

冲刺



国际国内

物理

最新

奥林匹克竞赛 优秀试题精选 与精解

总主编 何舟

竞赛和高考接轨
考点与能力延伸



吉林教育出版社

冲刺

金牌

最新国际国内物理奥林匹克 竞赛优秀试题精选与精解

◆ 18套优秀竞赛卷

◆ 以精巧的结构、新颖的题型、开阔的视野，
为中等和中等以上学生素质的提高、知识的深
化、思维的拓展及能力的提高——

指点捷径



ISBN 7-5383-4346-6

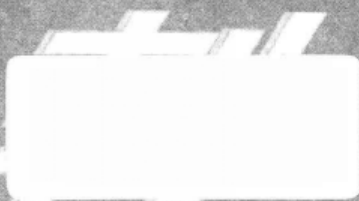


9 787538 343465 >

ISBN 7-5383-4346-6/G · 3967

定价：12.80元

冲



国际国内

物理

最新

奥林匹克竞赛 优秀试题精选 与精解

总主编 何舟



吉林教育出版社

(吉)新登字 02 号

封面设计:周建明

责任编辑:王世斌 赵明霞

冲刺金牌

最新国际国内物理奥林匹克竞赛优秀试题
精选与精解

总主编 何舟



吉林教育出版社 出版 发行

南京通达彩印有限公司印刷 新华书店经销



开本:880×1230 毫米 1/32 印张:10 字数:368 千字
2003 年 2 月吉林第 1 版 2003 年 2 月江苏第 1 次印刷
本次印数:30000 册

ISBN 7-5383-4346-6/G·3967

定价:12.80 元

凡有印装问题,可向承印厂调换

冲刺金牌 权威作者、策划人阵容

总主编：何舟

各册主编

名牌大学

- 马传渔 南京大学数学系教授、国家级奥林匹克教练
丁 漪 南京大学化学化工学院教授、国家级奥林匹克教练
倪其道 中国科技大学化学与材料学院教授、国家级奥林匹克教练
葛 军 南京师大数学与计算机学院副教授、国家级奥林匹克教练
殷 实 东南大学物理系教授
汪 忠 南京师大生命科学学院教授
张德钧 南京师大化学与环境科学学院享受国务院特殊津贴学者

金牌之乡

湖南省

- 叶冬陵 湖南省长沙市周南中学高级教师 黄其实 湖南省长沙市教科所特级教师
朱泌太 湖南省长沙市明德中学特级教师 朱最钧 湖南省长沙市第十六中学高级教师
高建军 湖南省长沙市第一中学高级教师、奥林匹克教练

江苏省

- 丁志祥 江苏省南通第一中学高级教师 刘友开 江苏省淮安市教委高级教师
周桂良 江苏省常州市教研室特级教师 南 冲 江苏省物理专业委员会秘书长
杨维中 江苏省南京市教研室特级教师 臧继宝 江苏省南京市市政府督学
冯惠愚 江苏省南京市雨花台中学特级教师、奥林匹克教练
岑 芳 江苏省南京市教研室高级教师、奥林匹克教练
孙夕礼 江苏省南京市教研室高级教师、奥林匹克教练

浙江省

任学宝 浙江省杭州市学军中学特级教师、奥林匹克教练

北京市

- 邓 均 北京大学附属中学奥林匹克一级教练 陈效师 中国少年儿童出版社编审
李新黔 北京市中国人民大学附属中学特级教师 王俊鸣 北京市第十二中学特级教师

安徽省

- 宋世骏 安徽省马鞍山市教研室特级教师 张善福 安徽省合肥市庐阳区教研室高级教师
俞成功 安徽省合肥市教研室高级教师 杨盛楠 安徽省安庆市教研室高级教师
胡祖明 安徽省安庆市第一中学特级教师 马云霞 安徽省马鞍山市教研室高级教师
李富彩 安徽省合肥市庐阳区教研室特级教师

