

高中物理



竞赛试题分类解析

十年全国奥林匹克

▲ 重庆出版社

课堂内外杂志社
中国科协奥林匹克竞赛委员会

编

责任编辑：筱 青
封面设计：唐小慧
版式设计：聂丹英

十年全国奥林匹克竞赛试题 分类解析

每年，从奥赛走向清华、北大的学子数以十计，
走向其他重点大学的学子数以百计。

但愿下一个通过奥赛走向成功的人就是你！

本套丛书由中国科协奥林匹克竞赛委员会和课堂
内外杂志社联合编写，中国化学会竞赛委员会、中国
数学会竞赛委员会、中国物理学会竞赛委员会对本丛
书的编写给予了积极的指导与支持，丛书的具体编撰
者为各学科的奥赛金牌教练。

本丛书编写科学、严谨、权威，分学科分知识点
对奥赛试题进行详细讲解，既有解题思路，更有解题
启示，读者可以此达到举一反三的效果。



ISBN 7-5366-5313-1



9 787536 653139 >

ISBN 7-5366-5313-1/G · 1768

本册定价：12.00 元 （全套定价：36.00 元）

十年全国奥林匹克 竞赛试题分类解析

(高中物理)

课堂内外杂志社

中国科协奥林匹克竞赛委员会

编

重庆出版社

前 言

素质教育的重点是培养学生的创新精神和实践能力,鼓励学生个性特长的发展。高中数学、物理、化学等学科奥林匹克竞赛是经教育部批准,与国际奥林匹克学科竞赛接轨的竞赛活动。该竞赛活动有利于激发学生的兴趣爱好,发展学生个性特长;有利于培养学生的创新意识和思维能力,提高学生信息处理及分析解决问题的能力;有利于拓宽学生的知识视野,体验知识的认识和应用价值;有利于促进教师教学改革,提高教学水平。全国高中学科奥林匹克竞赛试题从不同侧面体现了上述精神。为此我们编写了这套《1991—2000年全国奥赛试题分类解析》,按数学、物理、化学分册出版。

本书具有以下特点:

1.资料性。本书收集了近十年全国高中物理奥林匹克竞赛试题,按知识内容分类编写,为师生开展高中学科奥林匹克竞赛活动提供了翔实的资料库。

2.范例性。本书中所选试题的解答,注意中学生实际分析解答问题的思路与全国竞赛委员会给出的参考解答相结合,给出了结合中学生实际的典型解答,并在每个试题后的小结中分析了其它各种解答的基本思路。

3.启发性。书中对每个试题着重从知识内容、思路和方法(就问题给出的情景,如何建立物理模型、如何确定解答思路和方法等方面)作了详细的解题分析,题后的“说明”则从知识延伸、思路发散、题型变换等方面予以拓展,具有较强的启发性。

本书编者均为重庆市高中物理学科奥林匹克竞赛培训的优秀教练员,具有丰富的教学经验。物理分册的编者有王雄、吴高文、陈永田、周智良、赵亚夫、刘也磊、张勇、张和松、梅家弈,主编汪勃,副主编周智良。

目 录

第一章 物体平衡

题 1	第 6 届预赛第十题	1
题 2	第 7 届决赛第三题	2
题 3	第 10 届预赛第三题	3
题 4	第 8 届预赛第十题	4
题 5	第 9 届预赛第四题	6
题 6	第 10 届决赛第一题	7
题 7	第 11 届预赛第二题	8
题 8	第 13 届预赛第二题	9
题 9	第 14 届复赛第一题	11
题 10	第 14 届决赛第二题	13
题 11	第 15 届决赛第一题	15
题 12	第 11 届预赛第十一题	17
题 13	第 11 届决赛第四题	19
题 14	第 16 届决赛第四题	22
题 15	第 15 届决赛第六题	24

第二章 运动和力

题 1	第 15 届复赛第二题	32
题 2	第 6 届预赛第七题	34

题 3	第 9 届决赛第一题	35
题 4	第 8 届决赛第七题	36
题 5	第 10 届预赛第八题	38
题 6	第 17 届预赛第二题	41
题 7	第 6 届预赛第十五题	42
题 8	第 5 届预赛第七题	44
题 9	第 16 届预赛第八题	45
题 10	第 16 届复赛第四题	47
题 11	第 15 届复赛第五题	48
题 12	第 17 届复赛第四题	51
题 13	第 17 届复赛第三题	54

