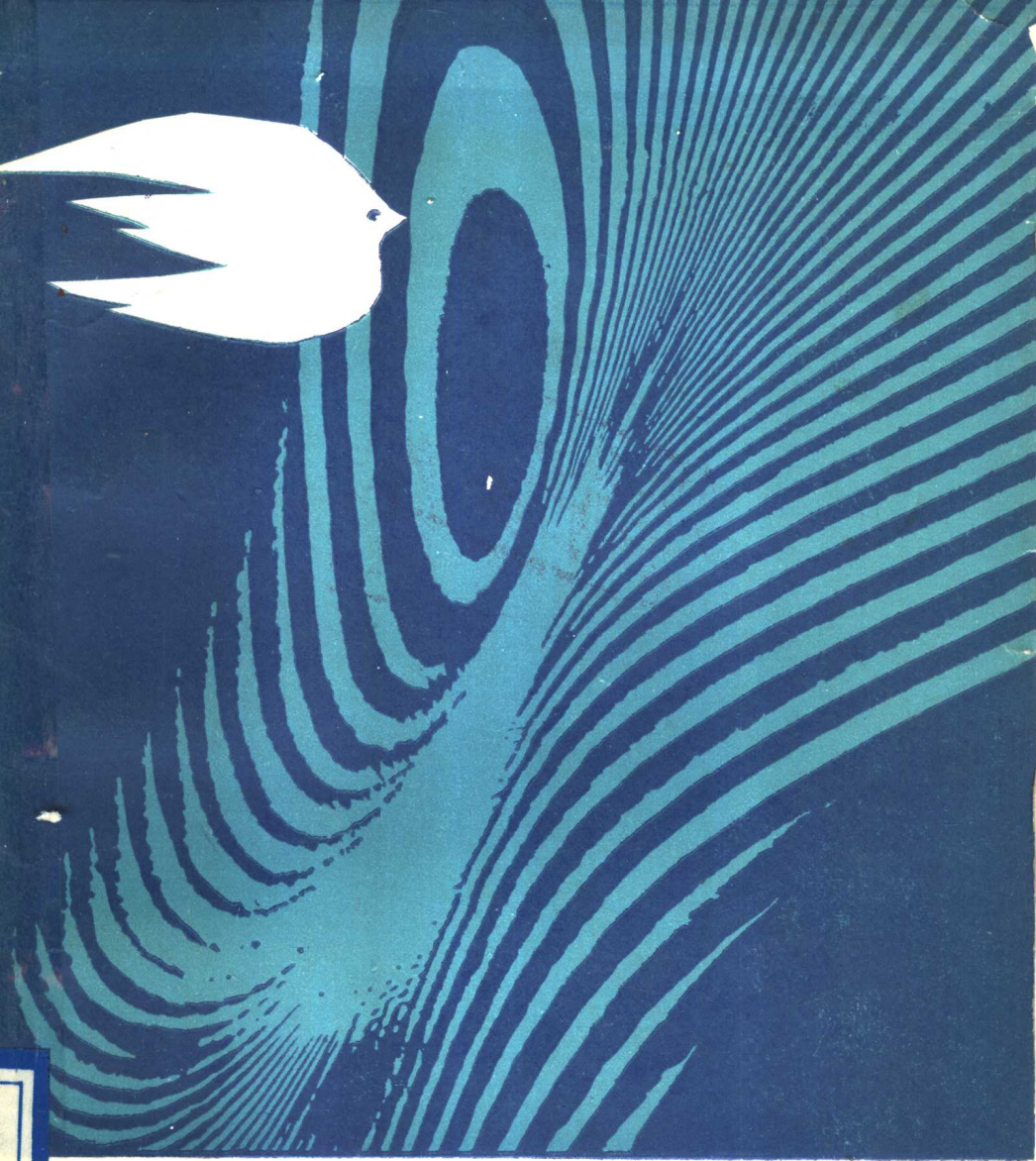




80年代国际中学生物理竞赛 试题详解

湖南教育出版社

80年代国际中学生物理竞赛 试题详解

马伟栋 唐一谈 施三山 编

湖南教育出版社

80年代国际中生物理竞赛

试 题 详 解

马伟棟 唐一谈 施三山 编

责任编辑：董树岩

湖南教育出版社出版发行

湖南省新华书店经销 湖南省新华印刷二厂印刷

850×1168毫米 32开 印张：7.75 字数：190,000

1992年2月第1版 1992年2月第1次印刷

印数：1—3,200

ISBN 7—5355—1402—2/G·1397

定 价：2.55元

前 言

首届国际物理奥林匹克竞赛(International Physics Olympiad, 简称IPhO)于1967年在波兰首都华沙举行,当时只有波兰、捷克、匈牙利、保加利亚和罗马尼亚5个东欧国家参加。第二届竞赛于次年在匈牙利举行,有8个国家(新参加国为苏联、前东德及南斯拉夫)参加。1972年举办第六届竞赛时,法国与古巴派队参赛,这是第一次有西欧及欧洲以外的国家参加。1981年越南作为第一个亚洲国家参赛。1985年加拿大作为第一个北美洲国家参赛。1987年澳大利亚的参赛意味着 IPhO 活动已扩展到除非洲以外的全世界四大洲。特别值得一提的是,1986年中国与美国正式参赛。这是 IPhO 历史上的一件大事,因为世界各国对中国和美国的中、小学教育情况显然是尤为关心的。

由于参赛国中欧洲国家占大多数,第一届至二十一届IPhO均在欧洲举行。今年古巴承办了第二十二届IPhO,共有31个国家首次在欧洲以外的国家参赛,1994年将在中国北京举行第二十五届IPhO,1995年澳大利亚将承办IPhO赛事。

IPhO参赛国并不是非常多,其中原因之一是物理竞赛与体育竞赛不一样,它不具有观赏性,因此资金来源相当困难。每年参赛的出国旅费是笔不小的开支,而东道国的开销自然更大。1973,1978和1980年就是由于财政困难而未能举行。这与国际体育赛事的盛况相比,令人感慨!

1985年我国派观察员列席了在南斯拉夫举行的第十六届IPhO,1986年派出一个不足员(3名学生)的代表队参赛,1987年