目 录

国际竞赛

试题 答案

第 24 届国际物理奥林匹克竞赛试题	(1) (110)
第 25 届国际物理奥林匹克竞赛试题	(10) (129)
第 26 届国际物理奥林匹克竞赛试题	(18) (146)
第 27 届国际物理奥林匹克竞赛试题	(24) (160)
第 28 届国际物理奥林匹克竞赛试题	(32) (170)
第 29 届国际物理奥林匹克竞赛试题	(38) (179)
第 30 届国际物理奥林匹克竞赛试题	(47) (191)
第 31 届国际物理奥林匹克竞赛试题	(54) (200)
第 32 届国际物理奥林匹克竞赛试题	(64) (208)
第 33 届国际物理奥林匹克竞赛试题	(72) (215)

国内竞赛

第十七届全国中学生物理预赛试题	(79) (230)
第十七届全国中学生物理复赛试题	(83) (237)
第十七届全国中学生物理决赛试题	(86) (247)
第十八届全国中学生物理预赛试题	(91) (262)
第十八届全国中学生物理复赛试题	(94) (269)
第十八届全国中学生物理决赛试题	(97) (278)
第十九届全国中学生物理预赛试题	(103) (293)
第十九届全国中学生物理复赛试题	(106) (304)

第 24 届国际物理奥林匹克竞赛试题

理论试题

一、大气电性

按照静电学观点,可以认为地球表面是良导体.设地球表面所带总电量为 Q_0 ,平均面电荷密度为 σ_0 .

(1) 天气晴好时,大气中有一垂直向下的电场,记为 E ,在地球表面附近其值约为 $E_0 = 150\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$,试求地球表面的面电荷密度和地球表面所带的总电量.

(2) 电场强度的绝对值随高度的增加而减小,在距地面 100m 的高处,场强约为 $100\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$,试求 100m 高处与地球表面间平均每立方米大气中净电荷量.

(3) 在(2)中求得的净电荷体密度,实际上是数值几乎相等的单位体积内单价正离子(数密度为 n_+)电量和负离子(数密度为 n_-)电量的代数和.

天气晴好时,地面附近 $n_+ \approx n_- \approx 6 \times 10^8 \text{m}^{-3}$.这些离子会在竖直向下电场的作用下运动,它们(实指其中的正离子——译注)的运动速度与场强的关系为 $v \approx 1.5 \times 10^{-4} E$.式中 v 的单位取为 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, E 的单位取为 $\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$.若无其他过程(例如闪电)为地球表面充电,试问因大气离子的运动需经多长时间才能使地球表面的电荷中和掉一半?

(4) 用图 1 所示的实验装置,可测出大气电场强度 E 和地球表面的面电荷密度 σ_0 .图中一对固定的金属象限板互相连通,但与转轴绝缘.它们被放在一个具有象限形开孔、匀速转动的金属盘下面,金属盘及其转轴接地(为了看得清楚,图中象限板与转动盘之间的距离系属夸大).金属盘每旋转一周,象限板完全暴露于电场下两次,受转动盘完全屏蔽两次.完全暴露与完全屏蔽之间的时间间隔为 $T/4$, T 为圆盘转动周期.如图 2 所示,设 r_1 和 r_2 分别为象限板内圆弧和外圆弧的半径,并设象限板某次被完全屏蔽时 $t=0$ (注意:图 1 中的导线尚未接通).试求在时间 $t=0$ 和 $t=T/2$ 之间,象限板的上表面由于感应而产生的全部面电荷 q 与时间 t 的函数关系,并作出与之相应的 $q-t$ 图线(在此,大气中离子流的影响可以忽略不计).

(5) 将(4)中描述的装置与一个放大器相连接,如图 3 所示,放大器的输入电

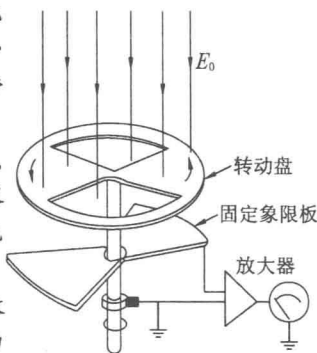


图 1

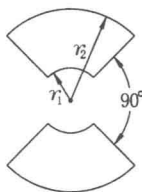


图 2



路相当于一个电容器(电容量为 C)与一个电阻器(电阻值为 R)并联的电路(假设象限板系统的电容量与 C 相比可忽略不计). 试求出在下述两种情况下, 在 $t=0$ 与 $t=T$ 之间, 图 3 中 M 、 N 两点间的电势差 U 随 t 的变化关系, 并作出 $U-t$ 图线.

