全国中学生物理竞赛分类试题解析丛书

全国中学生物理竞赛委员会常委会 编写

全国中学生物理竞赛 1~20届 试题解析

热学、光学与近代物理分册

清华大学出版社

全国中学生物理竞赛委员会常委会　编写

全国中学生物理竞赛 1~20届试题解析

热学、光学与近代物理分册

清华大学出版社
北京

内容简介

全国中学生物理竞赛试题解析丛书汇集了第1～20届全国中学生物理竞赛理论试题、实验试题及参考解答，并对大部分试题进行了分析评述。丛书按学科内容体系编辑成力学，电学，热学、光学与近代物理及实验等四个分册出版。本套丛书是由全国中学生物理竞赛委员会常委会编写的，该常委会集中了北京大学、清华大学、北京师范大学、复旦大学、首都师范大学等学校的著名教授专家，书中所收入的试题是由他们精心编写和挑选的，具有很高的权威性和指导性。

本书是这套丛书的热学、光学与近代物理分册，针对1984—2004年热学、光学与近代物理三部分的理论试题按照相关的知识点分类，并对试题进行了具体的剖析。这些试题有相当难度，对训练学生的综合思维能力、提高解题技巧大有裨益。本书可供全国高中学生、中学物理教师及师范院校物理系师生教学参考。

版权所有，翻印必究。举报电话：010-62782989　13501256678　13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术，用户可通过在图案表面涂抹清水，图案消失，水干后图案复现；或将表面膜揭下，放在白纸上用彩笔涂抹，图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

全国中学生物理竞赛1～20届试题解析. 热学、光学与近代物理分册/全国中学生物理竞赛委员会常委会编写. —北京：清华大学出版社，2006.10

(全国中学生物理竞赛分类试题解析丛书)

ISBN 7-302-11980-5

Ⅰ. 全…　Ⅱ. 全…　Ⅲ. 物理课—中学—解题　Ⅳ. G634.75

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第117625号

出 版 者：清华大学出版社　　**地　　址**：北京清华大学学研大厦

http://www.tup.com.cn　　**邮　　编**：100084

社 总 机：010-62770175　**客户服务**：010-62776969

责任编辑：孙中悦

封面设计：傅瑞学

版式设计：刘祎淼

印 装 者：北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者：新华书店总店北京发行所

开　　本：185×230　**印张**：16.25　**字数**：325千字

版　　次：2006年10月第1版　2006年10月第1次印刷

书　　号：ISBN 7-302-11980-5/O·500

印　　数：1～5000

定　　价：22.80元

前言

从1984年开始到2004年底，全国中学生物理竞赛已举行了21届，共计有300万高中学生参加，在社会上具有良好的声誉。全国中学生物理竞赛活动是经国家教育部批准，由中国科协主管，并由中国物理学会主办的。物理竞赛活动自举办以来始终遵循着这样的宗旨，即激发优秀学生学习物理学的兴趣和积极性，开发他们潜在的智力，提高他们的能力和创造精神，促进他们科学素质的提高。20多年来，物理竞赛活动健康发展，同时对中学物理教学的改进和教学质量的提高也起到了一定的作用。

物理竞赛题无疑会对参赛学生的学习和努力方向起着引导作用，其中很多质量较高的试题，对于提高学生学习物理的兴趣，鼓励学生在学好课内知识的基础上深入学习、独立思考，促使学生扩大视野和改进学习方法，启迪和开发智力，尤其是在锻炼他们灵活地、创造性地进行科学思维和培养解决问题的能力等方面发挥了较好的作用。为了适应广大中学师生的需要，我们编辑了本书，汇集了第1～20届全国中学生物理竞赛试题（理论题和实验题）及参考解答，由命题组部分教师对大部分题目进行了剖析，并按学科内容体系编辑成力学，电学，热学、光学和近代物理及实验等四册出版。同时将《全国中学生物理竞赛内容提要》一并收入。对于如何利用本书我们提出以下几点建议：

1. 要以正确的教育思想指导使用。教育必须贯彻因材施教的原则，要按教育和教学的规律办事。要从学生的实际出发，以扎扎实实打好知识、能力、非智力因素等各方面的基础为前提，启发引导，充分调动学生的主观能动作用，使学生得以充分发挥潜力，达到与其智力发展水平相适应的高水平。必须重视能力和非智力因素的培养与

