给出评分标准,然后寄发到全国所有中学,由各校教员自行组织考试和评分,得分超过满分的70%者均可参加决赛。初赛试题在难度上有所制约,起初考试时间为3小时,后减为1.5小时。决赛仍是统一命题,各校自行组织考试,答卷则寄送到Kent大

学竞赛中心统一评分。决赛试题有相当难度,除了基本题外,经常让学生从中选做几道题。决赛时间为3小时。决赛后,20名金牌获得者集中到伦敦参加实验(3.5小时)与高级理论(1小时)选拔考试,从中选出的5名学生组成参加IPhO的英国代表队。这里译出的是1984—1990年的初赛试题(简称试题)及题解和1983—1987年的决赛试题(简称赛题)及题解。

翻译本应忠实于原文,但考虑到本书的实用性应重于资料性,为方便读者,尤其是对题解部分做了适当的改述和补充。凡原文中确有不妥之处,无论改写与否,均写译注指出。一般的改述和补充的原则仍是忠实于原题解线索,在这意义上本书宜属翻译而不属编译之列。

译 者

1991年10月

目 录

译序

第一部分 初赛试题及解答(1984—1990)

1984/85年度试题(3小时).....	(2)
1985/86年度试题(3小时).....	(4)
1986/87年度试题(3小时).....	(7)
1987/88年度试题(3小时).....	(10)
1988/89年度试题(3小时).....	(15)
1989/90年度试题(1.5小时).....	(19)
1990/91年度试题(1.5小时).....	(22)
1984/85年度试题解答	(26)
1985/86年度试题解答	(30)
1986/87年度试题解答	(38)
1987/88年度试题解答	(45)
1988/89年度试题解答	(55)
1989/90年度试题解答	(63)
1990/91年度试题解答	(71)

第二部分 决赛试题及解答(1983—1987)

1983年赛题.....	(78)
1984年赛题.....	(79)
1985年赛题.....	(83)
1986年赛题.....	(88)
1987年赛题.....	(92)

1983年赛题解答.....	(100)
1984年赛题解答.....	(107)
1985年赛题解答.....	(121)
1986年赛题解答.....	(136)
1987年赛题解答.....	(151)

第一部分
初赛试题及解答
(1984—1990)

1984/85年度试题

(3 小时)

物理常量:

地球表面上重力加速度

$$g = 9.80 \text{ 米/秒}^2$$

地球平均半径

$$R_E = 6.40 \times 10^6 \text{ 米}$$

水的密度

$$\rho_w = 1000 \text{ 千克/米}^3$$

水银密度

$$\rho_{Hg} = 1.36 \times 10^4 \text{ 千克/米}^3$$

大气密度

$$\rho_A = 1.30 \text{ 千克/米}^3$$

大气压强

$$p_0 = 10^5 \text{ 帕}$$

A卷.

1. 给你若干阻值均为 4 欧姆的电阻, 试构造阻值为 11 欧姆的电路, 要求所用的电阻个数最少。 [5分]

2. 某人欲划船过 100 米宽的河流到达正前方的对岸点。若他在静水中划船速度为 2.0 米/秒, 河水流速为 1.0 米/秒, 那么他至少需经多长时间方能到达目的地? [5分]

3. 一人站在纬度为 50° 的地球表面处, 请计算他随地球自转的运动速度。 [5分]

4. 将一个在地球表面走时准确的单摆钟送到月球表面上, 那里的自由落体加速度与地球表面上的自由落体加速度之比为 0.170。如果此钟在地球上格林尼治时间午夜零点开始从零计时, 那么在格林尼治时间第二天中午的时刻此钟读数为多少? [5分]

5. 面积为 $3.0 \times 10^6 \text{ 米}^2$, 各处水深同为 150 米的水库用

于水力发电，发电站位于水库底面下方50米处，若水力发电效率为50%，试问将水从水库放尽能获得多少兆瓦小时的电能？ [5分]

6. 设空气可视为理想气体，那么一个空气气泡在水下多深处恰好不会上浮到水面？ [5分]

(本题需设水下各处均与水面上侧空气等温。——译注)

B卷.