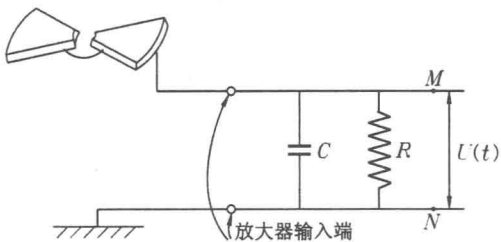


图 3

(a) $T = T_0 \ll CR$;

(b) $T = T_0 \gg CR$ (设 C 和 R 的值是固定的, 在 a 、 b 两种情形中 T 的值不同).

将(a)(b)两种情形中 $U(t)$ 的极大值分别记为 U_a 、 U_b , 试求 U_a/U_b 的近似表达式.

(6) 设 $E_0 = 150\text{V/m}$, $r_1 = 1\text{cm}$, $r_2 = 7\text{cm}$, $C = 0.01\mu\text{F}$, $R = 20\mu\Omega$, 假定金属盘每秒旋转 50 周, 在这种情况下试求一个周期内 $U(t)$ 极大值的近似值. 已知地球平均半径 $R = 6.4 \times 10^6\text{m}$, 真空介电常量 $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}\text{C}^2 \cdot \text{N}^{-1}\text{m}^{-2}$, 电子电量绝对值 $e = 1.60 \times 10^{-19}\text{C}$.

二、激光对透明棱镜的作用力

一束强激光通过小的透明物体时, 由于折射作用而对物体产生相当的作用力. 为对此有所理解, 取一个很小的玻璃三棱镜, 其顶角为 $A = \pi - 2\alpha$, 底边长为 $2h$, 厚度为 W , 折射率为 n , 密度为 ρ .

设该棱镜处在一束沿水平 x 轴方向传播的激光之中(本题自始至终假定棱镜不发生转动, 即其顶角总是对准激光束射来的方向, 它的两个三角形侧面总是平行于 xy 平面, 底面总是平行于 yz 平面, 如图 4 所示). 周围空气的折射率取为 $n_a = 1$, 并设棱镜各面均镀有防反射膜, 确保不发生反射.

激光束的强度沿 z 轴方向均匀分布, 但是从 x 轴开始, 沿 y 轴正、负方向的光强按线性关系减弱. 在 $y = 0$ 处强度最大, 其值为 I_0 , 而到 $y = \pm 4h$ 处, 光强降为零(参见图 5).

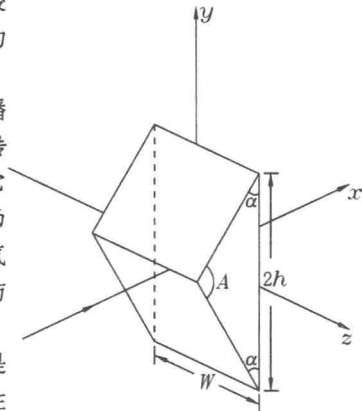


图 4



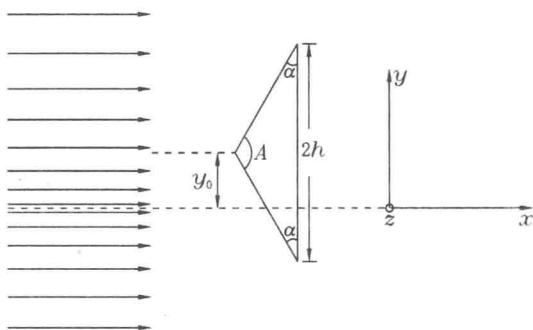


图 5

(光的强度即为每单位面积的功率,单位是 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)

(1)在激光射到棱镜上表面时,参考图 6,试求偏转角 θ (用 α 和 n 表示).

(2)将棱镜顶端由原来的位置 x 轴处沿 y 轴方向平移 y_0 量,且设 $|y_0| \leq 3h$,试用 I_0 、 θ 、 h 、 W 和 y_0 来表述激光作用在棱镜上的净作用力的 x 、 y 分量.作图表示出作用力在水平方向(x 轴方向)和竖直方向(y 轴方向)的分量随位移 y_0 的变化关系.