开始每年都派出足员(5名学生)的代表队参赛。至今为止共有28名学生参加比赛,其中8人获金奖,10人获银奖,8人获铜奖,2人获表扬奖。IPhO章程明确宣布“该竞赛是个人之间的竞赛”,所以从不计及各参赛国的团体总分。尽管如此,仍有不少国家比较重视代表队总成绩。从总分来看,可以说中国代表队是一支强队。在第二十、二十一届IPhO中中国代表队总分均列第二,今年在第二十二届IPhO中首次名列第一。

迄今为止IPhO赛题均由东道国准备,各国轮流做东,试题各具风格。总的来说,苏联、东欧等国的试题较具经典性,即多属出题者的学院式编制,题目较为严谨。西欧各国的试题往往侧重科研性,相当一部分题目来源于科研问题及一些生活实际中的问题,但是题目有时不够严谨。在我们作参赛准备时显然不能偏废任何一个方面,而且从教学角度来考虑这两者本来就应当是相辅相承的。

IPhO竞赛大纲的总纲e)条款规定“参赛者应熟悉过去国际物理奥林匹克竞赛题目涉及的内容”,这对中国参赛学生来说尤其必要,一是因为IPhO竞赛大纲内容远高于中国中学物理教学大纲内容;二是随着IPhO活动范围的扩大不仅赛题难度在明显增加,而且涉及的物理知识面也在逐渐延展。本书为读者集中地提供了第十二届到第二十一届的IPhO试题及解答,这在帮助我们了解IPhO竞赛内容方面必能起到很好的作用。

舒幼生

1991年9月

目 录

第十二届国际物理奥林匹克竞赛试题及解答·····	(1)
第十三届国际物理奥林匹克竞赛试题及解答·····	(9)
第十四届国际物理奥林匹克竞赛试题及解答·····	(31)
第十五届国际物理奥林匹克竞赛试题及解答·····	(41)
第十六届国际物理奥林匹克竞赛试题及解答·····	(50)
第十七届国际物理奥林匹克竞赛试题及解答·····	(67)
第十八届国际物理奥林匹克竞赛试题及解答·····	(110)
第十九届国际物理奥林匹克竞赛试题及解答·····	(127)
第二十届国际物理奥林匹克竞赛试题及解答·····	(164)
第二十一届国际物理奥林匹克竞赛试题及解答·····	(190)
附录：第一——十一届国际物理奥林匹克竞赛试题·····	(225)

第十二届国际物理奥林匹克竞赛试题及解答

(1981年 保加利亚 瓦尔纳)