第三章 动量和能量

题 1	第 7 届预赛第十一题	57
题 2	第 13 届复赛第三题	58
题 3	第 12 届预赛第七题	60
题 4	第 7 届决赛第五题	61
题 5	第 11 届预赛第七题	62
题 6	第 7 届预赛第十题	64
题 7	第 15 届预赛第二题	65
题 8	第 6 届预赛第十四题	67
题 9	第 14 届决赛第一题	68
题 10	第 5 届预赛第十四题	70
题 11	第 8 届预赛第五题	72
题 12	第 8 届决赛第五题	74
题 13	第 5 届决赛第六题	75
题 14	第 15 届预赛第五题	78
题 15	第 9 届预赛第八题	80

第四章 振动和波

题 1	第 13 届预赛第八题	84
题 2	第 10 届决赛第五题	86
题 3	第 16 届预赛第九题	88
题 4	第 12 届决赛第六题	90
题 5	第 13 届决赛第七题	92
题 6	第 15 届预赛第六题	95
题 7	第 10 届决赛第八题	97
题 8	第 16 届预赛第七题	99

第五章 热学

题 1	第 7 届决赛第六题	102
题 2	第 8 届预赛第六题	103
题 3	第 8 届预赛第八题	104
题 4	第 8 届决赛第三题	106
题 5	第 9 届预赛第三题	107
题 6	第 9 届决赛第二题	109
题 7	第 10 届预赛第九题	110
题 8	第 10 届决赛第七题	113
题 9	第 11 届预赛第六题	115
题 10	第 11 届决赛第二题	117
题 11	第 12 届预赛第三题	118
题 12	第 12 届决赛第五题	119
题 13	第 13 届预赛第四题	120
题 14	第 13 届复赛第五题	121
题 15	第 13 届决赛第四题	122

题 16	第 14 届预赛第六题	124
题 17	第 14 届复赛第二题	125
题 18	第 14 届决赛第三题	127
题 19	第 15 届预赛第七题	129
题 20	第 15 届复赛第四题	130
题 21	第 15 届决赛第二题	132
题 22	第 16 届预赛第三题	133
题 23	第 16 届复赛第一题	134
题 24	第 16 届决赛第一题	135
题 25	第 17 届预赛第六题	137
题 26	第 17 届复赛第一题	138

第六章 电场和磁场

题 1	第 15 届预赛第三题	140
题 2	第 8 届预赛第四题	141
题 3	第 19 届预赛第五题	142
题 4	第 13 届复赛第四题	143
题 5	第 14 届预赛第四题	145
题 6	第 12 届预赛第八题	147
题 7	第 7 届决赛第一题	148
题 8	第 13 届预赛第五题	149
题 9	第 10 届预赛第五题	150
题 10	第 7 届预赛第九题	151
题 11	第 11 届预赛第九题	153
题 12	第 11 届预赛第三题	156
题 13	第 8 届预赛第九题	158
题 14	第 13 届决赛第二题	161
题 15	第 15 届决赛第五题	163

第七章 电路和电磁感应

题 1	第 15 届复赛第六题	168
题 2	第 9 届决赛第五题	171
题 3	第 10 届预赛第六题	174
题 4	第 14 届复赛第三题	177
题 5	第 14 届预赛第五题	181
题 6	第 7 届预赛第十题	184
题 7	第 13 届复赛第六题	186
题 8	第 8 届预赛第二题	189
题 9	第 7 届决赛第二题	191
题 10	第 13 届复赛第一题	192
题 11	第 16 届复赛第三题	196
题 12	第 7 届复赛第六题	198
题 13	第 11 届预赛第八题	200
题 14	第 10 届预赛第四题	202
题 15	第 10 届决赛第二题	204
题 16	第 12 届预赛第六题	206
题 17	第 14 届预赛第九题	208
题 18	第 15 届复赛第三题	211

第八章 光学

题 1	第 10 届预赛第七题	215
题 2	第 11 届预赛第十题	217
题 3	第 9 届预赛第七题	219
题 4	第 13 届预赛第六题	220
题 5	第 11 届预赛第五题	222