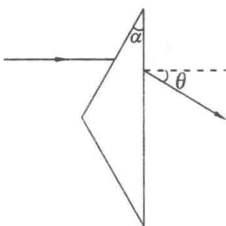


图 6

(3)设激光束在 z 方向的宽度为 1mm ,在 y 方向的宽度为 $80\mu\text{m}$,棱镜的参量为 $\alpha = 30^\circ$, $h = 10\mu\text{m}$, $n = 1.5$, $W = 1\text{mm}$, $\rho = 2.5\text{g}/\text{cm}^3$.当棱镜的顶端位于激光束对称面以下的 $y_0 = -h/2$ ($= -5\mu\text{m}$) 处时,需要多少瓦的激光束功率才能使棱镜克服重力(朝 $-y$ 方向)的作用处于平衡状态?

(4)用与(3)中相同的棱镜和激光束,在没有重力的条件下做实验,且设定 $I_0 = 10^8\text{W}/\text{m}^2$.移动棱镜使其顶端静止地处于 $y_0 = h/20$ 的位置,而后释放棱镜,它将发生振动,试求振动周期.

三、电子束

通过加速电压 U_0 产生一平行均匀的高能电子束.这些电子射向一条带正电荷的无限长直均匀细铜线,铜线的长度方向与电子束初始的人射方向垂直,如图 7 所示.图中 b 表示某个电子入射方向的延长线与铜线轴线之间的距离.现在在铜线带正电荷的条件下,入射电子束经铜线射向前方荧光屏的表面,屏与铜线间的距离为 L ($\gg b$),如图 7 所示.设电子束初始宽度为 $2b_{\text{max}}$.相对铜线的轴线上、下对称.在垂直于图平面方向,电子束的线度可视为无穷大.

数据提供如下:

铜线的半径

$$r_0 = 10^{-6}\text{m};$$



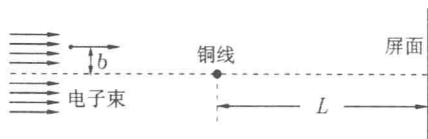


图 7

b 的最大值

$$b_{\max} = 10^{-4} \text{m};$$

铜线每单位长度所带的电量

$$q_{\text{线密度}} = 4.4 \times 10^{-11} \text{C};$$

给电子束加速的电压

$$U_0 = 2 \times 10^4 \text{V};$$

铜线到屏面的距离

$$L = 0.3 \text{m};$$

普朗克常量

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s};$$

电子电量绝对值

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{C};$$

电子质量

$$m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{kg};$$

真空介电常量

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \text{m}^{-2}.$$

对于下面第(2)(3)(4)小题,用合理的近似方法进行分析并得出数值解答.

(1)计算带电铜线所产生的全空间场强分布,并画出场强大小 E 与到铜线轴之间距离的函数关系图线.

(2)从经典物理出发,在入射的电子中对于其 b 值不至于使它碰撞铜线的电子,用 θ_e 表示它们的偏转角,即电子入射时的初速度与到达屏面时的末速度之间的小夹角,试计算 θ_e 的值.

(3)用经典物理方法,粗定电子束越过铜线到达屏上时在屏上形成的图样(即强度分布图样),并画出图样.

(4)量子物理对强度分布的表述则有明显的区别(相对于经典物理的表述而言),试给出量子方法的定量处理步骤,并据此画出屏上的图样.

实验试题

四、液氮的汽化热

本实验的目的,是用两种方法测定单位质量液氮的汽化热 L . 方法一:把一铝块放入液氮试杯,并测量因铝块冷却而汽化的液氮的质量. 方法二:是将电功率确定的焦耳热加入到待测液氮中,并测量由此引起的液氮汽化的速率.

有一口存液氮的容器,实验时可将其中的一部分液氮倒进液氮试杯中,后者可放在天平上测量. 液氮汽化时,天平读数将减小. 究其原因:(1)容器并非理想的绝热器;(2)铝块冷却时能量以热的形式传给液氮(方法一);(3)电流通过放在液氮中的电阻器时,能量以热的形式传给液氮(方法二).

实验室提供一个可测电压(U)、电流(I)和电阻(R)的万用表和一块停表,两者的使用说明见图8和图9.