【题1】

真空中有一只质量为 M 的试管。质量为 m 、厚度可忽略的隔板把试管分为两个相等的部分。试管的封闭端充有 n 摩尔温度为 T 、摩尔质量为 μ 的单原子理想气体。隔板被释放后，无摩擦地移动直至离开试管。而后气体方始逸出。

设隔板开始运动时，试管处于静止状态，试问试管的最终速度是多大？气体常数 R 是已知的。在隔板离开试管以前，气体的动量，以及气体与试管、与隔板间的热交换都可略去不计。隔板离开试管后的温度变化也可忽略，且不考虑重力的作用。

【解答】

引起隔板在试管中运动的是气体的绝热膨胀过程，因而有

$$TV^{\gamma-1} = T_f V_f^{\gamma-1}$$

式中 V 是气体的初始体积， V_f 是隔板离开时试管的体积，且

$$x = \frac{C_p}{C_v} = \frac{5}{3}$$

C_p 和 C_v 分别为定压摩尔热容量和定容摩尔热容量。

考虑到 $V_f/V = 2$ ，于是有

$$T_f = \frac{1}{2^{1/3}} T \quad (1)$$

由于隔板的运动是无摩擦的，所以系统获得动能的大小等于气体内能的变化。

$$\frac{(n\mu + M)u_1^2}{2} + \frac{mw^2}{2} = nC_v(T - T_f) = \frac{3}{2}nR(T - T_f) \quad (2)$$

其中 u_1 是隔板飞离试管的瞬间，试管和内装的气体(质量为 $n\mu$)的速度， w 是隔板在同一时刻的速度。试管和隔板朝相反方向运动。据题设，气体相对于试管的定向运动可以忽略。

根据动量守恒定律，有

$$(n\mu + M)\mu_1 = mw \quad (3)$$

从方程(1)、(2)和(3) 可得出

$$u_1 = \left[\frac{3(2^{2/3} - 1)}{2^{2/3}} \frac{mnRT}{(n\mu + M)(m + n\mu + M)} \right]^{1/2}$$

当隔板飞出试管时，气体开始逸出，致使试管速度增大。让我们在沿试管运动方向以速度 u_1 运动的参照系中作进一步考虑。由于是在真空中，所有的气体都将逸出试管。并且由于原子的弹性碰撞，试管取得的动量有如半数原子向其底部撞击一样。每个原子传递的动量近似为

$$p = 2 \frac{\mu}{N_A} \sqrt{\frac{v^2}{3}}$$

其中 N_A 是阿伏伽德罗数， μ/N_A 是一个原子的质量， v 为原子的方均根速率。因此，当全部气体逸出时，试管获得的动量是

$$P = \frac{nN_A}{2} p = n\mu \sqrt{\frac{v^2}{3}}$$

v^2 可用温度 T_f 予以表达，

$$v^2 = \frac{3RT_f}{\mu}$$

亦即

$$P = n\sqrt{\mu RT_f}$$

考虑到方程(1)，可知当全部气体逸出时，处于我们所选取的参照系里的试管将取得速度

$$u_2 = \frac{P}{M} = \frac{1}{2^{1/3}} \frac{n}{M} \sqrt{\mu RT}$$

因此，在隔板开始运动前试管处于静止的参照系里，试管取得的最终速度是 $u = u_1 + u_2$

亦即

$$u = \left[\frac{3(2^{2/3} - 1)}{2^{2/3}} \frac{mnRT}{(n\mu + M)(m + n\mu + M)} \right]^{1/2} + \frac{1}{2^{1/3}} \frac{n}{M} \sqrt{\mu RT}.$$

【题2】

用电动势 $E=6$ 伏特、内阻不计的蓄电池组向电阻 $R_0=2$ 欧姆、额定电压 $U_0=4.5$ 伏特的灯泡供电。

用按照电位计方式连接的滑线变阻器向灯泡提供额定电压。要使系统的效率不低于 $\eta_0=0.6$ ，变阻器的阻值及它应承受的最大电流各是多少？

处于额定电压下的灯泡和蓄电池组的最大可能效率是多少？它们同适当选择的变阻器应如何进行连接，才能取得最大的效率？

【解答】

如图12—1

$$I = \frac{U_0}{R_2} + \frac{U_0}{R_0} \quad (1)$$

$$E = IR_1 + U_0 \quad (2)$$

$$\eta = \frac{P_0}{P} = \frac{U_0^2}{R_0 EI} \quad (3)$$

$$\eta \geq \eta_0 \quad (4)$$

$$R = R_1 + R_2 \quad (5)$$

流过变阻器的电流总是小于总电流 I ，由(3)有

$$I = \frac{U_0^2}{R_0 E \eta} \quad (6)$$

由于 $I \propto \frac{1}{\eta}$ ，要满足不等式(4)，通过变阻器的电流应不大于

$$I(\eta_0) = \frac{U_0^2}{R_0 E \eta_0} = \frac{4.5^2}{2 \times 6 \times 0.6} \text{ 安培} = 2.81 \text{ 安培}$$

