



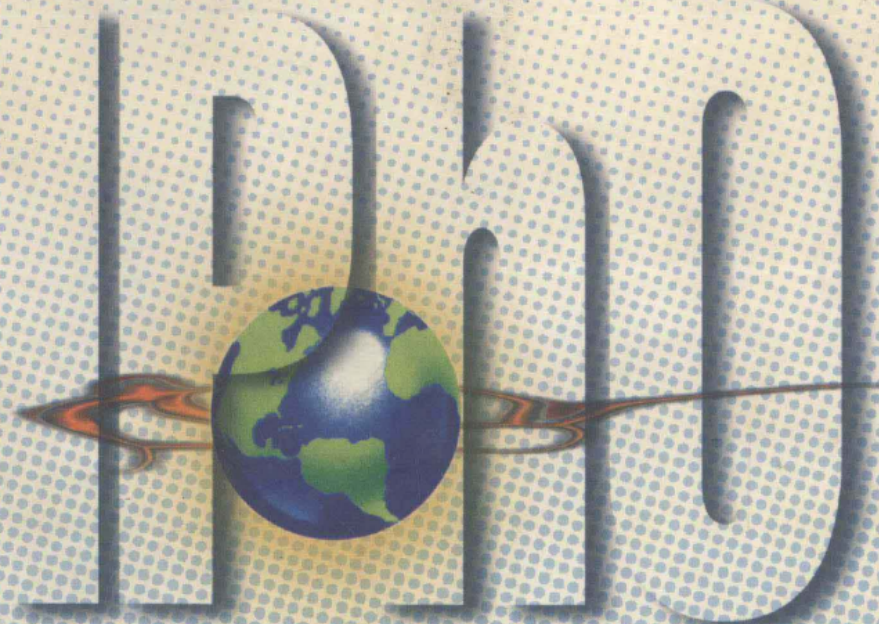
中学生精典文库

奥林匹克物理

INTERNATIONAL PHYSICS OLYMPIAD

舒幼生 主编

1



International Physics Olympiad

湖南教育出版社

奥林匹克竞赛系列书目

- | | |
|-------------------------------|-------|
| 中学生物理奥林匹克辅导讲座 (16.40 元) | 宓子宏主编 |
| 奥林匹克物理 1 (12.60 元) | 舒幼生主编 |
| 奥林匹克物理 2 (14 元) | 舒幼生主编 |
| 奥林匹克物理 3 (12.40 元) | 舒幼生主编 |
| 90 年代国际物理奥林匹克竞赛题及解答 (12.90 元) | 舒幼生主编 |
| 初中物理奥林匹克竞赛题及解答 (12.90 元) | 王殖东主编 |
| 中学化学奥林匹克竞赛题及解答 (12.90 元) | 杨慧仙主编 |
| 中学物理上当题析 (15.20 元) | 张永生主编 |

ISBN 7-5355-1672-6



9 787535 516725 >

ISBN 7-5355-1672-6/

G · 1667 定价: 12.60 元



中学生精典文库

奥林匹克物理 1

主编：舒幼生

编委：岳胜文 黄国明 舒幼生 谭清莲

湖南教育出版社

奥林匹克物理 1

舒幼生 主编

责任编辑:谭清莲

湖南教育出版社出版发行

湖南省新华书店经销 湘潭市彩色印刷厂印刷

850×1168 毫米 32 开 印张:8.125 字数:210000

1993 年 8 月第 1 版 1999 年 7 月第 2 版第 5 次印刷

印数:30001—33000

ISBN7-5355-1672-6/G·1667

定价:12.60 元

本书若有印刷、装订错误,可向承印厂调换

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性因素，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；重物理思想和方法、分析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

- 谈谈两道竞赛试题 黄国明(1)
- 碰撞中 N 、 f 作用时间的不匹配性 舒幼生(16)

□专题讲座

- 物理问题中的小量分析 舒幼生(26)
- 直流电源、电阻、电容网络 舒幼生(52)
- 热力学状态与过程 舒幼生(91)

□方法技巧

- 解物理题中惯性参照系的选择 彭大斌(108)
- 巧用“面积”解题 彭大斌(119)
- 电阻的计算 刘渝民(128)
- 小议黑洞半径的经典近似估算方法 舒幼生(136)