题 6	第 15 届预赛第四题	223
题 7	第 17 届复赛第六题	224
题 8	第 12 届预赛第五题	227
题 9	第 17 届预赛第三题	228
题 10	第 13 届复赛第二题	229
题 11	第 14 届预赛第八题	232
题 12	第 14 届复赛第五题	234
题 13	第 16 届复赛第二题	238
题 14	第 16 届预赛第五题	241
题 15	第 15 届复赛第一题	243

第一章 物体平衡

【题 1】(第 6 届预赛第十题) 有 6 个完全相同的刚性长条薄片 $A_i B_i (i=1, \dots, 6)$ 其两端下方各有一个小突起, 薄片及突起的重量均可以不计, 现将此 6 个薄片架在一只水平的碗口上, 使每个薄片一端的小突起 B_i 恰在碗口上, 另一端小突起 A_i 位于其下方薄片的正中, 由正上方俯视如图 1-1 所示. 若将一质量为 m 的质点放在薄片 $A_6 B_6$ 上一点, 这一点与此薄片 midpoint 的距离等于它与小突起 A_6 的距离 (如图 1-1), 求薄片 $A_6 B_6$ 中点所受的 (由另一薄片的小突起 A_1 所施的) 压力.

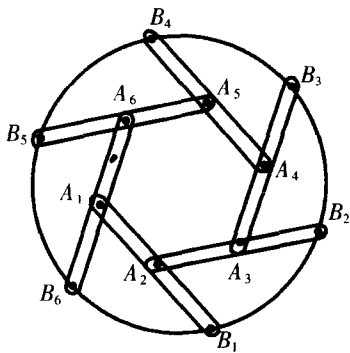


图 1-1

分析: 本题属于一组刚体平衡问题. 题中“另一端小突起 A_i 位于其下方薄片的正中”告诉我们薄片 midpoint 所受突起的压力的力臂是另一突起所受的弹力的力臂的一半, 从而有规律可寻.

解 设所求的压力 $P_1 = P$ (向下), 并设任一小突起 A_i 对其下的薄片 midpoint 的压力及其反作用力的大小为 P_i , 则根据以 B_i 点为支点的力矩的平衡知

$$P_{i+1} = 2P_i$$

即 $P_2 = 2P_1 = 2P, P_3 = 2P_2 = 2^2 P, \dots$

故 $P_6 = 2^5 P = 32P$ (1)

再考虑 A_6B_6 薄片以 B_6 点为支点的力矩平衡

由图 1-2 得

$$P/2 + 3mg/4 - 32P = 0 \quad (2)$$

$$\text{解出 } P = mg/42 \quad (3)$$

[解后思考] 解决这类一组刚体平衡问题的方法一般是隔离其中某一个刚体, 在本题中即为一薄片, 对它进行受力分析, 然后再找出一般的规律性, 最后根据力矩平衡条件对研究对象列方程求解。

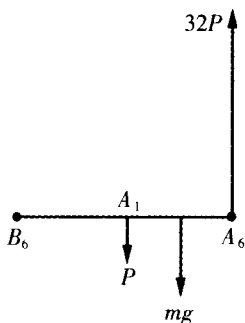


图 1-2

【题 2】 (第 7 届决赛第三题) 一薄壁圆柱形烧杯, 半径为 r , 质量为 m , 重心位于中心线上, 离杯底的距离为 H . 今将水慢慢注入杯中, 问烧杯连同杯内的水共同重心最低时水面离杯底的距离等于多少? 为什么? (设水的密度为 ρ)

分析: 本题属于质量变化其重心也随之改变的极值问题. 开始注水时, 共同重心在水面之上, 这时如再加水, 就是在共同重心下方加质量, 所以重心将会随着水的注入而逐渐下降.

当重心下降到水面时, 重心最低, 因为, 此时如再加水, 就是在共同重心上加质量, 重心就会升高.