从(2)和(6)有

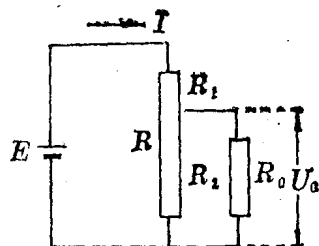


图12—1

$$R_1 = \eta \frac{E}{U_0} \left[\frac{E}{U_0} - 1 \right] R_0 \quad (7)$$

从(1)和(6)有

$$R_2 = R_0 \left[\frac{U_0}{\eta E} - 1 \right]^{-1} \quad (8)$$

再根据(5), 终于得到

$$R(\eta) = R_0 \frac{E}{U_0} \left[\frac{E}{U_0} - 1 \right] \eta + \frac{R_0}{\frac{U_0}{\eta E} - 1} \quad (9)$$

容易证明 R 随效率 η 的提高而增大, 因为

$$R(\eta) = \text{常数} \times \eta + \frac{\text{常数}}{\frac{\text{常数}}{\eta} - 1}$$

对 η , 存在极限值 $\frac{U_0}{E}$ (当 $\eta \rightarrow \frac{U_0}{E}$ 时, $R_2 \rightarrow \infty$). 于是, 对于任何

$$0 > R \leq \infty$$

$$\text{有 } 0 > \eta \leq \frac{U_0}{E} = 0.75$$

对于已给定的 E 、 U_0 和 R_0 数值, 电阻 $R_1(\eta)$ 和 $R_2(\eta)$ 的图线有如图12-2所示。

为获得不低于 $\eta_0 = 0.6$ 的效率, 变阻器的总阻值应为

$$R \geq R(\eta_0) = 8.53 \text{ 欧姆}$$

又, 从(8)有

$$\eta = \frac{U_0}{E} \cdot \frac{R_2}{R_0 + R_2} = \frac{U_0}{E} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_0}{R_2}} \quad (10)$$

显然, 当 $R_2 \rightarrow \infty$ 时, η 有最大值。这表明变阻器应同 R_0 串联(图12-3)。〔根据(3), 考虑到 $I = I_0$ 时 η 有最大值, 也能得出相同的结论〕所以

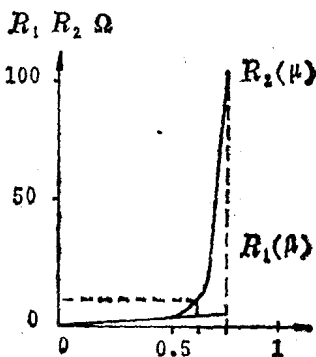


图12-2

$$\eta_{\text{最大}} = \frac{U_0}{E} = 0.75$$

这时, 变阻器流过电流的那一部分电阻丝的电阻〔见(7), 当 $\eta = \eta_{\text{最大}}$ 时〕

$$R_1 = \left[\frac{E}{U_0} - 1 \right] R_0 = 0.67 \text{ 欧姆}$$

根据图12—1的电路, 也能得到相同的表达式:

$$R_1 = \frac{E - U_0}{I_0} = \left[\frac{E}{U_0} - 1 \right] R_0$$

在此情况下, 变阻器所能荷载的电流应不小于

$$I_0 = \frac{U_0}{R_0} = 2.25 \text{ 安培.}$$

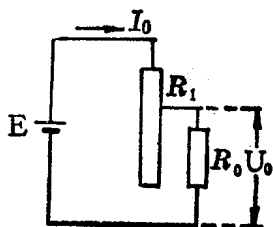


图12—3

*如果列出的求各物理量的公式无误, 但在计算中出现一些错误, 则相应得分最多扣除0.5分。

3. 某射电天文台的一台射电接收机位于海岸附近海平面以上 $h = 2$ 米处。当一颗能发射电磁波波长 $\lambda = 21$ 厘米的射电星从水平面升起时, 接收机记录了交变的最大值和最小值。接收机只记录那些电矢量 E 平行于海平面振动的电磁波。被记录下来的信号同 E^2 成正比。试问:

(a) 该射电星在沿记录到最大值和最小值的地球地平线上的仰角(用通式表示)是多大?