提高，以达到全面提高学生科学素质的要求。

2. 物理竞赛是学有余力并对物理有兴趣的高中学生参加的一项课外活动，竞赛题是为这些学生设计的，因此不能要求多数学生都来做这些题目。

3. 由于在竞赛中要求将学习特别优秀的学生选拔出来，部分题目无论是理论题或实验题难度较大，对能力的要求较高，即使是班上的优秀学生也不一定都能做出来，有时需要用很多的时间才能解出一个题目，这是正常的情况。正是在这种尝试、失败、再尝试的反复思考、探索过程中，学生才能发现自己对物理概念、物理原理的理解和灵活运用以及实践能力等方面存在的问题，才能在分析问题和解决问题的能力上获得突破和提高。久思不得其解，一旦迎刃而解，就会有豁然顿悟之感，这种不懈追求真知的精神更将永久受用。因此，千万不要盲目追求做题的数量。应该让学生在完成课内学习任务后自由选择做题，我们特别强调：在解题过程中，学生应独立思考、独立完成，必要时教师可以从旁指点引导，切忌越俎代庖，以“教”代“学”，更不要揠苗助长。不要把本应发挥学生主观能动性的课外学习活动又变为学生被动接受知识的过程。

4. 在个人认真钻研的基础上，同学间进行相互讨论或争辩对提高水平十分有益，应予以提倡。同学们处在平等的地位上，讨论时没有顾虑，发表意见能比较充分，要想说服对方就必须把问题真正搞清楚。别人的质疑和诘难可以揭露出自己在理解中存在的片面问题，促使自己更为深入、更加全面地思考。在讨论或争辩过程中双方都将受益，而且这也有助于培养自己与他人互相尊重、平等相处的作风和习惯。

5. 竞赛活动为参赛学生提供了有利于课外学习的环境和条件，这种学习包括认真读书、观察和研究现象、进行实验、讨论和辩论以及参加某些实践活动等。要特别强调的是，做习题或研究习题只是其中一个学习环节，千万不要误认为学物理就是做习题。否则不仅学不好物理，而且对提高自己的科学素养也很有害。

我们衷心希望物理竞赛活动能帮助学生生动活泼地进行学习，能促进他们主动获取新知识并能评价新知识，能将他们培养成为具有较强的科学思维能力、实践能力，能独立思考，具有创造精神的科学技术后备人才。

全国中学生物理竞赛委员会名誉主任： 沈克琦

全国中学生物理竞赛委员会主任： 吕斯骅

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

目录

第一部分 热 学

第二部分 光 学

第三部分 近代物理

第一部分

热　　学

一、分子动理论

1. 估算在室温下，真空度达到 1.3×10^{-6} Pa 时，容器内空气分子间的平均距离（取 1 位有效数字即可）.

附：$R=8.3\ \mathrm{J\cdot(mol\cdot K)^{-1}}$

$N_A=6.0\times10^{23}\ \mathrm{mol^{-1}}$

解析

由理想气体状态方程 $pV=\frac{n}{N_A}RT$ 可知，平均每个分子所占有的空间为 $\frac{V}{n}=\frac{RT}{pN_A}$. 式中 p 为压强，V 为气体体积，n 为总分子数，N_A 为阿伏加德罗常数，R 为摩尔气体常量，T 为热力学温度. 这样，可估算分子间平均距离约为

$$d=\sqrt[3]{\frac{V}{n}}=\sqrt[3]{\frac{RT}{pN_A}}$$

将 p、R、N_A 的值代入，取 $T=300$ K，可得

$$d\approx1\times10^{-5}\ \mathrm{m}$$

2. 气体分子的直径约为 2×10^{-10} m，试估算标准状况下近邻气体分子间的平均距离 l 与分子直径 d 的比值（取 2 位有效数字即可）.