警告: (1)液氮温度极低,不要让它以及被它冷却了的物品与你的身体或衣

服有任何接触。

(2) 不能将任何物品掉入液氮, 实验时应始终戴上防护镜。

(3) 铝块应慢慢放入液氮中, 因为在达到热平衡前液氮会快速沸腾。铝块上的一根线即作此慢放使用。

(4) 在电阻器完全放入容器并被液氮浸没前切勿通电, 否则电阻器会变得非常热。

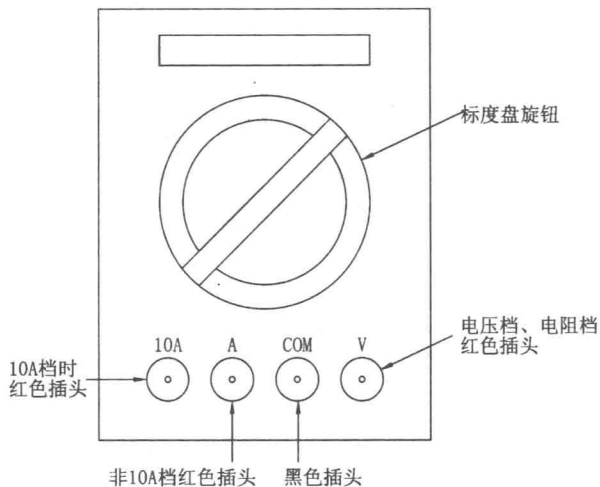


图 8

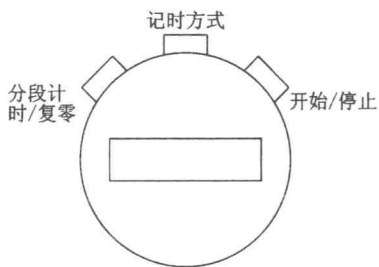


图 9

方法一: 从室温到液氮在 1 大气压下迅速汽化的温度(77K), 铝的比热(c)有显著的变化, c 随温度(T)的变化曲线见图 10. 试测定由于铝块冷却而被汽化的液氮的质量, 然后用此数据与铝块的比热曲线求出液氮的汽化热. 室温约为 $21^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, 一定要对所求得的汽化热数值的精度作出定量估算。



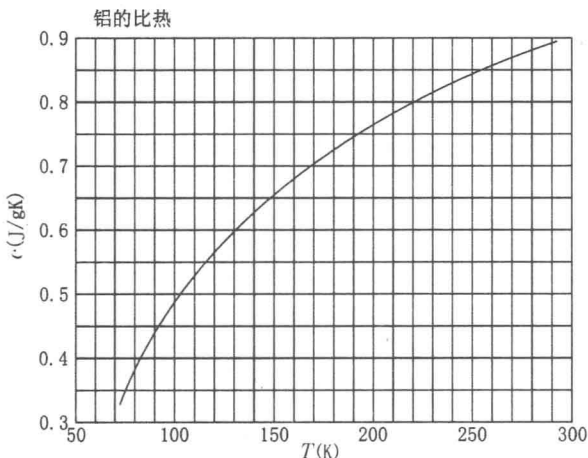


图 10

方法二:

将电阻器放入待测液氮中,测定由于电流通过电阻器而引起的液氮汽化速率,实验室提供的直流电源,只用其 8V 档,不要拆下跨接在输出端的电容器,由所测得的结果求出液氮的汽化热,且应对汽化热数值的精度作出定量估算。

五、磁矩和磁场

本实验包括两部分:

第一部分:确定一小圆柱形永久磁铁对的磁矩绝对值 μ_X ,该磁铁对放在标有字母“X”的一个信封中(实验中还需要用到的另一永久磁铁对放在标有字母“A”的信封中,两磁铁对的形状、大小颇为相似)。

第二部分:研究某磁场是轴对称分布的圆柱形永久磁铁轴线上磁场的分布,该磁铁放在标有字母“B”的信封中。

实验中需要用到的物理知识如下:

(1)圆柱形小磁铁对在中央轴上与磁铁对中心相距 x 处的磁感应强度 B 的方向与中央轴线平行,大小为

$$B(x) = 2\mu_K / |x|^3.$$

其中 B 的单位为特斯拉 ($T = N/A \cdot m$),常量 $K = 10^{-7} Tm/A$, x 的单位为米 (m),磁矩 μ 的单位为安·米² (Am^2)。

(2)中间用细线自由悬挂起来且呈水平状态的圆柱形小磁铁对,当处于水平磁场(例如地球磁场的水平分量)中时,可以绕细线做小角度扭转振动。这类似于“罗盘磁指针”的小扭动,扭转振动的周期为

$$T = 2\pi \sqrt{I/\mu B_K},$$

其中 B_K 为合外磁场在小磁铁对所在位置处的磁感应强度的水平分量, I 为小磁铁对绕中间悬线扭转的转动惯量.