(b) 当射电星升起时, 接收机接收到的信号会立即增强或减弱吗? 说明理由。

(c) 信号第一最大值与次级最小值的比值是多少? 当电磁波被水面反射时, 记录下来的反射波电场强度 ($E_{\text{反}}$) 和入射波电场强度 ($E_{\text{入}}$) 振幅之比由以下关系式决定

$$\frac{E_{\text{反}}}{E_{\text{入}}} = \frac{n - \cos \varphi}{n + \cos \varphi}$$

式中 n 是折射率, φ 是电磁波的入射角, 对于空气——水界面, 当 $\lambda=21$ 厘米时, $n=9$ 。

(d) 当恒星在地平线以上上升时, 接收到的信号的相邻最大值和最小值的比率会不会增大或减小?

解题时, 假定海面是光滑的。

【解答】

(a) 最大值和最小值产生的条件决定于发生干涉的两束波(图12-4): 为接收机接收的直射波束1和被海面反射的波束2, 两者的波程差是:

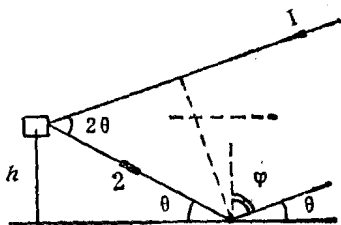


图12-4

$$\begin{aligned}\Delta &= \Delta_2 - \Delta_1 = \frac{h}{\sin\theta} + \frac{\lambda}{2} - \frac{h}{\sin\theta} \cos 2\theta \\ &= \frac{h}{\sin\theta} (1 - \cos 2\theta) + \frac{\lambda}{2} = 2h \sin\theta + \frac{\lambda}{2}\end{aligned}$$

最大值出现于角 $\theta_{m+1}^{(k)}$ 的情况下, 满足条件

$$2h \sin\theta_{m+1}^{(k)} + \frac{\lambda}{2} = k\lambda, \quad k=1, 2, \dots$$

亦即当 $\sin\theta_{m+1}^{(k)} = \left[k - \frac{1}{2}\right] \frac{\lambda}{2h}$ 的时候。

最小值出现于角 $\theta_{m+1}^{(k)}$ 的情况下, 满足条件

$$2h \sin\theta_{m+1}^{(k)} + \frac{\lambda}{2} = (2k+1) \frac{\lambda}{2},$$

即 $\sin\theta_{m+1}^{(k)} = \frac{k\lambda}{2h}, \quad k=0, 1, 2, \dots$

(b) 射电星刚升起时, 它在地平线上的仰角 $\theta=0$, 就是说, 这时的仰角满足最小值条件。因此, 射电星升起时, 接收到信号增强。

(c) 在最大值时, 被接收机接收的电磁波振幅等于直接入射

波1的振幅和以角 $\varphi_{\max}^{(k)} = \frac{\pi}{2} - \theta_{\max}^{(k)}$ 反射的电磁波的振幅之和，亦即

$$\begin{aligned} E_{\max}^{(k)} &= E_{\lambda} + E_{\text{反}}^{(k)} = E_{\lambda} \left[1 + \frac{n - \cos \varphi_{\max}^{(k)}}{n + \cos \varphi_{\max}^{(k)}} \right] \\ &= E_{\lambda} \left[1 + \frac{n - \sin \theta_{\max}^{(k)}}{n + \sin \theta_{\max}^{(k)}} \right] = E_{\lambda} \frac{2n}{n + \sin \theta_{\max}^{(k)}} \end{aligned}$$

在最小值时，合成波的振幅等于两个振幅之差，也就是说

$$E_{\min}^{(k)} = E_{\lambda} \left[1 - \frac{n - \sin \theta_{\min}^{(k)}}{n + \sin \theta_{\min}^{(k)}} \right] = E_{\lambda} \frac{2 \sin \theta_{\min}^{(k)}}{n + \sin \theta_{\min}^{(k)}}$$