附：$c=3.0\times10^{8}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$

质子质量 $m_p=1.7\times10^{-27}$ kg

$R=8.3\ \mathrm{J\cdot(mol\cdot K)^{-1}}$

$N_A=6.0\times10^{23}\ \mathrm{mol^{-1}}$

解析

标准状况下，1 mol 气体体积 $V=22.4\times10^{-3}\ \mathrm{m^3}$. 每个分子平均占有体积为 $\frac{V}{N_A}$，所以邻近分子间平均距离为

$$l=\left(\frac{V}{N_A}\right)^{1/3}$$

用 d 表示气体分子的直径，则分子间的平均距离与分子直径之比为

$$\frac{l}{d}=\frac{\left(\frac{V}{N_A}\right)^{1/3}}{d}\approx 17$$

在本题中，题目所附的常数只有阿伏加德罗常数 N_A 是有用的，另外三个物理常数用不上.

3. 试就你所知，回答下列关于温度的问题.

1）从宏观角度看，什么是温度？从微观角度看，什么是温度？

2）一个水银温度计，一个酒精温度计，两者都在冰点校准了 0 ℃，在水的沸点校准了 100 ℃，然后在 0 ℃与 100 ℃之间等分成 100 份. 现在分别用这两个温度计测量两个物体的温度，结果两个温度计都指示 30 ℃处. 问这两个物体的温度是否相同？为什么？

3）玻璃熔点以上的高温和水银凝固点以下的低温怎样测量？这样的高温和低温是否仍能用摄氏度表示？为什么？

4）太阳表面的温度大约是 6000 K，这是怎样测量出来的？

解析

1）从宏观角度看，温度是物体冷热程度的量度；从微观角度看，温度是物体分子热运动程度的度量，物体的热力学温度与其分子平均动能成正比.

2）不一定一样. 用不同测温物质制成的温度计，尽管在水的冰点和水的沸点校准 0 ℃和 100 ℃，中间等分的刻度是 100 份，但由于不同测温物质的体积随温度变化的规律不完全相同，因此，它们所测出的物体温度并不一定相同.

3）对玻璃熔点以上和水银凝固点以下的温度，可以用气体温度计，电阻温度计，热电偶温度计等测量.

对这样的高温和低温，仍可用摄氏度表示，因为现在摄氏温度 t 定义为

$$t/℃ = T/\mathrm{K}-273.15$$

T 是热力学温度.

4）利用黑体热辐射中能量密度最大的波长与其热力学温度成反比的性质，把太阳近似地看做黑体，测出太阳光谱中能量密度最大处的波长，即可推算出其表面温度.

4. 一个密闭容器内盛有水（未满），处于热平衡状态. 已知水在 14 ℃时的饱和蒸汽压为 1.60×10^3 Pa. 设水蒸气分子碰到水面时都变成水，气体分子的平均速率与气体的

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

热力学温度 T 的平方根成正比，试近似计算在 100 ℃和 14 ℃时，单位时间内通过单位面积水面的蒸发变为水蒸气的分子数之比 n_{100}/n_{14} 等于多少？（取 1 位有效数字即可）

解析

因为处于热平衡状态，水面上的蒸汽是饱和汽，所以单位时间内由水变为水蒸气的分子数等于由水蒸气变为水的分子数. 设用 n 表示单位时间内碰到水面单位面积上的水蒸气分子数，n_0 表示单位体积内的水蒸气分子数，$\bar{v}$ 表示其平均速率，则有

$$n \propto n_0\bar{v} \tag{1}$$

由于我们只要求取一位有效数字，所以水蒸气在平衡状态时各参量之间的关系可以近似地用理想气体状态方程来处理. 因此，在热力学温度为 T 和 T' 时，分别有 $n_0 = pN_A/(RT)$ 和 $n'_0 = p'N_A/(RT')$. 式中 N_A 为阿伏加德罗常数，R 为摩尔气体常量. 可见

$$n_0 \propto p/T \tag{2}$$

将(2)式和题中已知的 $\bar{v} \propto \sqrt{T}$ 代入(1)式中可得

$$n \propto p/\sqrt{T} \tag{3}$$

因而

$$\frac{n_{100}}{n_{14}} = \frac{p_{100}}{\sqrt{373}}\Bigg/\frac{p_{14}}{\sqrt{287}} \tag{4}$$

因为 $p_{100} = 1.01 \times 10^5$ Pa，且已知 $p_{14} = 1.60 \times 10^3$ Pa，代入(4)式可得

$$\frac{n_{100}}{n_{14}} = \frac{1.01 \times 10^5 \times \sqrt{287}}{1.6 \times 10^3 \times \sqrt{373}} \approx 55$$

此题属于分子热运动理论中的估算问题，可以考查学生根据有关原理进行估算的能力. 解此题时必须明确：

1）水蒸气分子与水分子相互转化的关系；

2）分子运动中单位时间内碰到单位面积上的分子数与 $n_0\bar{v}$ 成正比；

3）由饱和蒸汽压及温度可以估算 n_0.