[实验装置]

实验装置见图 11. 在木制平台的上方平板的下面有一根悬挂的细线, 细线下端可水平地悬挂一块磁铁对(“X”或“A”), 磁铁对与下方平板相距较近. 下方平板上可放一铜板, 需要时可用它来阻尼磁铁的运动. 另有两个小的木架, 其中一个小木架上有一小孔, 既可将磁铁对“A”也可将磁铁对“X”分别插在孔内(本实验第一部分中用到); 另一个小木架上有一稍大些的孔, 可将磁铁“B”插在孔中(本实验第二部分中用到). 悬挂的磁铁对和插在小木架上孔中的磁铁之间的距离, 可以用安装在小木架上的直尺读出.

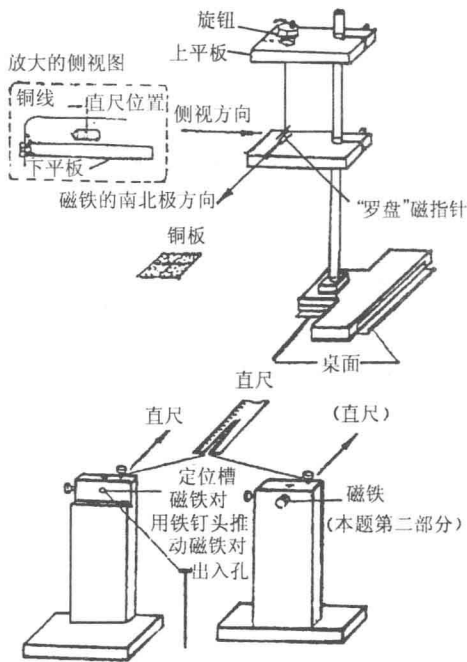


图 11

[警惕]

用手指夹拿磁铁时, 务必小心地将每块磁铁拿紧, 以防因磁铁相互作用而离开手指.

第一部分实验.

信封中的一对磁铁(磁矩为待测的 μ_X) 吸在一起成一联合体, 其两个端面上标有一个字母和一个数字. 在测量中, 需保持这两个磁铁总是吸在一起. 联合体



的转动惯量 I_X 已被算出并标在信封“X”上。信封“A”中一对磁铁的北极(N极)用黑点标记,南极(S极)用红点标记。这一对小磁铁与信封“X”中一对小磁铁的大小、形状相似,但不能认为其磁矩 μ_A 与待测的 μ_X 也相同。信封“X”和“A”中的磁铁对,需要时都可以用手分开,在其间放一小圆铜片后仍组合成一体。用线吊住小圆铜片便构成一个“罗盘磁指针”,在外磁场作用下,其小角度扭动的周期可测量(注意,信封“X”上给出的 I_X 已包括了小圆铜片的贡献量)。

在小木架圆孔中插放的一对小磁铁也能对悬挂着的“罗盘磁指针”起作用,也就是可以影响它的扭转周期以及它的角平衡位置。确定角平衡位置时,最好的方法是将铜板平放在“罗盘磁指针”下面,其间相距几个毫米,这样可利用它起电磁阻尼的作用。注意,不要在铜板上作标记或写字。

在实验中,你会需要采用不止一种的磁铁布置方式。对实验中所用到的每一种布置方式均需画图,并清楚地写下标记。本实验还需写出相应的方程式,以表示如何从各测量结果联合地求出 μ_X 值。

务必使所有磁铁对都保持在同一水平面上。注意,木制台架的上方平板顶部有一可转动的旋钮,可通过它来调节悬线长度,两块平板的位置也是可调节的。

[操作细节](仔细阅读!)