□实验辅导

- 基础实验 青一平(141)
- 设计性实验 郭长寿(168)

重视实验课中思维能力的培养	舒幼生 (193)
---------------------	-----------

☐ 国际竞赛

空气电击穿的研究	舒幼生、朱世嘉 (195)
第 14 届国际物理奥林匹克竞赛的一道	
近代物理赛题	舒幼生 (203)
第 20 届国际物理奥林匹克竞赛的一道	
热学赛题	舒幼生 (206)

☐ 学生之窗

学生题屋	雷鸣等 (210)
机舱随想录	李 翌 (224)
学好物理、准备参赛	吕 强 (227)
习题札记	范立众 (230)

☐ 问题征答

征答题	(237)
第 1 题答卷	马谦益 (239)
第 2 题答卷	黄 英 (246)

谈谈两道竞赛试题

长沙大学 黄国明

第8届全国中学生物理竞赛预赛第一试试卷中的第十题，是一道较为典型、难度又大的静力学赛题。原题是这样的：

【例1】半径为 r 、质量为 m 的三个相同的球放在水平桌面上，两两互相接触。用一个高为 $1.5r$ 的圆柱形圆筒（上下均无底）将此三球套在筒内，圆筒的内半径取适当值，使得各球间以及球与筒壁之间均保持无形变接触。现取一质量也为 m 、半径为 R 的第四个球，放在三球的上方正中。设四个球的表面、圆筒的内壁表面均由相同物质构成，其相互之间的最大静摩擦系数均为 $\mu = 3/\sqrt{15}$ （约等于 0.775），问 R 取何值时，用手轻轻竖直向上提起圆筒即能将四个球一起提起来？（20 分）

【分析】作为整个试卷最后一道“把关”、拉开档次的难题，命题者在构题设计、考查知识要点和解决问题的能力诸方面是花了心血的。首先，命题者抛弃了诸如圆木堆放问题（图1）和筒套两球问题（图2）等陈题模式，避开了图1和图2中原意是立体而实际进行受力分析时只需按题图平面的自然简化。其次，试题中不给出题图，要求考生据题意勾画出清晰的立体构想，画出题设情况的立体图或立体模型的顶视、侧视图，再综合考查考生的物理知识要点和能力。试题设计思想颇有新意，命题者付出了创造性的劳动。

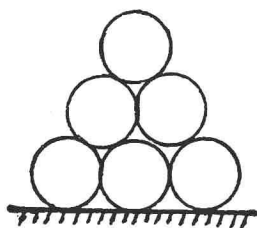


图 1

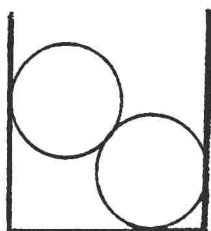


图 2

【解】第一步，要解答此题，必须利用空间概念画出题设条件下的顶视图，又因为要考察上球与下球之间的相互作用与影响，只能选择包括上、下球接触处在内侧视图，即如图 3 所示，画出 OA 截面的侧视图。再在此基础上进行正确的受力分析，在 OA 截面的侧视图上标出：两个重力 mg ；下球与圆筒接触处的摩擦力 f_1 、弹力 N_1 ；下球与等重的上球接触处上球所受到的摩擦力 f_2 、弹力 N_2 （它们的反作用力 f'_2 、 N'_2 作用在下球上）。各力的正方向如图中箭头所示。