这些都是在学习时可以而且应该注意到的.

二、气体的性质

1. 两端封闭的均匀玻璃管内，有一段水银柱将管内气体分为两部分. 玻璃管与水平面成 α 角，如图 2-1 所示，将玻璃管整体浸入较热的水中，重新达到平衡. 试论证水银柱的位置是否变化. 如果变化，如何变？

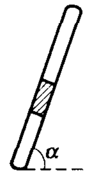

图 2-1

解析

原来平衡温度为 T，后来平衡温度为 T'. 暂假定水银柱不移动. 设两次平衡时下面气体的压强分别为 p_1、p_1'；上面气体相应的压强分别为 p_2、p_2'. 按假定，上、下均为等容过程. 故有

$$T/T' = p_1/p_1', \quad T/T' = p_2/p_2'$$

$$p_1'/p_1 = p_2'/p_2 = (p_1' - p_2')/(p_1 - p_2)$$

$$= (p_1' - p_2')/\Delta p$$

Δp 为水银柱的压强. 因为 $T'/T>1$，故有 $p_1'-p_2'>\Delta p$.

由此可知，如设水银柱位置不变，则温度升高后，下面气体与上面气体的压强之差必然大于水银柱产生的压强. 故此水银柱位置不可能保持不变，它必然向上移动.

2. 如图 2-2 所示，一根两端封闭、粗细均匀的石英管，竖直放置，内有一段水银柱，将管隔成上下两部分. 下方为空气，上方为一种可分解的双原子分子气体(每个分子由两个原子组成). 此种双原子分子气体的性质为：当 $T>T_0$ 时，其分子开始分解为单原子分子(仍为气体). 用 n_0 表示 T_0 时的双原子分子数，Δn 表示 $T_0+\Delta T$ 时分解了的双原子分子数，其分解规律为当 ΔT 很小时，有如下的关系：

图 2-2

$$\Delta n/n_0 = \Delta T/T_0$$

已知初始温度为 T_0，此时，下方的气柱长度为 $2l_0$，上方气柱长度为 l_0，水银柱产生的压强为下方气体压强的 α 倍($0<\alpha<1$)，试讨论当温度由 T_0 开始缓慢上升时，水银柱将上升还是下降. 忽略石英管

和水银柱的体积随温度的变化.

［提示］ 可用 xl_0 表示水银柱因温度升高而移动的距离，$x>0$ 表示升高，$x<0$ 表示下降.

解析

解法Ⅰ 在温度升高过程中，上下端气体均应满足气态方程.

首先分析水银柱下端的气体. 当温度为 T_0 时，其压强设为 p_0，气柱长度为 $2l_0$. 当温度上升到 $T_0+\Delta T$ 时，水银柱向上移动 xl_0，从而气柱长度变为 $(2+x)l_0$（图 2-3），设此时之压强为 p，于是有物态方程：

$$\frac{p_0\cdot 2l_0}{T_0}=\frac{p(2+x)l_0}{T_0+\Delta T} \tag{1}$$

或

$$\left(1+\frac{x}{2}\right)\frac{p}{p_0}=1+\frac{\Delta T}{T_0} \tag{2}$$

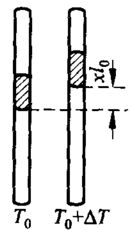

图 2-3

对于水银柱上方之气体，若令水银柱之压强为 αp_0，则当温度为 T_0 时，其气体压强为 $p_0-\alpha p_0$，气体柱长度为 l_0，分子数则为 n_0，当温度上升至 $T_0+\Delta T$ 时，压强为 $p-\alpha p_0$，气体柱长度为 $(1-x)l_0$，而气体分子数则因有 Δn 个双原子分子分解为 $2\Delta n$ 个单原子分子，分子数变为