(1)“罗盘磁指针”的组装和使用:用一只手的拇指和食指掐出一对磁铁中的一块,在其一个端面上齐整地贴住小圆铜片,然后细心而慢慢地与另一块磁铁合并,铜片便夹在中间。这一操作过程中不要拉动悬挂的细线。这样,便可将 X 或 A 组装成“罗盘磁指针”。同样,在使“罗盘磁指针”分离时,也不能用手拉细线。

[警告]磁铁或磁铁对之间快速靠近时,可能会拉断悬线或者撞碎磁铁。若悬线断了,可重新接上(如果需要,可请教员帮忙)。

(2)本实验考查的是扭转式的振动,为防止“单摆式摆动”,在木制台架的下方平板上安装了一根铜丝,并将它弯成了图 11 所示的形状,转动铜丝,使其水平部分恰靠在悬线的一侧,并位于悬线下端点的上方约 2 毫米处,再继续转动铜丝,使水平铜丝再沿横向移动几毫米。

[警告]若没有做到这一点,两种振动模式会“耦合”,造成扭转振动振幅周期性变化,并影响扭转振动的周期。

用铁钉轻碰“罗盘磁指针”,以形成可控制的扭转振动。

(3)所有磁性物体和可能磁化的物体,诸如小铁钉、手表、钢笔等,尽量不要移动,并尽可能使这些东西远离实验区域。实验桌某些部分是钢制品,如果你要移动仪器位置,需要考虑由此引起的影响。

[提示](1)悬线的扭转系数是非常小的,只要悬线有适当的长度,例如 15cm 左右,则小磁铁发生扭转振动时,就可忽略悬线对它的恢复力矩的作用。

(2)你可能注意到,所给的一对磁铁在被悬挂时并非处于水平状态,这是由于地球磁场有竖直分量的缘故。据分析可知其影响很小,可以忽略不计。换言之,可



认为悬挂的磁铁呈水平状态.

(3)我们提醒你,对第一部分实验的误差分析,要推迟到做完第二部分实验中的测量之后再行.

(4)对地球磁场的量值,不应当作任何先验的假设.

第二部分实验.

铝管(在信封 B 中)内装有与铝管中心轴(x 轴)对称分布的磁铁.它在 x 轴上的磁感应强度 B_x 是距离 x (从铝管中心算起)的函数,即

$$B_x(x) = cx^p.$$

试通过实验确定指数 p 以及它的近似误差.如图 12 所示,要求研究的是铝管上标有黑斑的那一侧 x 轴上的磁场分布.

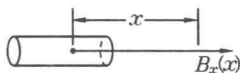


图 12



第 25 届国际物理奥林匹克竞赛试题

理论试题

一、相对论性粒子

在狭义相对论里,一个静质量为 m_0 的自由粒子的能量 E 和动量 p 之间有关系

$$E = (p^2 c^2 + m_0^2 c^4)^{1/2} = mc^2.$$

当这样的粒子受到一个保守力作用时,其总能量,即 $(p^2 c^2 + m_0^2 c^4)^{1/2}$ 与势能之和是守恒的. 如果粒子的能量非常高,则它的静止能量可以被忽略(这样的粒子叫做极端相对论性粒子).

(1) 考虑一个能量极高的做一维运动的粒子(忽略静止能量),受到一个大小为 f 的常数向心吸引力的作用. 设开始时($t=0$)粒子处于力心($x=0$),具有初始动量 p_0 . 请在动量 p -空间坐标 x 图上和在 x - t (时间)图上分别画出粒子运动的图像,至少画一个运动周期,标出各转折点的坐标,用所给参数 p_0 和 f 表示,并在 (p, x) 图上用箭头指示出运动过程的方向.

(2) 介子是一种是两个夸克构成的粒子. 介子的静止质量 M_0 等于两夸克系统的总能量除以 c^2 .

考虑一个关于静止介子的一维模型,其中两个夸克沿着 x 轴运动,它们之间存在着一个常数吸引力,大小为 f . 并假定它们可以自由地互相穿透. 在分析夸克的高能运动时,它们的静止质量可以被忽略. 设开始计时时($t=0$)两夸克都在 $x=0$ 处. 请在 (x, t) 图上和 (p, x) 图上指示出运动的方向并求出两夸克间的最大距离.