相应最大值和最小值强度之比为

$$\rho_k = \frac{I_{\max}^{(k)}}{I_{\min}^{(k)}} = \left[\frac{E_{\max}^{(k)}}{E_{\min}^{(k)}} \right]^2 = \frac{n^2 (n + \sin \theta_{\min}^{(k)})^2}{\sin^2 \theta_{\min}^{(k)} \cdot (n + \sin \theta_{\max}^{(k)})^2}$$

应用最小值和最大值条件，有

$$\rho_k = \frac{I_{\max}^{(k)}}{I_{\min}^{(k)}} = \frac{4n^2 k^2}{k^2 \lambda^2} \cdot \left[\frac{n + k \frac{\lambda}{2h}}{n + \left(k - \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2h}} \right]^2$$

当 $k=1$ 时

$$\rho_1 = \frac{I_{\max}^{(1)}}{I_{\min}^{(1)}} = \frac{4 \times 81 \times 4}{0.21^2} \left[\frac{9 + \frac{0.21}{4}}{9 + \frac{0.21}{8}} \right]^2 \approx 30,000.$$

(d) 接收到的信号的相邻最大最小值之比 ρ_k 随恒量在地平线以上的仰角的增大而减小。这是因为在 ρ_k 的表达式中， $1/k^2$ 起决定性作用 (k 值随恒量的升高而减小)。

【实验题】

你手头有一根竖直挂在铁架上的弹性橡皮带。带的原长为 $l_0 = 150$ 毫米，连同砝码盘在一起的初始质量为 5 克。此外，你还有质量从 10 至 100 克的砝码一套，一只停表，一根米尺，一块曲线板和作图纸。取重力加速度 $g = 10$ 米/秒²。

(1) 依次把15克至105克的负载加在弹性橡皮带上,记下数据列成表,并用适当的标度把伸长 Δl 对应变力 F 的实验依赖关系作成图。

(2) 使用按照(1) 所取得的测定结果,计算负载为35至95克范围内的带的体积,并列入表中。在给定范围内,依次为每两个相邻负载值进行计算。写出计算所用的公式。用公式表达你对体积同负载依赖关系的假设。

杨氏弹性模量取 $E=2 \times 10^{10}$ 牛顿/米²。在对实验结果进行讨论时,要记住,在给定负载下,橡皮带只是近似地遵守胡克定律,其偏离程度可能高达10%。

(3) 给橡皮带加上60克砝码,用停表测定橡皮带的体积。写出你所用的公式。

【注意事项】

不要随意拉伸橡皮带,测定完毕,应立即取下负载。带在加上负载而振动时,注意不要让振幅超过15~20毫米。

【解答】

m_{n1} (千克)	$F_n = m_n g$ (牛 顿)	l_{n1} (毫米)	$\Delta l_n = l_n - l_0$ (毫 米)
0.005	0.05	153	3
0.015	0.15	158	8
0.025	0.25	164	14
0.035	0.35	172	22
0.045	0.45	181	31
0.055	0.55	191	41
0.075	0.65	202	53
0.075	0.75	215	65
0.085	0.85	228	78
0.095	0.95	243	93
0.105	1.05	261	111

第十三届国际物理奥林匹克竞赛试题及解答

(1982年 联邦德国 基尔)

【题1】

如图13—1所示，荧光灯接在50赫兹的交流电压上，测出的数据如下：

总电压(电网电压)

$$U = 228.5 \text{ 伏特}$$

电流强度

$$I = 0.6 \text{ 安培}$$

荧光灯管两端的电压

$$U' = 84 \text{ 伏特}$$

串联镇流器的欧姆电阻

$$R_d = 26.3 \text{ 欧姆}$$

计算时，可把荧光灯管当作是欧姆电阻器。试问，

(a) 串联镇流器的电感量 L 是多大？

(b) 电压和电流之间的相移角 φ 等于多少？

(c) 这个装置的有功功率 P_w 等于多少？

(d) 串联镇流器除限流作用外，还有另一个重要功能。写出这个功能并加以说明。

提示：启动器—⑤—的触头在接通电源后马上闭合，随即断开，并保持开路状态。

(e) 试在定量时间标度图上，画出灯管发出的光通量随时间变化的图象。

(f) 虽然所加交变电压每隔一定时间间隔都要通过零值，为什么灯管只需启动一次？

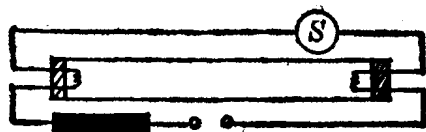


图13—1

(g) 根据厂家说明, 对这种类型的荧光灯管, 可配用电容量为4.7微法的电容器同串联镇流器串联。这样做对灯管的工作有什么影响, 其目的又是什么?