7. 一匀质球漂在水上，球的四分之一表面露在水外，试求其密度。 [25分]

8. 请估算容积为 1.00 米^3 的立方体容器中至多能放入多少个直径为10.0毫米的球形滚珠。 [25分]

9. 某球形星体没有自转、没有大气，它的密度处处相同。在该星体探险的一名字航员意外地掉进一个狭窄的柱形火山口，火山口的底部恰在星体中心。已知星体的半径为 r ，星体表面处的自由落体加速度为 g_0 ，试用 r 和 g_0 表述下面两个量：

(i) 宇航员降落到火山口底部时的速度；

(ii) 宇航员的降落时间。 [25分]

10. 一条东西走向的界线将沙漠区域与干土区域分开，一牧人和他女友分住在两个区域，且各自与分界线的距离相同，女友的住处在他住处的正东南方向50英里处。牧人计划骑骆驼(骆驼在沙漠中驮人行走速度为3英里/小时，在干土地上速度为5英里/小时)去看望他的女友，请为他建立能解出最短旅途时间 T 的方程组，然后通过数值计算来证明 $T = 12$ 小时58分。 [25分]

1985/86年度试题

(3 小时)

物理常量:

真空光速	$c = 3.0 \times 10^8$ 米/秒
普朗克常量	$h = 6.6 \times 10^{-34}$ 焦·秒
地球表面上重力加速度	$g = 9.8$ 米/秒 ²
氢原子质量	$m_H = 1.67 \times 10^{-27}$ 千克

A卷.

1. 一块重石从多高处自由下落, 到达地面时速度能与空气中声速相同? [5分]

2. 设想地球绕其南北轴加速旋转, 直到赤道上的物体“失重”为止, 此时“1天”应有多长时间? [5分]

3. 将阻值为 R 的均匀电阻丝 W 弯成一个闭合圆, 在圆上取可动点 S 和固定点 T , 然后可测量图1.1中的 θ ($0 < \theta < 360^\circ$) 角。若要求 S 与 T 之间的电阻为 (i) $R/4$ 、(ii) $R/6$, 那么 θ 角分别为多大? [9分]

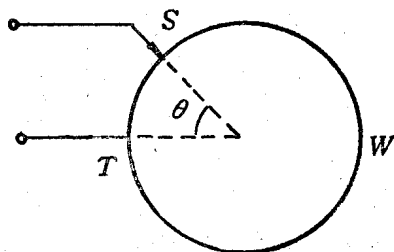


图1.1

4. 合理地估算下述各量:

- (i) 原子核密度;
- (ii) 地球大气总质量;
- (iii) (每分钟33转) 唱片*一个侧面刻槽的总长

度;

(iv) 一名中学生全身包含的原子数。 [20分]

(* 实为每分钟 $33\frac{1}{3}$ 转。唱片的直径约为0.3米, 录音槽偏

向外侧, 一个面放演时间约为25分钟。——译注)

5. (i) 密度为 ρ_A 、质量为 m_A 的液体A与密度为 ρ_B 、质量为 m_B 的液体B混合后, 密度为 ρ_C 的固态物体C恰好可浮于其内。试用 m_A 、 m_B 、 ρ_A 、 ρ_B 来表述 ρ_C 。

(ii) 有两种折射率分别为 n_1 和 n_2 的透明液体可供你随意混合, 现在请设计出一种实验方法来测量某种玻璃粉材料的折射率 n_G , 已知 $n_1 < n_G < n_2$ 。 [10分]

6. 在粒子物理研究中, 观察到波长非常短的电磁辐射经过吸收性物质时会“衰变”成实物粒子。试计算能“衰变”成一对电子—正电子的 γ 射线波长上限。(电子与正电子质量均为 9.1×10^{-31} 千克) [5分]

B卷.