解 设注水深度为 x , 则其重心的高度为

$$\begin{aligned} x_0 &= (mH + \pi r^2 x \rho \cdot \frac{x}{2}) / (m + \pi r^2 x \rho) \\ &= (mH + \rho \pi r^2 x^2 / 2) / (m + \rho \pi r^2 x) \end{aligned} \quad (1)$$

重心最低时有

$$x_0 = x \quad (2)$$

$$\text{即 } x = (mH + \rho \pi r^2 x^2 / 2) / (m + \rho \pi r^2 x)$$

$$\text{可化为 } \pi r^2 \rho x^2 / 2 + mx - mH = 0$$

$$\text{解得 } x = (-m \pm \sqrt{m^2 + 2\pi r^2 \rho mH}) / \pi r^2 \rho \quad (3)$$

$$\text{舍去负值得 } x = (-m + \sqrt{m^2 + 2\pi r^2 \rho mH}) / \pi r^2 \rho$$

[解后思考] 重心是重力合力的作用点 (存在重力合力的条件

下),当物体所在位置处的重力加速度 g 是常量时,重心就是质心.若物体很大,以致各处的 g 不能认为相同时,则重心不等于质心.本题就是根据质心的计算公式求出重心的.求重心的规律有:①根据同向平行力的合成规律;②有固定转轴的物体平衡条件.常常用隔离法、负质量法(挖补法、或填充法)求重心.此题若改为求当水面距杯底的距离等于多少时,杯子稳度最大,其分析思路和求解过程不变.

【题 3】(第 10 届预赛第三题)半径为 R , 质量为 M_1 的均匀圆球与一质量为 M_2 的重物分别用细绳 AD 和 ACE 悬挂于同一点 A , 并处于平衡, 如图 1-3 所示. 已知悬点 A 到球心 O 的距离为 L , 若不考虑绳的质量和绳与球的摩擦, 试求悬挂圆球的绳 AD 与竖直方向 AB 的夹角 θ .

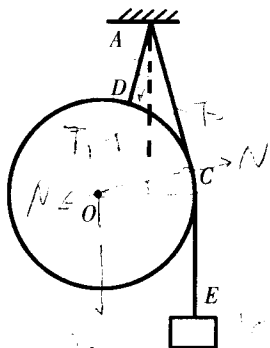


图 1-3

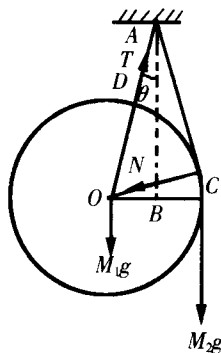


图 1-4

分析:此题属于系统平衡模型.注意小球将受到 ACE 绳的压力, 首先通过受力分析, 确定平衡后 AD 绳的方向是关键, 然后再由平衡条件求解. 对于小球共受重力 M_1g , ACE 绳的压力 N 和 AD 绳的拉力 T 三个力作用. 由于不考虑绳与球的摩擦, 所以 N 的方向沿半径指向球心. 重力也过球心, 所以球平衡时三力必共点, 故拉力 T 也必过球心. 因此可判断 AD 绳一定沿 OA 方向如图 1-4.

解 对球和重物组成的系统, 以 A 为轴, 根据有固定转轴的物体的平衡条件, 有

$$M_1g\overline{OB} = M_2g\overline{BC} \quad (1)$$

$$\text{由图可知: } \overline{OB} = L \sin \theta \quad (2)$$

$$\overline{BC} = R - L \sin \theta \quad (3)$$

把(2)、(3)代入(1)式可解得

$$\sin \theta = M_2 R / L (M_1 + M_2)$$

$$\theta = \arcsin [M_2 R / L (M_1 + M_2)]$$

【解后思考】 此题虽是系统平衡问题,但对球的受力分析,通过球的平衡从而确定各个力的方向是关键.此题也可分别选球和重物为研究对象,对球列出共点力平衡方程,对重物 and 绳列出力矩平衡方程,仍可求解,但方法较繁.所以选取适当的研究对象和转动轴,可大大简化计算过程.

【题4】(第8届预赛第十题)半径为 r , 质量为 m 的三个相同的刚性球放在光滑的桌面上,两两互相接触,用一高为 $1.5r$ 的圆柱形刚性圆筒(上下均无底)将此三球套在筒内,圆筒的半径选取适当值,使得各球间及圆筒与球间均保持接触,但相互间无作用力.现取一质量为 m , 半径为 R 的第四个球放在三球上方的正中,设所有接触面的静摩擦系数均为 $\mu = \frac{3}{\sqrt{15}}$, 问 R 取何值时,用手轻轻竖直向上提起圆筒,即能将四球一起提起来?