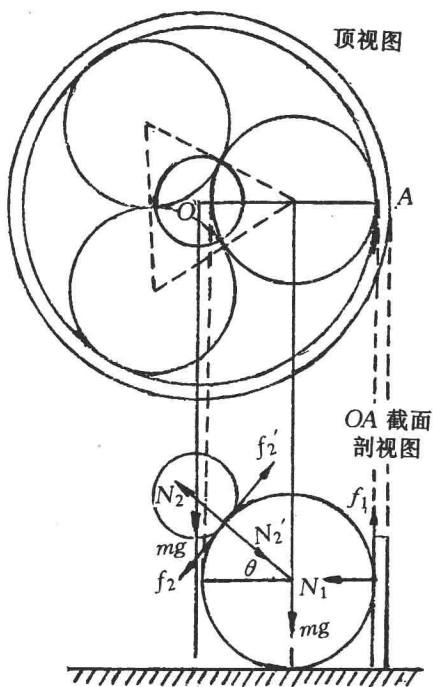


图 3

从答卷中得知，不少考生的思维仍然局限在平面概念内，将题设图画成不符题意的平面图（图 4），误入了圆木堆放问题的

陈式，当然无法进行正确的受力分析与解答。

第二步，综合考查学生的力的平衡、力矩平衡、摩擦力概念等物理知识以及求解方程组的数学知识。

设系统已按题目要求提高桌面而保持平衡，并假设 θ 角如图中所示，视为已知。利用隔离法和联合体法可求出 f_1 、 f_2 、 N_1 、 N_2 。

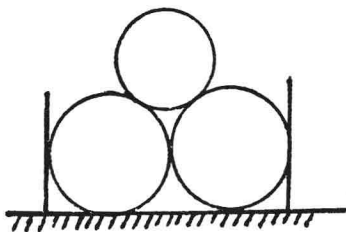


图 4

对于上球，受到三个下球的摩擦力与弹力作用，则有

$$3N_2\sin\theta - 3f_2\cos\theta = mg \quad (1)$$

对于下球，有 $f_1 + f'_2\cos\theta - N'_2\sin\theta = mg$ 。 $N_1 = N'_2\cos\theta + f'_2\sin\theta$ ，考虑到 f'_2 与 f_2 、 N'_2 与 N_2 大小相等，则

$$f_1 + f_2\cos\theta - N_2\sin\theta = mg \quad (2)$$

$$N_1 = N_2\cos\theta + f_2\sin\theta \quad (3)$$

对于四个球的联合体，有

$$3f_1 = 4mg \quad (4)$$

又由下球在所受力矩的作用下而不发生转动，应为平衡力矩。以球心为轴， f_1 、 f'_2 两摩擦力的力臂皆为 r ，则有

$$f_1 = f'_2 = f_2 \quad (5)$$

上述 5 个方程中，虽然 (1)、(2)、(4) 式不相互独立，但任选其中 2 个方程 (如舍弃较繁杂的 (2) 式)，再与 (3)(5) 式联立即可解得 f_1 、 f_2 、 N_1 、 N_2 。由 (4)(5) 式得

$$f_1 = f_2 = \frac{4}{3}mg \quad (6)$$

(6) 式代入 (1) 式得

$$N_2 = \frac{4}{3}mg\cot\theta + \frac{1}{3}mg\frac{1}{\sin\theta} \quad (7)$$

(6)(7) 代入 (3) 式得

$$N_1 = \frac{1}{3}mg \operatorname{ctg} \theta + \frac{4}{3}mg \frac{1}{\sin \theta} \quad (8)$$

命题者在解答过程中的要求是明显而合理的。他要求考生在解答过程中，思路要明晰，先把“次要矛盾”搁置，虽拐了几个弯求最后答案，但要“步步为营”，不能混乱。不少考生恰恰相反，在上述方程开列的同时，就将 μN_1 、 μN_2 代入，并把求未知量 θ 搅和到一块，既未搞清 $f = \mu N$ 式中静摩擦力 $f_{\max}$ 与正压力 N 的关系，又急于进行繁杂的演算，演算过程写了一大堆，一时很难得出有效的结论。

解答的第三步，要通过演算来分析出，为使不发生相互滑动， f_1 、 f_2 并非必须同时达到静摩擦力的最大值，而应首先判断发生相互滑动的临界状态是处在下球与筒壁之间，还是处在上下球之间，这需要论证并可借此求出 θ 值。显然，上述考虑的摩擦力 f_1 、 f_2 都必须不大于静摩擦力的最大值，即 $f \leq \mu N$ ，因而静摩擦系数 μ 的大小应满足：

$$\frac{1}{\mu} \leq \frac{N_1}{f_1} = \frac{1}{4} \operatorname{ctg} \theta + \frac{1}{\sin \theta} = \frac{\cos \theta + 4}{4 \sin \theta} \quad (9)$$

$$\frac{1}{\mu} \leq \frac{N_2}{f_2} = \operatorname{ctg} \theta + \frac{1}{4 \sin \theta} = \frac{4 \cos \theta + 1}{4 \sin \theta} \quad (10)$$