7. 在光纤通讯系统中数据以光脉冲形式沿光纤轴传送, 光脉冲的讯号时宽及间歇时宽均为 Δt (参见图1.2)。光的平均波长为 λ_0 , 带宽为小量 $\Delta\lambda$, 光纤玻璃折射率 n 在带宽 $\Delta\lambda$ 范围内随波长的变化率为 $dn/d\lambda = K$ (K 为一常量), λ_0 对应的折射率为 n_0 。

(i) 用草图画出光脉冲经光纤的传送而产生的形状变化 (不考虑吸收

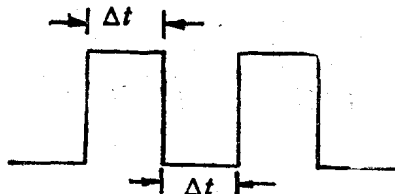


图1.2

作用)。

(ii) 在光纤中光讯号经多长距离 d 后,所传送数据便不可辨认? 请用真空光速 c 及上面给出的诸量来表述 d 。

(iii) 若光脉冲波长范围为 600 ± 0.10 纳米, $\Delta t = 1$ 纳秒, $n_0 = 1.6000$, $k = -1.5 \times 10^4$ /米, 试计算 d 值。 [16分]

8. 两位外星人 A 和 B 生活在一个没有自转、没有大气、表面光滑的匀质球形小星球上。有一次他们决定进行一场比赛, 从他们所在的位置出发各自应用航天技术到达星球的对径位置。

A 计划穿过星体直径凿一个通道, 采用自由下落方式到达目标位置; B 计划沿着紧贴星球表面的空间轨道 (象卫星一样) 航行到目标位置。

试问 A 与 B 谁会赢得这场比赛? [16分]

9. 如图1.3所示, 热容量分别为 C_1 和 C_2 的两个金属块用一根热容量可忽略的粗棍 R 连接起来, 整个系统与外界绝热。在 $t = 0$ 时刻, 两金属块的温度分别为 θ_{10} 和 θ_{20} , 单位时间棍 R 在两金属块之间传递的热量 P 正比于两金属块的温度差 $\theta_1 - \theta_2$, 即有

$$P = K(\theta_1 - \theta_2)$$

其中 K 为常量。

试用 θ_{10} 、 θ_{20} 、 C_1 、 C_2 和 K 来表述两金属块的温差恰好降到初始温差一半的时刻 t 。

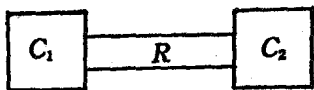


图1.3

[16分]

1986/87年度试题

(3 小时)

物理常量:

真空光速	$c = 3.0 \times 10^8$ 米/秒
普朗克常量	$h = 6.6 \times 10^{-34}$ 焦·秒
原子质量单位	$1u = 1.7 \times 10^{-27}$ 千克
阿伏伽德罗常数	$N_A = 6.0 \times 10^{23}$ / 摩尔
重力加速度	$g = 9.8$ 米/秒 ²
地球平均半径	$R_E = 6.4 \times 10^6$ 米
标准状态下的空气密度	$\rho_A = 1.3$ 千克/米 ³
水银密度	$\rho_{Hg} = 1.36 \times 10^4$ 千克/米 ³

A 卷.

1. 至少需要接通多少个电动势为1.5伏、内阻为0.50欧姆的电池, 才能使功率为100瓦、工作电压为240伏的灯泡正常工作? [4分]

2. 将两个相同的水银气压表同时放在一座高为 400 米的摩天大楼底层和顶层, 试问两表读数差为多少? [4分]
(略去底层与顶层的温差。——译注)

3. 有一条摩擦可忽略的滑雪道, 它从100米高的小山峰

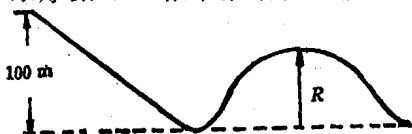


图1.4

开始，经一直的斜坡到达地面，然后又如图1.4所示进入半径和高度均为 R 的圆弧形小丘。若滑雪者在小山峰从静止开始下滑，到达小丘顶部时不会飞离滑雪道，那么 R 至少应为多大？ [4分]

4. 激光管以50瓦的功率发射波长为670纳米的光束，试计算该管每秒发射的光子数。又若此光束全部照射到前方某黑体表面，那么黑体表面所受力为多大？ [6分]