分析: 此题属于靠静摩擦力维持系统平衡问题.弄清空间关系是解本题的基础.结构虽然是立体空间但其对称性,可转化为平面力系.要使竖直向上提起圆筒时能将四球一起提起,上、下球的接触处以及球与圆筒的接触处不能发生滑动,否则就不可能提起.首先由平衡条件求得各球所受的力,然后由不产生任何相互滑动所满足的条件,先求出 θ , 再求出 R .

解 画出俯视图,球 O_1 受力情况如图 1-5 所示.要使竖直向上提起圆筒时能将四球一起提起,即要求满足:

$$F_1 \leq \mu N_1 \quad (1)$$

$$F_2' \leq \mu N_2' \quad (2)$$

也就是说上、下球的接触及球与圆筒的接触处不能发生滑动,否则就不可能提起.

对下面一个球,选球心 O_1 为支点,则有 $F_1 = F_2'$ 。

选 F_1 与 F_2' 的交点 A 为支点 (见图 1-5), 则:

$$N_2' \cdot L + mg \cdot r = N_1 \cdot L$$

L 为 A 点到球 O_1 的切线长, 有:

$$N_1 = N_2' + \frac{r}{L} \cdot mg > N_2'$$

由于 $F_1 = F_2'$, $N_1 > N_2'$, 所以上面 (2) 式若满足, 那么 (1) 式必满足, 为此只须考虑 (2) 式。

选球 O_1 与圆筒的接触点 B 为支点 (见图 1-5), 对球 O_1 有

$$N_2' \cdot r \sin \theta + mg \cdot r = F_2' \cdot (r + r \cos \theta)$$

另一方面, 把四个球当作一个整体, 便有:

$$F_1 = \frac{4}{3} mg$$

$$mg = \frac{3}{4} F_1 = \frac{3}{4} F_2' \text{ 代入上式得到:}$$

$$F_2' / N_2' = 4 \sin \theta / (1 + 4 \cos \theta) \text{ 结合 (2) 式得:}$$

$$[4 \sin \theta / (1 + 4 \cos \theta)] \leq \mu \leq 3 / \sqrt{15}$$

两边平方整理后有

$$128 \cos^2 \theta + 24 \cos \theta - 77 \geq 0$$

$$\text{解出} \quad \cos \theta \geq \frac{11}{16} \quad \cos \theta \leq -\frac{7}{8} \text{ (舍去)}$$

设 $R = br$, 由图 1-5 中的几何关系知:

$$\cos \theta = \overline{O_1 O} / \overline{O_1 O_2} = \left(\frac{2}{3} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2r \right) / (R + r) = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{3} / (b + 1)$$

$$b = (2\sqrt{3} / 3 \cos \theta) - 1 \leq \frac{2\sqrt{3}}{3} \cdot \frac{16}{11} - 1 = \frac{32\sqrt{3}}{33} - 1$$

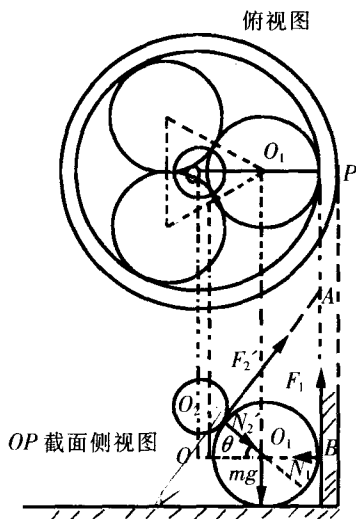


图 1-5

还应考虑到 R 不能太小, 否则将在三球中掉下, 即必须使:

$$R > \overline{O_1 O} - r = \frac{2\sqrt{3}}{3}r - r$$

$$R \text{ 的取值 } (\frac{2\sqrt{3}}{3} - 1)r \leq R \leq (\frac{32\sqrt{3}}{33} - 1)r$$

[解后思考] 靠静摩擦力来维持平衡的问题, 在有不滑动条件 $f_s \leq \mu_s N$ 之后, 通常利用 $\Sigma F=0$ 求出 f_s 和 N , 而本题通过巧选转轴, 利用 $\Sigma M=0$ 来直接寻找 f_s 与 N 的关系, 具有非常明显的优越性. 这种处理方法有一定的普遍意义, 对于球、圆柱体之类的物体尤为有效, 因为它们力臂的几何关系往往是简单的. 当年竞赛给出的解答过程就较为冗长.

