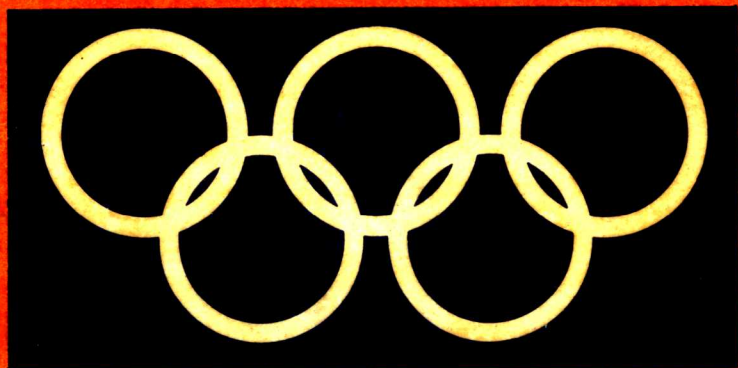




谢慧媛 等 编

第一、二届 物理 奥林匹克 国家集训队 资料选编

(1986, 1987)
(实验部分)



北京大学出版社

内 容 提 要

本书选编了参加第 17 届、第 18 届国际中学生物理奥林匹克竞赛的中国队在培训、选拔期间做过的各类实验,包括力学、热学和物性学实验,电磁学实验,光学实验及电子线路实验四大部分。本书选的实验内容丰富、测量方法较多,有物理思想丰富但仪器简单的实验,也有用近代的、精密的仪器进行测试的实验,还有许多设计性实验。

本书可供对物理有兴趣的中学生学习提高之用,也可供各类物理奥林匹克学校作教材,还可作为中学、教师和高校师生物理实验参考资料。

第一、二届物理奥林匹克国家集训队 资料选编(1986,1987)(实验部分)

谢 慧 瑗 等 编

责任编辑:周月梅

*

北京大学出版社出版

(北京大学校内)

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

787×1092 毫米 32 开本 5.625 印张 120 千字

1989 年 4 月第一版 1989 年 4 月第一次印刷

印数: 00001—5,000 册

ISBN 7-301-00756-6/O·137

定价: 2.30 元

前 言

国际中学生物理奥林匹克竞赛分为理论和实验两部分，考试时间均为 5 小时。1986, 1987 年我国参赛学生的实验培训是在北京大学物理系普通物理实验室进行的。本书的编者均为实验培训的教练。

由于国际中学生物理奥林匹克竞赛大纲中规定的实验部分的内容，基本上是我国综合大学物理系低年级学生的实验课程内容，这对参赛的中学生是有一定困难的。为了让他们能通过短期的培训达到大纲的要求，我们在培训中除了教给他们基本仪器的使用、基本物理量的测量方法、对各种实验现象的分析、实验线路的设计等以外，还特别注意培养学生设计和分析实验的能力，以及如何利用简易的仪器去完成物理思想丰富的实验。

本书第一章由龚镇雄编写，第二章由谢慧媛编写，第三章由陈怀琳、张毓英编写，第四章由朱世嘉编写。附录由陈熙谋翻译。

编 者

1988 年 8 月于北京大学

目 录

第一章 力学、热学和物性学实验	1
§ 1.1 基本测量和物性实验	1
§ 1.2 质点和刚体运动实验	6
§ 1.3 气轨上的实验	11
§ 1.4 摆的实验	14
§ 1.5 量热学实验	24
§ 1.6 有关统计分布规律的实验	34
第二章 电磁学实验	36
§ 2.1 用电流表、电压表测电阻	36
§ 2.2 直流电桥	45
§ 2.3 直流电位差计	50
§ 2.4 电流计和磁测量	54
§ 2.5 交流电表的使用和测量	64
§ 2.6 交流电桥	68
§ 2.7 黑盒子	74
第三章 光学实验	79
§ 3.1 透镜成像及焦距测定	79
§ 3.2 望远镜、显微镜及其使用	87
§ 3.3 折射率的测定	94
§ 3.4 光的干涉	105
§ 3.5 光的衍射	113
§ 3.6 光的偏振	122
第四章 电子线路实验	128