(3) 上面第(2)问中所用的参考系记为 S , 今有一实验室参考系 S' , 它相对于 S 以恒定速度 $v=0.6c$ 沿负 x 方向运动. 两参考系的坐标这样选择: 使得 S 中的 $x=0$ 的点与 S' 中的 $x'=0$ 的点在 $t=t'=0$ 时重合. 请在 (x', t') 图上画出两夸克的运动图像, 标出转折点的坐标(用 M, f 和 c 表示), 并给出实验室系 S' 观察到的两夸克间的最大距离.

在 S 系和 S' 系中观察到的粒子的坐标之间由洛伦兹变换决定

$$x' = \gamma(x + \beta ct),$$

$$t' = \gamma(t + \beta x/c).$$

其中 $\beta = v/c$, $\gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2}$, v 是 S 系相对于 S' 系的速度.

(4) 已知一介子,其静止能量为 $M_0 c^2 = 140 \text{ MeV}$, 相对于实验室系 S' 的速度为 $0.60c$, 求出它在实验室系 S' 中的能量.



二、超导磁

实验室中常用超导磁体. 超导磁体的最普通的形式是用超导线绕制的螺线管线圈. 超导体突出的优点是在产生强磁场时没有因焦耳热而导致的能量损耗, 因为当磁体浸泡在温度为 4.2K 的液体氦中时, 超导线的电阻为零. 磁体上常配置一特别设计的超导开关, 如图 1 所示. 开关电阻 r 可加以控制, 或处于 $r=0$ 的超导态, 或处于 $r=r_n$ 的正常态, 当开关电阻处于超导态时, 磁体可在持续电流模式下工作, 此时电流通过磁体和超导开关持续地循环流动. 这样, 可不再需要外电源供电而长时间地维持一极为稳定的磁场.

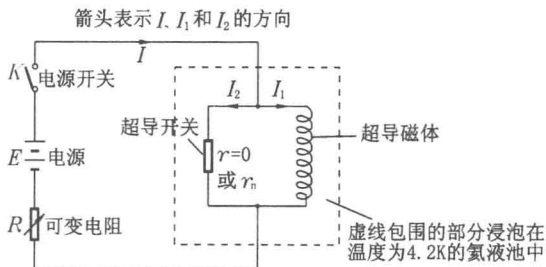


图 1

超导开关结构的细节在图 1 中未画出. 它通常是由一小段超导线和加热丝绕在一起并和氦液池适当隔热而成. 加热时, 超导线的温度上升并转变到有电阻的正常态. r_n 的阻值约为几个欧, 本题取为 5Ω . 超导磁体的电感视磁体大小而定. 设图 1 中的磁体电感为 10H , 总电流 I 可通过调节 R 的大小而改变.

(1) 如控制总电流 I 和超导开关的电阻 r , 使它们随时间的变化分别如图 2 中的 (a) 和 (b) 所示. 假定开始时流经磁体的电流 I_1 和流经开关的电流 I_2 相等如图 2 中的 (c) 和 (d) 所示, 则从时间 t_1 到 t_4 , 它们将如何改变? 请将你的答案画在同一幅图的 (c) 和 (d) 上.

(2) 假定时间 $t=0$ 时, 在 $r=0, I_1=0, R=7.5\Omega$ 的状态下接通电源开关 K , 得到的总电流 $I=0.5\text{A}$, 随后 K 一直保持接通, 但超导开关的电阻 r 按图 3 中 (b) 所示的方式变化. 请分别在图 3 中的 (a)、(c)、(d) 上画出 I, I_1 和 I_2 相应的变化.

(3) 超导开关处于正常态 $r=r_n$ 时, 仅能通过较小的电流, 如小于 0.5A . 否则开关会被烧坏. 假定超导磁体工作在持续电流模式, 即 $I=0, I_1=i_1$ (如 20A), $I_2=-i_1$, 如图 4 中 $t=0$ 到 3min 部分所示, 如要将通过磁体的电流减小到零, 停止进行实验, 你怎么办? 这需要进行一系列的操作, 请将相应的 I, r, I_1 和 I_2 的变化画在图 4 中的 (a)、(b)、(c) 和 (d) 上.