$$n_0+\Delta n=n_0(1+\Delta T/T_0)$$

故有 T_0 时：

$$(1-\alpha)p_0l_0S=(n_0/N_A)RT_0 \tag{3}$$

$(T_0+\Delta T)$时：

$$(p-\alpha p_0)(1-x)l_0S=n_0(1+\Delta T/T_0)R(T_0+\Delta T)/N_A \tag{4}$$

式中 S 为管之内横截面积，N_A 为阿伏加德罗常数. 由(3)、(4)式可得

$$\frac{1}{1-\alpha}\left(\frac{p}{p_0}-\alpha\right)(1-x)=\left(1+\frac{\Delta T}{T_0}\right)^2 \tag{5}$$

由(2)、(5)两式消去 p/p_0，可得 x 所满足的二次方程

$$ax^2+bx+c=0$$

其中

$$\left.\begin{aligned}
a&=\alpha/2\\
b&=-\left[\left(1+\frac{\Delta T}{T_0}\right)+\frac{1}{2}\left(1+\frac{\Delta T}{T_0}\right)^2-\frac{\alpha}{2}-\frac{\alpha}{2}\left(1+\frac{\Delta T}{T_0}\right)^2\right]\\
&=-\left[\left(\frac{3}{2}-\alpha\right)+(2-\alpha)\frac{\Delta T}{T_0}+\frac{1}{2}(1+\alpha)\left(\frac{\Delta T}{T_0}\right)^2\right]\\
c&=\left(1+\frac{\Delta T}{T_0}\right)-\left(1+\frac{\Delta T}{T_0}\right)^2-\alpha+\alpha\left(1+\frac{\Delta T}{T_0}\right)^2\\
&=(2\alpha-1)\frac{\Delta T}{T_0}-(1-\alpha)\left(\frac{\Delta T}{T_0}\right)^2
\end{aligned}\right\} \tag{6}$$

方程式的解为
$$x=\frac{-b\pm\sqrt{b^2-4ac}}{2a} \tag{7}$$

首先，应判别(7)式中"±"号取法问题．为此，令 $\Delta T\to 0$，此时 $b\to -[(3/2)-\alpha]$，$c\to 0$．则(7)式中 x 解为：

当(7)式中之"±"号取正时，
$$x\xrightarrow[\Delta T\to 0]{}\frac{[(3/2)-\alpha]+[(3/2)-\alpha]}{2\cdot(\alpha/2)}=(3/\alpha)-2>1$$
当(7)式中之"±"号取负时，
$$x\xrightarrow[\Delta T\to 0]{}\frac{[(3/2)-\alpha]-[(3/2)-\alpha]}{2\cdot(\alpha/2)}=0$$

显然，后者合理，前者不合理，故取 x 之解为
$$x=\frac{-b-\sqrt{b^2-4ac}}{2a} \tag{8}$$
据此可以分析，当 $\Delta T>0$ 时，水银柱在什么条件下上升($x>0$)，什么条件下下降．因 $0<\alpha<1$，由(6)式可知
$$b<0,\quad a>0 \tag{9}$$

再由(8)式可知，x 之值取决于 c 之值．当 $c>0$ 时，$x>0$．而当 $c<0$ 时，$x<0$．因 ΔT 很小，在 c 之表示式(6)中忽略 $(\Delta T/T_0)^2$ 项，有
$$c=(2\alpha-1)\Delta T/T_0 \tag{10}$$
由此可见，当 $\alpha>1/2$ 时，$c>0$，$x>0$，水银柱上升；

当 $\alpha<1/2$ 时，$c<0$，$x<0$，水银柱下降；

当 $\alpha=1/2$ 时，$c=-(1/2)(\Delta T/T_0)^2$，$c<0$，$x<0$，水银柱下降．

解法Ⅱ 暂时假定水银柱不动，分析温度上升后，上、下气体压强差的变化．

当温度为 T_0 时，下部气体之压强为 p_0．温度上升至 $T_0+\Delta T$ 时，其压强变为 p_1，因体积不变，故有
$$p_1=p_0(T_0+\Delta T)/T_0=p_0+p_0(\Delta T/T_0) \tag{1'}$$

