

中学生精典文库

OLYMPIAD

中学物理奥林匹克 趣题选及解答

[波] 瓦·高日柯夫斯基 编著
章达君 赵凯华 编译



湖南教育出版社



中学生精典文库

中学物理奥林匹克 趣题选及解答

[波] 瓦·高日柯夫斯基 编著
章达君 赵凯华 编译

湖南教育出版社

中学生精典文库
中学物理奥林匹克趣题选及解答
〔波〕瓦·高日柯夫斯基 编著

章达君 赵凯华 编译

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 湖南国营望城县印刷厂印刷

*

850×1168 32开 印张:9.375 字数:240000

1990年4月第1版 1999年10月第3版第7次印刷

印数:50001—53000

ISBN7—5355—1118—X/G·588

定价:12.20元

本书若有印刷、装订错误,可向承印厂调换

序

这本小册子是波兰瓦·高日柯夫斯基(W. Gorzkowski)博士编写的,其中收集了波兰历年举行的奥林匹克物理竞赛试题 100 余道。波兰是最早在全国范围内举行中学生物理竞赛的国家之一,也是国际中学生奥林匹克物理竞赛的发祥地,在举行物理竞赛方面有着丰富的经验。高日柯夫斯基博士本人则担任国际中学生奥林匹克物理竞赛委员会的秘书长多年,成绩卓著,在 1988 年夏天举行的国际委员会上又再一次当选连任此职 5 年。他对中国怀有特殊的感情,愿将这本小册子贡献给中国爱好物理学的青少年读者,并推荐他昔日的同窗好友章达君担任从波兰文到中文的翻译工作。我在此预祝这本小册子将引起广大中国读者的兴趣。

赵凯华

于北京大学 1989 年 4 月 5 日

中译本序

波兰物理奥林匹克竞赛是在1951年，也就是在给我国带来惨重灾难的第二次世界大战结束刚6年的时候发起举办的。

如果只谈在全国范围内、由国家机构组织的奥林匹克竞赛，而不是由某些学校或杂志社组织的各种类型的竞赛——有时也称为区域性奥林匹克竞赛，那波兰物理奥林匹克竞赛在世界上也是最早的。忆及这些，主要是为强调物理奥赛在波兰的重要意义。它不仅对中学生、对中等学校，而且对教师、对高等学校，作用都是巨大的。物理奥赛给有天赋的青年人提供了课外很好的组织和深化知识的可能性。使全国的中学生能在同样的条件下比较自己的知识，对青年人有很强的吸引力。奥林匹克试题对全波兰的所有中学和所有学生都是一样的，很多有天赋的学生就是由物理奥赛“发现的”。物理学吸引着他们，他们愿为物理学献出整个生命。这些人才真是宝贵的财富。

物理奥林匹克竞赛对学校也起了很大作用。很多中学为学生尽可能好的与奥赛有关的课外条件，都扩大和装备了实验室。很多老师都在议论，怎么能使自己的学生为奥林匹克作更好的准备，这对所有的学生，而不单是对奥赛参加者有利。

老师们非常愿意了解奥赛试题及它们的解答和评分标准。物理奥赛在这个意义上给他们提供了难度水平、准确性和怎样要求的楷模。老师的得益都会对所有学生带来好的影响。

物理奥林匹克竞赛对高等学校也会带来好处。奥赛的优胜者可以免试进入高等学校的很多专业学习。因而高校获得了一些经过奥赛考验的有天赋的学生。

1967年在波兰华沙举办了第一届国际物理奥林匹克竞赛。举

办物理奥赛的思想被国际上接受了，而且除去个别年例外，每年都举办一次。参加的国家不断增加。我非常高兴地看到，几年前，中国开始参加这个活动，而且获得了引人注目的好成绩。

本书包含大约 100 道波兰物理奥赛中最好的理论试题。这些题中，一定有不少在中国是人们熟悉的，因为中国具有优秀的科学传统，很难找到什么中国人不知道的东西。尽管如此，我想很多道题的叙述、解答方法，中国的学生和老师也许会感兴趣的。