(h) 试用附带的分光镜对演示用的荧光灯的两半段进行观察。解释两种光谱之间的差别。你可以走近荧光灯, 并在实验后把分光镜留作纪念。

【解答】

(a) 这个装置的总阻抗为

$$Z = \frac{228.5 \text{ 伏特}}{0.6 \text{ 安培}} = 380.8 \text{ 欧姆}$$

灯管的欧姆阻值是

$$R_R = \frac{84 \text{ 伏特}}{0.6 \text{ 安培}} = 140 \text{ 欧姆}$$

因此总欧姆阻值为

$$R = 140 \text{ 欧姆} + 26.3 \text{ 欧姆} = 166.3 \text{ 欧姆}$$

串联镇流器的感抗为

$$\omega L = \sqrt{Z^2 - R^2} = 342.6 \text{ 欧姆}$$

从而
$$L = \frac{342.6 \text{ 欧姆}}{100\pi \text{ 秒}^{-1}} = 1.09 \text{ 亨利}$$

(b) 阻抗角可从下式得到,

$$\tan \varphi = \frac{\omega L}{R} = \frac{342.6 \text{ 欧姆}}{166.3 \text{ 欧姆}} = 2.06$$

于是 $\varphi = 64.1^\circ$

(c) 用不同的方法可以求出有功功率,

$$1) P_w = UI \cos \varphi = 228.5 \text{ 伏特} \times 0.6 \text{ 安培} \times \cos 64.1^\circ = 59.88$$

瓦特

$$2) P_w = RI^2 = 166.3 \text{ 欧姆} \times (0.6 \text{ 安培})^2 = 59.87 \text{ 瓦特}$$

(d) 启动器触头断开时, 将使串联镇流器两端产生很高的感应电动势 (假定触头不是刚好在电流值为0时断开)。由此产生的

电压足能使灯管启动。而电网电压要比荧光灯管的启动电压低。

(e) 图13—2是光通量随时间变化的图象

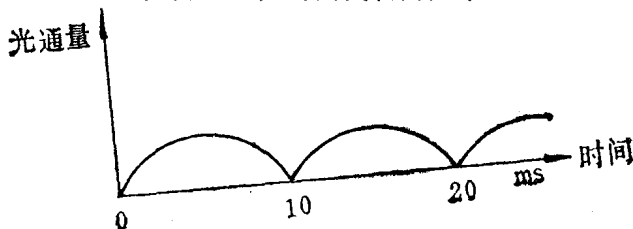


图13—2

(f) 气体放电中的离子和电子的复合时间是足够长的。

(g) 4.7微法电容器的容抗是

$$\frac{1}{\omega C} = (100\pi \times 4.7 \times 10^{-6})^{-1} \text{欧姆} = 677.33 \text{欧姆}$$

与感抗相减，其差为334.7欧姆呈电容性。

改装后的总阻抗为

$$Z_1 = \sqrt{(334.7)^2 + (166.3)^2} \text{欧姆} = 373.7 \text{欧姆}$$

这同不加电容器时的总阻抗非常接近〔假设电容器没有损耗的话，参看(a)〕。这样一来，荧光灯的工作特性不变，照样能启动，唯一的区别是阻抗角 φ' 跟 φ 不同了， φ' 跟(b)中计算出来的角 φ 反向：

$$\operatorname{tg} \varphi' = \frac{\omega L - 1/\omega C}{R} = -\frac{334.7}{166.3} = -2.01$$

$$\varphi' = -63.6^\circ$$

这种附加电容器用于大量使用荧光灯的场合，以便对无功电流进行补偿，通常由电力公司规定使用。这就是说，所占比例过高的无功电流是不受欢迎的，因为发电机容量因此而不得不设计得比真正需要的大得多，而且，如果用户只安装有功电度表的话，不由用户支付的线路传输损失也会增大。

(h) 演示荧光灯未涂荧光粉的部分将显示汞的光谱线，涂有荧光粉的部分则在连续光谱背景上显示与上面相同的光谱线。连续光谱是汞光的紫外部分被荧光物质吸收后，以较低的频率（光