水银柱压强为 αp_0，故当 $T=T_0$ 时，上部气体之压强为 $(1-\alpha)p_0$，当温度升至 $T_0+\Delta T$ 时，有 Δn 个双原子气体分子分解而成为 $2\Delta n$ 个单原子气体分子．故气体分子数由 n_0 增至 $n_0+\Delta n$ 个．设此时压强为 p_2，则在温度上升前后气态方程为
$$(1-\alpha)p_0l_0S=(n_0/N_A)RT_0 \tag{2'}$$
$$p_2l_0S=(n_0+\Delta n)R(T_0+\Delta T)/N_A \tag{3'}$$
其中 S 为管之内横截面积，N_A 为阿伏加德罗常数．由(2')、(3')二式可得
$$p_2=(1-\alpha)p_0(1+\Delta n/n_0)(1+\Delta T/T_0)=(1-\alpha)p_0(1+\Delta T/T_0)^2 \tag{4'}$$
比较升温之后下部气体和上部气体的压强之差
$$\Delta p=p_1-p_2-\alpha p_0 \tag{5'}$$

若此差大于零，则水银柱上升；若小于零，水银柱应下降. 代入(1′)、(4′)式的结果有

$$\Delta p=(2\alpha-1)(\Delta T/T_0)p_0-(1-\alpha)p_0(\Delta T/T_0)^2 \tag{6′}$$

因 ΔT 很小，故$(\Delta T/T_0)$项起主导作用，而$(\Delta T/T_0)^2$ 项的影响较之第一项要小得多. 故此分析如下：

当 $\alpha>1/2$ 时，$\Delta p>0$，水银柱上升；

当 $\alpha<1/2$ 时，$\Delta p<0$，水银柱下降；

当 $\alpha=1/2$ 时，$\Delta p<0$，水银柱下降。

3. 有一两端封闭的、横截面均匀的 U 形玻璃管，两臂管内分别贮有适量的氢气 1 与氦气 2，一段水银柱把两种气体隔开，如图 2-4 所示. 将此 U 形管两端朝上竖直立起时，两臂中气柱的长度分别为 $L_1=12$ cm，$L_2=18$ cm；两端朝下竖直立起时，气柱的长度分别为$L_1'=6$ cm，$L_2'=24$ cm. 问将此 U 形管平放在水平桌面上时，两臂中气柱的长度 L_{10} 与 L_{20} 各是多少？设 U 形管两臂的长度相等，水银柱不断裂，没有发生气体从一臂通过水银逸入另一臂中的情况.

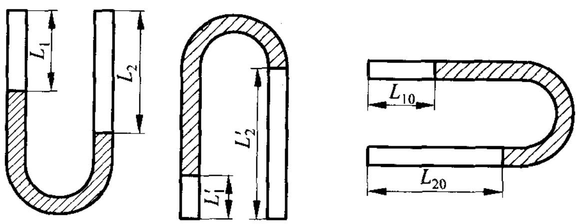

图 2-4

解析

两种气体均可视为理想气体，过程是等温的，对两种气体可分别使用玻意耳定律.

设在 U 形管两端朝上、朝下和平放三种情况下气体 1、2 的压强分别为 p_1、p_2；p_1'、p_2' 和 p_{10}、p_{20}. 令 U 形管横截面积为 S，水银的密度为 ρ，则有

$$p_2-p_1=(L_2-L_1)\rho g \tag{1}$$

$$p_2'-p_1'=-(L_2'-L_1')\rho g \tag{2}$$

由玻意耳定律

$$p_1L_1S=p_{10}L_{10}S,\quad p_2L_2S=p_{20}L_{20}S \tag{3}$$

$$p_1'L_1'S=p_{10}L_{10}S,\quad p_2'L_2'S=p_{20}L_{20}S \tag{4}$$

由(1)、(3)式可得

$$p_2-p_1=\frac{p_{20}L_{20}}{L_2}-\frac{p_{10}L_{10}}{L_1}=(L_2-L_1)\rho g \tag{5}$$

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com