最后我要热烈感谢北京大学的赵凯华教授，他率领中国代表团参加了国际物理奥林匹克竞赛，提出了翻译此书的建议。我也要对我学生时代的朋友，中国科学院的章达君高级工程师致以衷心的感谢，他为翻译此书付出了心血。我不懂中文，但我很了解我的朋友，我相信中文的译文一定会很好。

作者最大的愉快就是读者的喜欢。假若该书能受到广大中国读者的欢迎，那就是我最大的幸福。

瓦·高

1988 年 3 月

目 录

第一部分 物理奥赛计算题选

前言	(3)
1. 等效量	(5)
2. 碰撞	(8)
3. 振动	(11)
4. “吸尘器”	(15)
5. 反射和折射	(16)
6. 斜面、传送带、螺旋、球体、圆柱体	(18)
7. 平衡状态和稳恒状态	(20)
8. 电磁现象	(26)
9. 其它	(29)

第二部分 选题解答

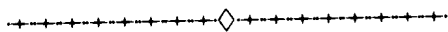
前言	(37)
1. 等效量	(37)
2. 碰撞	(60)
3. 振动	(75)
4. “吸尘器”	(108)
5. 反射和折射	(113)
6. 斜面、传送带、螺旋、球体、圆柱体	(134)
7. 平衡状态和稳恒状态	(156)
8. 电磁现象	(189)
9. 其它	(201)

附录

1. 波兰物理奥林匹克竞赛简介	(223)
2. 波兰 XXXVII 届(1987/1988)物理奥赛试题	(226)
第 27 届国际物理奥林匹克竞赛试题与解答	(239)
第 28 届国际物理奥林匹克竞赛试题与解答	(268)

第一部分

物理奥赛计算趣题选



前 言

读者一定会觉得有趣，奥林匹克竞赛试题是怎样选来的？试题的作者们是以什么原则来编写试题的？为什么这样一些题，而不是另一些题被竞赛选用？

其实试题的作者可以是任何一个人，没有任何限制。在作者中既有大学教授、中学教师、高校学生、也有中学生。对于赛题的组织者来说，重要的是试题的价值，而不是谁是它的作者。从很多方面来说，编题比解题更有教益。读者们不妨试一试！

奥赛试题应该是什么样的？总的来说，它应该有趣和有教益。有趣是因为趣味性是使人们对物理感兴趣的最重要的因素之一。有教益是因为解了这些题对将来学习、工作会有好处。特别是希望题中能自然地把物理学几个分支的知识联系起来。这样的题什么时候人们也不会觉得多余，永远会受人们的欢迎和喜爱。

当然不能只是把题编写出来，也应该自己做出解答。经常会出现这样的情况，就是在解题时，会发现在试题的论述中有某些明显缺陷，有未经过证明的默默接受了假设等。在解题过程中，作者自己会觉得应该修改题目的某些论述，这不是罕见的事。

读者自己会容易相信，编题并不是容易的事。并没有什么现成的药方（办法）。题目经常是在分析各种类型的问题时产生的。随着钻研的深入，原始的问题就扩展了，和其它的问题也联系起来了，又产生出其它新的问题，同时经常会出现能成为理论试题基础的问题。值得强调指出，大部分作者并不是一下子就形成某个题目的成熟概念的，大部分题目都是经长时间深入思考才产生的。

试题被推荐到物理奥赛全国委员会之后，都要提交审议。审议的目的是对推荐题进行充分的分析研究，研究它的原始性，指出它们推出时的缺陷和问题，指出它们的益处，检查题目是否超出了中学生的知识范畴。如不完全是原作，不太有趣，描写物理