因

$$\cos \theta + 4 > 4 \cos \theta + 1$$

故满足 (10) 式的 μ 值必然满足 (9) 式，从而可知，如果发生相互滑动，应首先发生在上、下球之间。

这样就找到了求出 θ 角的方程 (10)，将 $\mu = 3/\sqrt{15}$ 代入 (10) 式，即为 $\frac{\sqrt{15}}{3} \leq \frac{4 \cos \theta + 1}{4 \cos \theta}$ 。

当 θ 增大时， $\frac{4 \cos \theta + 1}{4 \cos \theta}$ 减小，因而 θ 有一极大值 $\theta_{\max}$ ，当 $\theta = \theta_{\max}$ 时，有

$$4\sqrt{15} \sin \theta_{\max} = 3(4 \cos \theta_{\max} + 1)$$

等式两边平方并整理后得到

$$128\cos^2\theta_{\max}+24\cos\theta_{\max}-77=0$$

解此一元二次方程即得

$$\cos\theta_{\max}=\frac{11}{16}, \text{ 即 } \cos\theta\geq\frac{11}{16} \quad (11)$$

第四步, 由 θ 值求上球半径 R 。

由图 3 可知, 将四个球的球心连结起来, 则组成一个四面体, 底面是棱长为 $2r$ 的正三角形, 其余三个棱长均为 $r+R$ 。故

$$\begin{aligned}\cos\theta &= \frac{2}{3} \cdot \sqrt{(2r)^2 + r^2} / (r + R) \\ &= \frac{2}{3} \sqrt{3} r / (r + R)\end{aligned}$$

设 $R = br$, 则 $\cos\theta = \frac{2}{3} \sqrt{3} / (1 + b)$, 得

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

但 br 必须大于 $\left(\frac{2\sqrt{3}}{3} - 1\right)r$, 否则上球会从三球中掉下, 所以 R 所取之值应为

$$\left(\frac{2\sqrt{3}}{3} - 1\right)r < R \leq \left(\frac{32\sqrt{3}}{33} - 1\right)r$$

$$\text{即 } 0.15r < R \leq 0.68r$$

从解答的第三、四步中可以看到, 命题者在考查学生最大静摩擦力等基础知识的同时, 着重考查了学生运用数学工具解决物理实际问题的能力, 这里既有解一元二次方程的演算、不等式的概念与运算, 又要从物理实际出发(上球不能太小, 否则下掉)作出合理的分析, 才能获得正确的答案。

统观此题设计及解答, 命题者考查了学生受力分析、力的平衡、力矩平衡、静摩擦力等多个物理基础知识点, 要求学生自行运用空间概念正确画出图模, 沿着明晰的思路“步步为营”地深入分析。同时, 对学生在运用数学知识方面, 也设置了几道不易

逾越的“关卡”。命题者构题设计不落俗套，知识考查范围较大，着重考查了学生的能力，符合《章程》中规定的命题原则，也未超出《竞赛内容提要》所列知识范围，可以说是一个好题难题。

但此题的求解思路较为狭窄，只有按前述四步才可求得最后答案，似乎有“自古华山一条路”之意境，对培养学生发散思维略嫌弱了些。

从考查效果来看，除了大多数学生因时量限制、难度较大而对此题无从问津外，少数考生动笔求解也得分很少。此题得满分（20分）的学生几乎没有。就全国29个省市的7.38万参赛学生中较好的2700份答卷进行统计，此题的平均得分率 $\left(\frac{100 \text{ 人本题实际得分总和}}{\text{本题满分} \times 100} \times 100\%\right)$ 仅为6.5%，其余九个试题的平均得分率依次为81.6%、33.4%、27.4%、40.9%、65.4%、48.3%、32.6%、36.6%、30.1%，此十个试题平均得分率的平均数为40.25%，从而说明此题难度太大了些，显然，考察面也小了些。