§ 4.1	示波器的使用	128
§ 4.2	低频电压的测量	138
§ 4.3	RLC 电路	140
§ 4.4	二极管和整流滤波电路	143
§ 4.5	晶体管 and 单管放大器	148
§ 4.6	简单振荡电路	154
§ 4.7	集成运算放大器的应用	155
§ 4.8	与微机连机的 A/D, D/A 转换器	163
附录	国际中生物理奥林匹克竞赛大纲	168

第一章 力学、热学和物性学实验

§ 1.1 基本测量和物性实验

一、长度和角度测量

〔仪器用具〕

钢板尺(0—50cm/1mm), 游标卡尺(0—12.5cm/0.05mm或0.02mm), 外径千分尺(0—2.5cm/0.01mm), 读数显微镜, 球径仪, 带游标的测角仪, 待测物件等。

〔实验内容〕

1. 用米尺测量长度并估计一次测量误差。
2. 用游标尺测量钢杯的外径、内径、高和深, 多次测量, 计算钢杯的含钢体积和误差。
3. 用外径千分尺测量钢球的直径。多次测量, 计算其体积及误差。
4. 用读数显微镜测量两条平行棱边之间的距离, 说明其平行程度。
5. 说明所给球径仪的量程、分度值和使用方法, 用球径仪测定球面玻璃的曲率半径。
6. 用测角仪测量三角形的顶角角度值。
7. 测定一块在面上镂去一个圆形孔的均匀平板的质心位置, 要用两种以上方法。

〔实验参考〕

1. 球径仪的曲率半径

$$R = \frac{l^2}{h} + \frac{h}{2},$$

式中 l 是球径仪三条腿构成的等边三角形的边长, h 是三条腿所包围的球台高度。

2. 确定物体质心位置的方法

(1) 用刀口或边棱。注意对于平面物体需有两个方向, 对于三维物体需有不在同一水平面内的三个方向。

(2) 用吊线方法, 注意不在同一竖直方向。

(3) 对于几何形状规则的均匀物体可以用计算方法。利用公式

$$x_c = \frac{1}{m} \sum_i x_i m_i.$$

注意原点位置的适当选取。

3. 表示两条棱边之间平行程度的方法

用不平行程度来表示:

(1) 绝对不平行度, 用极差或标准偏差。

(2) 相对不平行度, 用平均值代表标准值。

二、使用分析天平

〔仪器用具〕

GT-2 型光电阻尼式分析天平, 摆动式分析天平, 砝码, 物理天平, 待测物件等。

〔实验内容〕

1. 了解各种类型的分析天平及分析天平的精密称衡方法。

2. 学会使用光电阻尼式分析天平。

3. 掌握空气浮力修正方法。

〔实验参考〕

1. 天平的灵敏度 S 表述为

$$S = \frac{RL \cos \alpha}{L(2p + q) \sin \alpha + Wh}, \quad (1.1)$$

式中 R 是指示平衡位置的指针长度, α 是横梁悬重刀口与中间支持刀口之间连线与水平线之间的夹角, $L \cos \alpha$ 是天平的臂长, W 是横梁质量, h 是横梁重心到中间支持刀口之间的距离, p 是天平两盘的负载, q 是天平平衡时在一盘中增加的质量。

式 (1.1) 表示了天平的灵敏度 S 与哪些量有关。调节重心螺丝, 改变 h , 可以调节 S 。若 $\alpha = 0$, S 与负载无关, 但实际上 $\alpha \approx 0$ 且随负载而增大, 因此, 天平的负载灵敏度常小于空载灵敏度。

利用天平灵敏度的概念, 即在一盘内加一单位质量时指针偏转的格数, 可以很快找到天平的平衡位置。利用类似的思想, 可以很快调整天平的零点。

2. 天平的精密称衡方法

天平的精密称衡方法有以下几种:

(1) 复称法。对于两臂相差不大的等臂天平

$$M = \sqrt{M_1 M_2} \approx \frac{1}{2} (M_1 + M_2).$$

复称法可消除天平不等臂的误差, M_1 , M_2 为左右称的质量。

(2) 替代法。直接替代法可以用于等臂或不等臂天平。

直接替代法的测量精确度取决于作为标准的砝码的准确度以及平衡指示的灵敏度。

(3) 定负载称衡法。定负载称衡法可以避免灵敏度因负载而变化所引起的误差，或减小随时检查、调整灵敏度的麻烦。

常用全负载、半全负载或根据实验中最大称衡质量来确定定负载的值。

三、测定物体的密度

〔仪器用具〕

物理天平，分析天平及砝码，温度计，比重瓶，比重计，多用密度秤，蒸馏水，待测盐水，待测玻璃小球，石膏块，塑料块，粉末等。

〔实验内容〕

1. 用物理天平，根据阿基米德原理测定不规则铝块和塑料块 ($\rho < 1\text{g/cm}^3$) 的密度。

2. 用物理天平、比重瓶测定液体的密度。

3. 用分析天平、比重瓶测定玻璃小球的密度。

4. 用多用密度秤测定粉末和石膏块的表现密度。

5. 用比重计测定液体密度。

〔实验参考〕

各种性质、形状物体密度的测定方法

对于几何形状规则的物体，可以直接测量其体积及重量，求出密度，

对于形状不规则的物体，如果与液体（一般用水）不起化学作用或不被浸湿，可以用流体静力称衡法（阿基米德原理）

测定其密度;对于可能浸湿的物体,可以用物质(如蜡或塑料)包裹后再用流体静力称衡法测定。

对于小块固体,如若不与液体(一般用水)浸湿,可用比重瓶或流体静力称衡法或密度秤测定。

对于粉末及可浸湿的小块物体可用标准容器及已知密度的小颗粒或密度秤测定。

对于液体,可以用比重计、比重天平、密度秤、比重瓶、流体静力称衡法或黑尔法(连通管上端抽气、下端两支管分别插入水及待测液体中,由水及液体上升高度比求出密度)等测定。

四、测定金属的杨氏模量

〔仪器用具〕

用金属丝的伸长测定杨氏模量实验装置,用梁的弯曲测定杨氏模量实验装置,米尺,千分尺,游标尺,砝码等。

〔实验内容〕

1. 用金属丝的伸长及光杠杆放大方法测定钢的杨氏模量。
2. 用矩型梁的弯曲测定钢的杨氏模量。

五、测定粘滞系数

〔仪器用具〕

油瓶,甘油,小钢球,温度计,千分尺,比重计等。

〔实验内容〕

用斯托克斯公式及落球法测定甘油的粘滞系数。

六、测定大气压强

〔仪器用具〕

福廷式气压计, 温度计。

〔实验内容〕

用福廷式气压计测量大气压强。

七、测定空气的相对湿度

〔仪器用具〕

干湿球温度计。

〔实验内容〕

用干湿球温度计测定空气的相对湿度。

§ 1.2 质点和刚体运动实验

一、用自由落体测定重力加速度

〔仪器用具〕

用自由落体测定重力加速度实验装置, 光电计时装置, 小钢球, 游标卡尺等。

〔实验内容〕

1. 用自由落体测定重力加速度 g 。
2. 比较用不同测量公式所得的结果。

〔实验参考〕

1. 用自由落体测定 g 的测量公式

(1) 假定小球一开始下落就计时, h_1 和 t_1 是下落距离和下落时间, E_1 和 E_2 是第一个和第二个光电门的位置 (如图

1.1(a)所示), 则

$$g_1 = \frac{2h_1}{t_1^2}. \quad (1.2)$$

(2) 将 E_2 移至 E'_2 , 如图 1.1(b)所示. 则

$$g_2 = \frac{2h_2}{t_2^2}. \quad (1.3)$$

(3) (1.2)与(1.3)两式相减, 则

$$g_3 = \frac{2(h_2 - h_1)}{t_2^2 - t_1^2}. \quad (1.4)$$

(4) (1.2)与(1.3)两式相加, 则

$$g_4 = \frac{2(h_2 + h_1)}{(t_2^2 + t_1^2)}. \quad (1.5)$$

(5) 考虑到小球下落到第一个光电门处实际上速度 $v_0 \neq 0$, 利用公式得

$$s_1 = v_0 t_1 + \frac{1}{2} g t_1^2,$$

将第二个光电门移动一次, 得

$$s_2 = v_0 t_2 + \frac{1}{2} g t_2^2.$$

如图 1.1(c)所示. 由上二式消去 v_0 , 则

$$g_5 = \frac{2 \left(\frac{s_1}{t_1} - \frac{s_2}{t_2} \right)}{t_2 - t_1}. \quad (1.6)$$