现象有错误，太容易，太难或因其它原因无利用价值的题就会被抛弃。这并不是说，所有奥林匹克题都绝对必须是原作。某些题趣味性浓，教育意义强，稍作变化也可以在预试中采用。但对这样的题要有意识地限制。一般采用的原则是：奥林匹克试题必须是各种习题集、课本、或能得到的其它书刊中都找不到的原始题。各种得到肯定评价的题都收集到试题库中，以备选用。在试题库中，通常都有物理学各个分支的几百道题。应该承认，不是所有分支都具有相同的代表性。最多的还是力学、电学和光学题。至于其它传统上考虑得少的方面的题，把物理学不同分支连起来的题，经常会感到缺少，因此在编题时值得特别注意。试题库始建于1969年。它就使得有可能更自由和合理地选择、组合竞赛题。试题的选择、组合必须能把参赛者区分开来。必须保障：好的和知道得多的、对物理学理解得深的参赛者就能取得好成绩，知识少的、理解差的参赛者相对地成绩就差。

竞赛所使用的试题的论述，一般和原推荐的论述都不完全一样。论述的改变，一方面是受审议人看法的影响，同时也是竞赛委员会集体讨论分析的结果。这些改变常常是一些实质性的改变。决定性的事是怎样把问题阐述得更准确更清晰。同样一个问题可以阐述得使人能很好地思考，也可以把问题弄乱，使人误入歧途。因此试题的最后论述，集中了作者、审议者和竞赛委员会成员很多人的心血。

写这本书，从好几百道至今用过的试题中，选几十道汇编起来，对作者来说是一个很困难的问题。考虑到这本书是为中学生使用的，特别是为他们准备参加奥林匹克竞赛用的，作者选了一些估计对中学生用处最大的问题。除去为了全书的一致性，对最初几届的竞赛题的论述稍微作了些修改外，试题的内容、论述一般都保持原样。全书的选题分了几类，每一类都有一定的思考特点。这种分类是为了读者好利用这本书，与物理学传统的分类没有任何关系。

1. 等 效 量

1.1 20 个相同的电阻 r 照图 1 连结。计算 A 和 B 两点间的电阻 R_{AB} 。

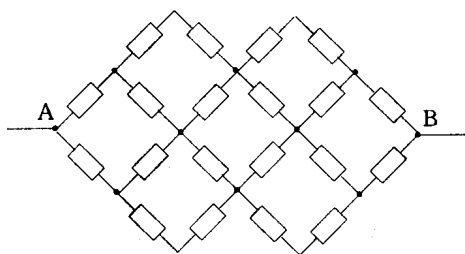


图1

1.2 电阻 r_1, r_2, r_3, r_4 和 r_5 照图 2 的系统连结。计算等效电阻 R_{AB} 。能否将所示系统用电阻 r_1, r_2, r_3, r_4 和 r_5 串联和并联组合的形式，连成具有同一等效电阻的系统？

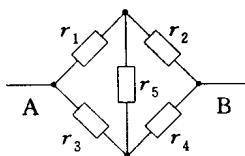


图2

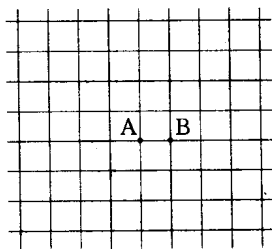


图3

1.3 有一个无限的平面方格导线网（如图 3 所示）。连结两个节点的导线段的电阻为 r 。如果从 A 和 B 接入电路，求此网的等效电阻 R_{AB} 。

1.4 两个带电线圈可发生相互作用，一个线圈的电流变化会在另一个线圈中感生电动势。衡量这个作用的物理量是互感系数 $M > 0$ ；在第一个线圈中感生的电动势为 $\pm M dI_2(t)/dt$ ，而在第

二个线圈中为 $\pm M dI_1(t)/dt$, $I_1(t)$ 和 $I_2(t)$ 分别代表第一和第二二个线圈中的电流强度。感生电动势的符号由楞次法则确定。

利用上述说明, 计算图4系统的等效电感。如果一个线圈的方向反绕, 结果是否会(和怎样)变化? 互感系数 M 的最大值可能是什?