5. 自由长度为1.0米、截面积为 $25 \times 10^{-6} \text{米}^2$ 的轻弹性绳，两端分别连结在相距1.0米的两个固定点上，这两个固定点在同一水平线上。今在绳的中点悬挂质量为5.0千克的重物，平衡后绳折成如图1.5所示的直角，试计算绳的杨氏模量。 [6分]

6. 冬季湖面上的冰经两天时间厚度从20毫米增为40毫米，在此期间冰层底部与顶部的平均温差为8.0开。设冰的密度为920千克/米³，冰的熔解热为 $320 \times 10^3 \text{焦耳/千克}$ ，试估算冰的热传导率。

[8分]

7. 某人站在距海平面高为50米的悬崖上，假设地球是一个理想的球体，试计算他在地球表面上的视野所极点到他之间的距离。然后，简要地讨论空气的折射率会怎样影响上述计算结果。 [8分]

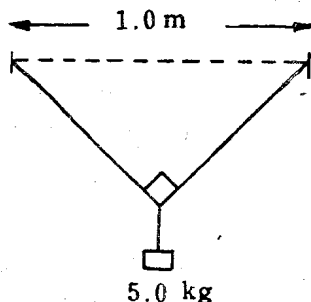


图1.5

B卷.

8. 合理地估算以下各量:

- (a) 100米短跑运动员比赛中的最大动能;
- (b) 地球在绕太阳轨道上的运行速度;
- (c) 本页题纸包含的原子个数;
- (d) 原子核密度;
- (e) 地面附近人体所受空气浮力。 [20分]

9. (a) 如图1.6所示, 质量为 m 的小物体连接在两条相同的处于自由长度状态的水平弹簧之间, 弹簧的另外一对端点均被固定。今使小物体沿着弹簧长度方向偏离平衡位置, 然后让其自由运动。

设每根弹簧无论在受压缩还是被拉长时它的倔强系数均为 K , 试用 K 和 m 来表述小物体的振动周期。

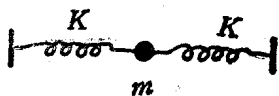


图1.6



图1.7

(b) 将上题中的系统换成如图1.7所示的系统。即有三根相同的弹簧, 倔强系数均为 K , 都处于水平自由长度状态; 有两个质量均为 m 的小物体。现在在水平方向移动两个小物体, 然后让它们自由运动。设在 t 时刻左侧弹簧伸长 x_1 , 中间弹簧伸长 x_2 , 试写出这两个小物体的运动方程。

(c) 假定上述两运动方程的解为

$$x_1 = A_1 \cos \omega t$$

$$x_2 = A_2 \cos \omega t$$

其中 A_1 、 A_2 均为常量, 试证解中的 ω 只有两个可取值。

$$\sqrt{\frac{K}{m}} \quad \text{或} \quad \sqrt{\frac{3K}{m}}$$

[20分]

(本题不考虑小物体所受重力,或者说重力已被其他支持性力所抵消。——译注)

10. 图1·8所示为一惠斯通电桥, 内电路参量为

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10.000 \text{ 欧姆}$$

电流计G的内阻为 R_g , 电池内阻可略, 电动势为2.000伏。

(a) 就 $R_g = 0$ 和 $R_g = \infty$ 两种情况计算线路中A、B两点间的等效电阻。

(b) 设电桥四臂电阻参量确如上述, 试证合上电键S后无论 R_g 取何值均无电流流过电流计G。

(c) 若 R_4 增为10.001欧姆, $R_g = 10.000$ 欧姆, 试求电键S合上后通过G的电流。

[20分]

(原题(b)中要求证明时仅从电压考虑, 这是不妥的, 故删。——译注)

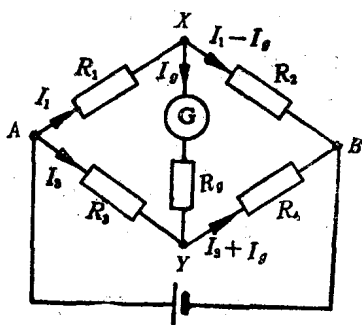


图1·8

1987/88年度试题

(3 小时)

物理常量:

真空光速

$$c = 3.0 \times 10^8 \text{ 米/秒}$$

空气中声速

$$v_s = 330 \text{ 米/秒}$$