(6) 用一个光电门, 测定小球下落 h 距离时的瞬时速度 $v = \delta s / \delta t$. 设 $\delta s = d$, d 为小球直径, δt 由光电计时器测得, 如图 1.1(d)所示, 则

$$g_6 = \frac{v^2}{2h} = \frac{1}{2h} \left(\frac{d}{\delta t} \right)^2. \quad (1.7)$$

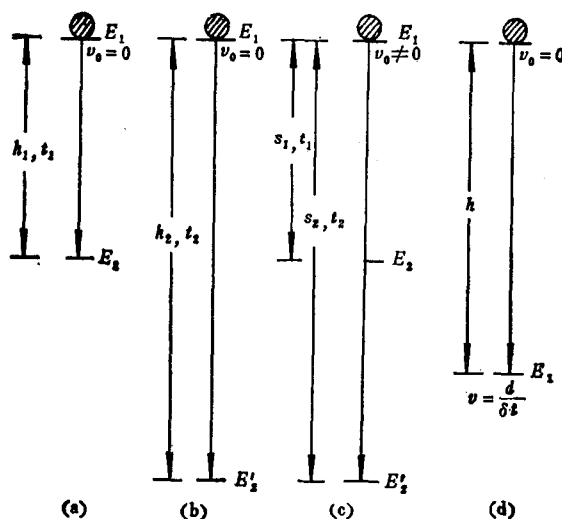


图 1.1

2. 对用不同公式测得不同结果的讨论

(1) g_1 和 g_2 偏大, 是因 t_1 和 t_2 偏小. 实际上小球下落时不可能绝对地从 $v_0 = 0$ 开始计时, 假如小球下落 0.5mm 后才开始计时, 则已过了 0.0032s. 会导致 g 偏大 2% (对 $t_1 = 0.3192\text{s}$) 或偏大 1.5% (对 $t_2 = 0.4492\text{s}$). 其中 g_1 又大于 g_2 , 亦是合乎实际的, 这是时间零点的误差.

(2) 测 g_3 时用 $h_2 - h_1$ 代替 h_2 或 h_1 , 用 $t_2^2 - t_1^2$ 代替 t_2^2 或 t_1^2 , 前者消除了位置零点不是零的误差. 因为小球所挡的光不是一条几何线, 位置读数为零之处不是小球实际挡光处;

后者减小了时间零点的部分误差。

(3) 测 g_4 的公式实际上没有什么物理意义。 g_4 的数值介于 g_1 和 g_2 之间也是合乎实际的。

(4) 测 g_5 的公式 (1.6) 解决了时间零点和位置零点所引起的误差。由于空气阻力的影响,测得的 g_5 值比标准值偏小约 0.5%, 是合乎实际的数值。

(5) g_5 值显著偏大, 是因为显然用小球直径 d 代表挡光距离是偏大的, 而且偏大很多。小球不可能正好以其直径部分通过光电门。即使是以小球中间部分通过, 挡光距离也小于 d 。

(6) 上述讨论说明, 在实验中用不同公式计算会有不同的结果, 这反映了不同的物理内容。

3. 光电门最佳位置的选择

在用式 (1.6) 测 g 时, 根据误差分析, E_1 应距离开始下落点不太远, 以小于 1cm 为好; E_2' 以尽量靠近仪器底部为好; E_2 的位置以 $s_1/s_2 = 1/3$ 至 $1/4$ 为好。