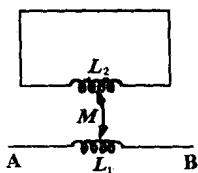


图4

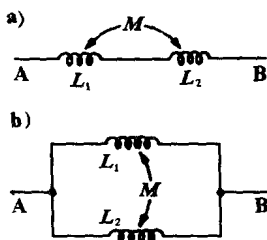


图5

1.5 利用上题中的说明, 计算图5两个系统的等效电感 L_{AB} (线圈的位置和缠绕方向如图所示)。

假若电感为 L_1 的线圈向反方向缠绕, 结果是否改变?

1.6 将电阻照图6连成立方形系统, 计算其等效电阻 R_{AB} 。

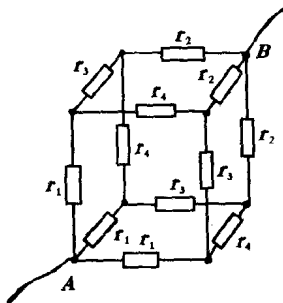


图6

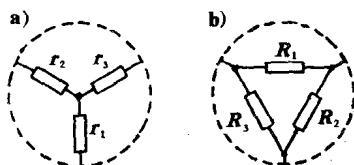


图7

1.7 电阻 $r_1, r_2, r_3, R_1, R_2, R_3$ 必须满足什么样的必要条件和充分条件, 使图7a 的连接和图7b 的连接相等效, 也就是说

必须满足什么样的必要和充分条件, 才能使一种连接换成另一种连接时, 虚线圆区的外电路的电压和电流不变?

1.8 平板电容器由两个边长为 a 、相距 $d \ll a$ 的方形板构成, 如图 8 所示, 板间介质是由三种材料构成的 $a \times a \times d$ 长方体。这个电容器的电容是多少? 如果是一种均匀的 $a \times a \times d$ 长方体介质, 其介电常数应是多少, 才能使电容和前面的三种介质的情况一样? 如果介电常数为 ϵ_3 的介质和介电常数为 ϵ_1 和 ϵ_2 的介质的交界面是导体面, 结果是否变化?

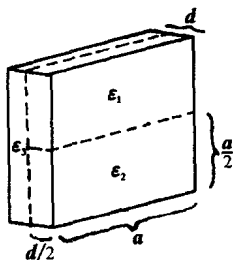


图8

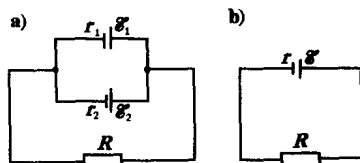


图9

1.9 功率为 150W (瓦), 工作电压为 $V = 15\text{V}$ 的直流电机, 用电动势为 $\epsilon = 1.5\text{V}$ 、内阻为 $R = 0.45\Omega$ 的电池供电。为使电机按设计参数正常运转, 最少需要多少个电池? 应该把它们怎样连接起来?

1.10 能否将 n 个一样的电阻 r 连成一个电阻为 R 的系统, 而往系统(作为一个整体)上再连接两个电阻 r 时 R 的值不变?

1.11 三个相同的电阻 r 连成一个电阻为 R 的系统, 再往这个系统(作为一个整体)上连接两个电阻 r , 使系统的电阻七倍地减小。试求所有这五个电阻的连接图。

1.12 电动势分别为 $\mathcal{E}_1$ 和 $\mathcal{E}_2$ 、内阻为 r_1 和 r_2 (见图9a) 的两个电池, 用一个电动势为 $\mathcal{E}$ 和内阻为 r 的电池 (见图9b) 代替, 流过电阻 R 的电流强度不变, 并与 R 无关。问 $\mathcal{E}$ 和 r 应随 $\mathcal{E}_1$ 、 $\mathcal{E}_2$ 、 r_1 和 r_2 怎样变化? 如果开始不是两个, 而是 n 个电动势分别为 $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \dots, \mathcal{E}_n$

和内阻为 $r_1, r_2 \dots r_n$ 的电池, 那 $\mathcal{E}$ 和 r 的公式应是什么样?