从此题的评分标准来看，求出 $\cos\theta \geq \frac{11}{16}$ 和最后 R 的取值范围共占9分，近全题总分的一半，且主要是数字运算的“数学分”，似乎比例太大了些。

若将此题稍微改一下，上球半径定为 $\frac{1}{2}r$ 已知量，反过来求静摩擦系数 μ ，考生可接受性便会大些，得分率也会显著提高，物理知识点的考查范围并未减小，能力的考查重点也未削弱，但数字运算的“关卡”减少了，效果可能会好一些。

如果说上一赛题所设置的情景信息还不够新颖雅趣的话，第8届全国中学生物理竞赛决赛笔试的第八题却令人耳目一新、妙趣横生。

这个题也是一道力学题，原题是这样的：

【例2】有一长为 l 的木块 A ，放在足够长的水平地面上，取

一无盖的长方形木盒将 A 罩住。 B 的左右内壁间的距离为 L ($L > l$)。 B 的质量与 A 相同。 A 与地面间的滑动摩擦系数为 μ_A , B 与地面间的滑动摩擦系数为 μ_B , 且 $\mu_B > \mu_A$ 。开始时 A 的左端与 B 的左内壁相接触 (如图 5 所示), 两者以相同的初速度 v_0 向右运动。已知 A 与 B 左右内壁发生的碰撞都是完全弹性的, 且碰撞时间都极短。 A 与 B 的其它侧面之间均无接触。

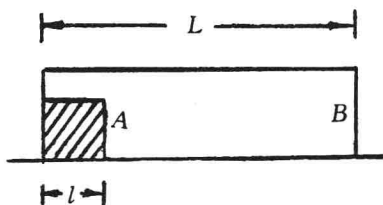


图 5

(1) 要使最后 A 、 B 同时停止, 而且 A 与 B 间轻轻接触 (即无作用力), 初速 v_0 应取何值?

(2) 要使 B 首先停下, 而且最后全部停下来时 A 与 B 轻轻接触, 初速 v'_0 应取何值?

(3) 有无 v_0 值使 B 停下后又由于被碰再次运动, 最后 A 、 B 两者停在一起? 为什么?

【分析】命题者设计了一个动态的、 A 与 B 同时同速出发并多次发生完全弹性碰撞的情景, 设问中新颖地提出 A 与 B 同时停止、 B 先停最后同时停止的“轻轻接触”, 在着重考查考生的能力方面巧具匠心。

参加决赛的学生共 104 人, 都是各省、自治区、直辖市经预赛一、二试选拔出来的佼佼者, 依据题目提供的情景信息, 都能分析出木块 A 与木盒 B 的内壁依次在右端、左端、再右端反复多次发生完全弹性碰撞, 直到“轻轻接触”而停止, 且 A 与 B 皆作匀减速运动, 碰撞时间极短, 又因 A 与 B 质量相等而两者速度交换等内容。这些, 很容易使学生迅速“进入角色”, 积极着手求解的心情迫切, 这是命题者所企盼的, 这也避免了学生不易上手、见题就吃一闷棒而难以问津的弊病。吸引学生全心“投入”后, 设问又不断提高难度, 考查学生能力的力度不断加大, 要完满解答

出来决非易事。笔者认为,这是命题者构题思想的高超巧妙之处。

下面让我们来对此题边解边议,看看命题者是怎样考查学生的物理基础知识和突出考查学生能力的。

【解】为了叙述多次碰撞处及“轻轻接触”的条件方便,令木块 A 的左端面为 a ,木盒 B 的左内壁为 b ,开始同速出发时, $\overline{ab}=0$,其后由于木盒 B 与地面间的滑动摩擦系数 μ_B 大于木块 A 与地面间的滑动摩擦系数 μ_A ,虽 A 与 B 都作匀减速运动,但 B 减速快些,即 $v'_A > v'_B$,因而 $\overline{ab}$ 开始增大。当 $\overline{ab}=L-l$ 时,两者在右端发生碰撞。又由于 A 与 B 质量相等,完全弹性碰撞后两者速度交换,致使 $v''_A < v''_B$,故碰后 $\overline{ab}$ 开始减小,直到 $\overline{ab}=0$ 时又在左端发生第二次完全弹性碰撞。如此反复直到停止。当两者停止时,若恰好满足 $\overline{ab}=0$ 或 $\overline{ab}=L-l$ 时,即为题目设问中所要求的“轻轻接触”(即无作用力)。