【题5】(第9届预赛第四题) 有一水果店, 所用的秤是吊盘式杆秤, 量程为 10kg. 现有一较大的西瓜, 超过此秤的量程, 店员 A 找到另一秤砣, 与此秤砣完全相同, 把它与原秤砣结在一起作为双秤砣进行称量. 平衡时, 双秤砣位于 6.5kg 刻度处, 他将此读数乘以 2 得 13kg, 作为此西瓜的质量卖给顾客. 店员 B 对这种称量结果表示怀疑. 为了检验, 他取另一西瓜, 用单秤砣正常称量得 8kg, 用店员 A 的双秤砣法称量, 得读数为 3kg, 乘以 2 后得 6kg, 这证明了店员 A 的办法是不可靠的. 试问, 店员 A 卖给顾客的那个西瓜的实际质量是多大?

分析: 本题属于力矩平衡的应用问题. 明确杆秤的结构, 刻度是否均匀及画出杆秤的示意图, 确定 0 刻度(定盘星)是解决此问题的关键.

解 如图 1-6 所示, 设杆秤的提纽 C(支点)与秤盘悬挂点 A 的距离为 d , 零刻度 O(定盘星)到支点的距离为 l_0 (O 点若在 C 点左边, 与 A 点在提纽的同一侧, l_0 为负值; 反之, l_0 为正值), 每 kg 刻度长为 λ , 秤砣的质量为 m_0 , 当秤盘中不放物体的情况下, 为使秤平衡, 秤砣应放在 O 点处, 这时秤杆和秤盘对 C 点的合力矩 M (逆时针方向为正) 与秤砣产生的力矩 (顺时针方向为

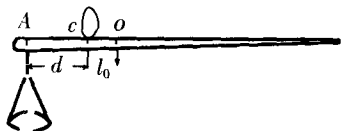


图 1-6

负)相等,即 $M=m_0gl_0$.当秤盘中放有质量为 m kg 的物体时,平衡条件为

$$mgd+M=m_0g(l_0+\lambda m)$$

即 $md=m_0\lambda m, \quad d=\lambda m_0$

这是每一杆秤都应满足的关系.

用双砵称量质量为 m 的物体时,设读数为 m' ,平衡时应有

$$mgd+M=2m_0g(l_0+\lambda m')$$

即 $md=m_0l_0+2dm', \quad m'=(md-m_0l_0)/2d$

得到 $2m'=m-(m_0l_0/d)$

因此,用 $2m'$ 作为称量的结果时,其值与实际质量之差为

$$\Delta m=2m'-m=-m_0l_0/d$$

此差值与 m 无关,当 $l_0>0$ 时, $2m'$ 偏小, $l_0<0$ 时, $2m'$ 偏大,由店员 B 的检验可知

$$\Delta m=-m_0l_0/d=-2\text{kg}$$

既然 Δm 与所称物体质量无关,可知店员 A 卖给顾客的那个西瓜的实际质量为

$$m=2m'+m_0l_0/d=(13+2)=15\text{kg}$$

[解后思考] 杆秤称质量的原理是力矩平衡条件的一个具体应用.杆秤种类繁多,有单提纽、单秤钩(盘);有双提纽,单秤钩(盘);还有单提纽、双秤钩等.其原理都是一样,同一杆秤用不同秤砣,称量结果与实际质量相差较大,本题就是例子之一.所有求杆秤称量误差问题都可以用上面的方法求解.

【题6】(第10届决赛第一题)用20块质量均匀分布的相同光滑积木块,在光滑水平面上一块叠一块地搭成单孔桥.已知每一积木块的长度为 l ,横截面是边长为 $h=l/4$ 的正方形.要求此桥具有最大跨度(即桥孔底宽).试画出该桥的示意图,并计算跨度与桥孔高度的比值.

分析: 本题属于有定轴转动平衡问题.由于积木块是光滑的,最上层两块积木间应无水平方向的相互作用力,其他各积木块之间也无水平作用力.设第 n 块积木端点与第 $n+1$ 块积木端点的距离为