二、刚体转动实验

〔仪器用具〕

刚体转动实验装置, 停表等。

〔实验内容〕

1. 检验刚体转动定理。
2. 测定刚体转动惯量。
3. 用作图法, 回归法, 逐差法和平均法处理数据。

〔实验参考〕

1. 刚体转动实验装置如图 1.2 所示。

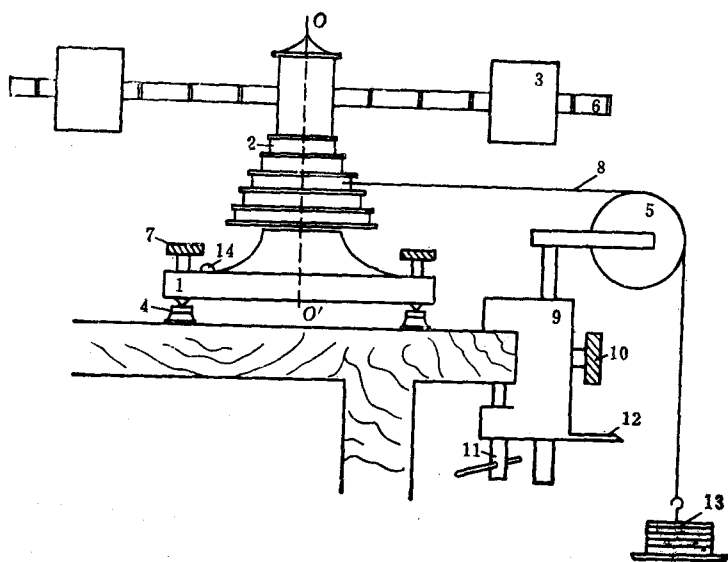


图 1.2

图中 1 是底座, 2 是具有五个不同绕线半径的塔轮, 3 是可调重锤, 4 是脚垫, 5 是滑轮, 6 是均匀的具有等分刻度的横杆支臂, 7 是调节螺丝, 8 是细线, 9 是滑轮架, 10 和 11 是固定螺丝, 12 是砝码下落的起始标志, 13 是砝码, 14 是水准仪。

2. 如何在本实验装置上检验刚体角运动的规律

可以改变下落高度(即转过的角位移 θ) 测出相应的时间

1. 当初角速度 $\omega_0 = 0$ 时, 检验

$$\theta = \frac{1}{2} \beta t^2,$$

并求出 β 。

这工作也可用储存式计时器完成, 直接记下每转过一圈

(2π) 或半圈 (π) 或四分之一圈 ($\pi/2$) 的时间。

§ 1.3 气轨上的实验

一、气轨上弹簧振子的简谐振动

〔仪器用具〕

气轨, 滑块, 弹簧, 加重块, 计时器, 光电门, 物理天平, 游标尺等。

〔实验内容〕

1. 描述弹簧振子简谐振动的位移-时间曲线, 并与理论曲线比较。

2. 检验简谐振动的位移与速度之间的关系。

3. 检验简谐振动的周期公式 $T = 2\pi\sqrt{m/k}$, 并求出弹簧的等效质量。

4. 测定弹簧的倔强系数 k 。

5. 测定弹簧振子的动能和弹性势能, 并检验机械能守恒。

〔实验参考〕

1. 在简谐运动实验中, 如何确定振子距平衡点的位置 x 及测准相应的时间 t 及速度 v ?

由于光电门本身有相当的宽度, 不易定准 x 以及与 x 对应的 t 及 v 。解决的办法是取平衡位置两侧的 x , 以其瞬时速度(或 U 形挡光片挡光时间) 接近相等来检验, 并取两侧数据求平均; 另外, 还采取从两侧起动的方法求平均。

多次测量, 取第一个周期内的数, 不宜多取周期。

2. 测定 k 及 m 的途径

实验中 k 可根据

(1) 静力学关系: $E = kx$;

(2) 动力学关系: $T' = \frac{4\pi^2}{k} m$ 或 T^2-m 曲线中的斜率;

(3) 运动学关系: $k = m \frac{v'^2_{\max}}{A^2}$ (已知 m) 求出.

m_0 可以由

(1) 动力学关系: $T^2 = \frac{4\pi^2}{k} (m_1 + m_0)$, T^2-m 曲线中

的截距,

(2) 运动学关系: $m_1 + m_0 = \frac{kA^2}{v'^2}$ (已知 k 及振幅) 求

出.

在一个实验中设法用多种途径求测同一个物理量, 可以起相互检验之作用, 是应注意养成的一种习惯.

3. 如何表述机械能守恒

求出各点机械能的总和 E' , 然后求出 $\bar{E}'$. 以 E' 的标准偏差而不是平均值的标准偏差表示在测点中任选一点与平均值的偏离程度.

二、气轨上的碰撞实验

[仪器用具]

气轨, 滑块, 计时器, 光电门, 物理天平, 粘接物等.

[实验内容]

1. 用碰撞实验验证动量守恒定律.

2. 求出在弹性碰撞及完全非弹性碰撞情况下动能的损耗情况.