1.13 照图10组成电路系统。

a) 若 $\mathcal{E}$ 是固定的电动势, 描述电路在电键 K 合上后, 即刻发生的现象和过了较长时间后发生的现象。

b) 试证明: 若 $R^2 = L/C$, 不管电源的电动势 $\mathcal{E}$ 随时间如何变化, 合上电键 K 后, A、B 两点间的电路就像一个欧姆电阻一样。求出这个电阻的值。

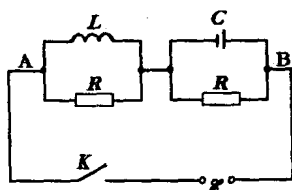


图10

1.14 为使图11的电路的等效电阻 R_{AB} 与相同单元的重复数 n 无关, 电阻 X 应取什么值?

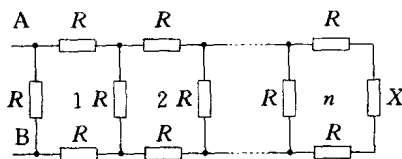


图11

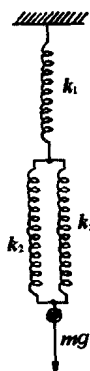


图12

1.15 将3个不计重力的、倔强系数分别为 k_1, k_2 和 k_3 的橡皮条 (或弹簧) 按图12连起来, 挂一个质量为 m 的小锤, 推动小锤使其垂直振动。问这是什么振动? 并求出振动的周期。

倔强系数就是橡皮条的弹性拉力 F 和伸长量 x 的比例系数; $F = kx$ 。

2. 碰 撞

2.1 有两个质量分别为 m_1 和 m_2 的带电相同的小球, 每个球

的电量为 Q 。在开始时,时间为 t_0 ,两个小球相远离,一个以初速度 v 向另一个运动,而另一个速度为 0。假定从 t_0 开始,作用在小球上的唯一力是小球之间的静电斥力。求出两个小球能接近的最小距离。

用以下的数据进行计算:

a) $Q = 10^{-6} \text{ C}, v = 10 \text{ m/s}, m_1 = 1 \text{ g}, m_2 = 9 \text{ g}.$

b) $Q = 10^{-6} \text{ C}, v = 10 \text{ m/s}, m_1 = 9 \text{ g}, m_2 = 1 \text{ g}.$

C——库仑; m/s——米/秒; g——克。

比较两种情况下球间的最小距离。利用一定的物理定律可以预测它们之间的关系,这里指的是什么物理定律?

注意:公式中出现的库仑力的系数 $1/4\pi\epsilon_0$ 。等于

$$9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2. (\text{N} \text{——牛顿})$$

2.2 质子加速器使每个质子得到的动能为 E 。很细的质子束从加速器射向一个远离加速器、半径为 r 的金属球,球的中心并不处在加速器发射出的质子的运动方向的直线上(见图 13),而距这个直线的距离为 d , d 小于 r 。问在加速器工作足够长的时间后,球能充电到什么电位?

进行计算时,可取 $E = 2 \text{ keV}$ 和 $d = \frac{1}{2}r$ 。如果把质子换成电子,将会发生什么变化?

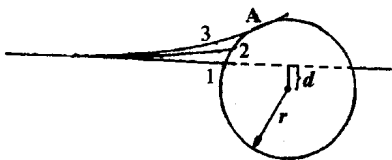


图13

2.3 弟兄5个在连续靠近放置的跳板上表演杂技。他们各自的质量分别为60kg(千克)、50kg、40kg、30kg和20kg。第一个最重的演员从2m(米)高度跳到第一个跳板上(见图14),老二、老三、老四接着一个个被弹起落到相邻的跳板上。假定演员的肌