(1) 设开始运动经过时间 T_1 后,第一次碰撞在右端发生,用 S_{1A} 和 S_{1B} 分别表示木块 A 和木盒 B 在这段时间内通过的路程,并考虑到两者的加速度分别为 $a_A = -\mu_A g$, $a_B = -\mu_B g$, 则

$$L-l = S_{1A} - S_{1B} = \frac{1}{2}(\mu_B - \mu_A)gT_1^2 \quad (1)$$

由(1)式可得

$$T_1 = \sqrt{\frac{2(L-l)}{(\mu_B - \mu_A)g}} \quad (2)$$

(2) 式说明 T_1 与 A 、 B 的初速 v_0 无关。碰撞前木块 A 和木盒 B 的速度分别为

$$v'_{1A} = v_0 - \mu_A g T_1, \quad v'_{1B} = v_0 - \mu_B g T_1。$$

由于 $\mu_B > \mu_A$, 故 $v'_{1A} > v'_{1B}$, 两者完全弹性碰撞, 因 $m_A = m_B$ 而交换速度。碰后两者的速度分别为

$$v''_{1A} = v'_{1B} = v_0 - \mu_B g T_1$$

$$v''_{1B} = v'_{1A} = v_0 - \mu_A g T_1$$

设第一次碰撞后又经过时间 T_2 , 两者在左端相遇, 在这段时

间内木块 A 和木盒 B 通过的路程分别为 S_{2A} 和 S_{2B} , 加速度仍分别为 $-\mu_A g$ 和 $-\mu_B g$, 则有

$$\begin{aligned} L - l &= S_{2B} - S_{2A} \\ &= \left[(v_0 - \mu_A g T_1) T_2 - \frac{1}{2} \mu_B g T_2^2 \right] \\ &\quad - \left[(v_0 - \mu_B g T_1) T_2 - \frac{1}{2} \mu_A g T_2^2 \right] \\ &= (\mu_B - \mu_A) g T_1 T_2 - \frac{1}{2} (\mu_B - \mu_A) g T_2^2 \quad (3) \end{aligned}$$

由 (1) (3) 两式, 可得 $T_1 = T_2$, 令 $T_1 = T_2 = T$ 。

在左端相碰前, 木块 A 与木盒 B 的速度分别为

$$\begin{aligned} v'_{2A} &= v''_{1A} - \mu_A g T_2 \\ &= (v_0 - \mu_B g T_1) - \mu_A g T_2 = v_0 - (\mu_A + \mu_B) g T \\ v'_{2B} &= v''_{1B} - \mu_B g T_2 = (v_0 - \mu_A g T_1) - \mu_B g T_2 \\ &= v_0 - (\mu_A + \mu_B) g T \end{aligned}$$

可见, $v'_{2A} = v'_{2B}$, 即在左端两者相遇达到接触时其速度恰好相同, 可称之为“同速会合”。

好一个奇妙的“同速会合”! 命题者在综合考查了诸如匀减速运动、加速度、滑动摩擦力、完全弹性碰撞、速度互换等物理基础知识的同时, 着重考查了考生的分析问题的能力, 巧妙地设计了“同速会合”这一个关键过程, 颇具特色和雅趣, 令人拍案叫好!

“同速会合”并不发生碰撞, 木块 A 与木盒 B 又逐渐分开, 情况与分析 and 开始同速出发时完全相同, 只需将初速 v_0 改为 v'_{2A} 即可, 再经过时间 $T_3 = T$ 时在左端发生完全弹性碰撞。用 Δv_0 表示 v'_{2A} 与 v_0 的速度差, 则

$$\Delta v_0 = v_0 - [v_0 - (\mu_A + \mu_B) g T] = (\mu_A + \mu_B) g T$$

由于 T 与 v_0 无关, 从前面的分析与解答可知, 从在左端接触以初速 v_0 同时出发运动起, 经过时间 T , 在右端发生一次碰撞, 再经时间 T , A 与 B 在左端“同速会合”, 又经时间 T , A 与 B 将在左