

1986 年
全国高等院校硕士研究生入学考试
物理试题及解答选编

《大学物理》编辑部

上海翻译出版公司

内 容 简 介

本书选编了1986年全国高等院校硕士研究生入学考试的物理试题及解答,内容包括普通物理、电动力学、热力学与统计物理、量子力学、固体物理。选入的试题解答都经过命题教师重新核定,进一步提高了解题的准确度,并力求题目的解法简捷而富有启发性。书末附有1985、1986年度的CUSPEA试题。本书对报考不同类型学校的考生都有参考价值,对任课教师也是一本较好的教学参考书。

1986年全国高等院校硕士研究生 入学考试物理试题及解答选编

《大学物理》编辑部

上海翻译出版公司

(上海武定西路1251弄20号)

新华书店上海发行所发行 上海群众印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 13 字数 320,000

1987年2月第1版 1987年2月第1次印刷

印数 1—18,000

统一书号: 13311·42 定价 3.00元

鸡

热

目 录

普通物理试题及解答

北京大学	1
复旦大学	5
中山大学	9
南京大学	13
兰州大学	17
山东大学	19
内蒙古大学	22
武汉大学	28
杭州大学	33
清华大学	36
哈尔滨工业大学	41
西安交通大学	44
天津大学	47
北京工业学院	52
重庆大学	56
北京航空学院	60
南京工学院	62
北京化工学院	65
中国科技大学	68
北京钢铁学院	69
华东师范大学	73
四川师范大学	77
北京师范学院	87

电动力学试题及解答

北京大学	93
复旦大学	98
南京大学	101
清华大学	103
同济大学	106

热力学与统计物理试题及解答

北京大学	109
南京大学	112
清华大学	116
华东工学院	118

河北工学院	122
中国科技大学	126
北京师范大学	126
量子力学试题及解答	
北京大学	130
复旦大学	135
南开大学	138
杭州大学	144
清华大学	149
南京工学院	153
华南工学院	157
固体物理试题及解答	
北京大学	164
复旦大学	170
南京大学	175
兰州大学	177
山东大学	181
华中工学院	185
CUSPEA 试题	
1985 年试题(A)	189
1985 年试题(B)	191
1985 年试题(C)	192
1986 年试题(A)	195
1986 年试题(B)	197
1986 年试题(C)	200

普通物理

北京大学

(理论物理、固体物理、光学)

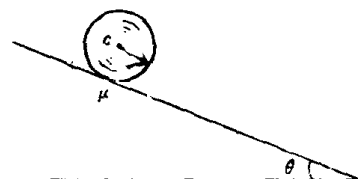
试 题

一、[10分]在空格内写出各物理量和常数的量值,有效数字取三位,数量级和单位要正确。

1. 真空光速 $3.0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ 2. 普朗克常数 $6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ 3. 玻尔兹曼常数 $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/mol}\cdot\text{K}$
常数 $6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ 4. 阿伏伽德罗常数 $6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 5. 万有引力常数 $6.67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$ 6. 电子的电量 $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 7. 电子的静止质量 $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ 8. 氢原子基态的玻尔半径 $5.29 \times 10^{-11} \text{ m}$ 9. 地球的平均半径 $6.37 \times 10^6 \text{ m}$ 10. 精细结构常数 $1/137$

二、[35分]扼要回答下列问题

1. 一匀质圆柱体自斜面无滑下滚。有人认为,由于倾角 θ 和摩擦系数 μ 都可调节,因此总可以通过调节 θ 和 μ 使圆柱体在无滑下滚过程中质心保持匀速运动。试分析这种可能性并作说明。



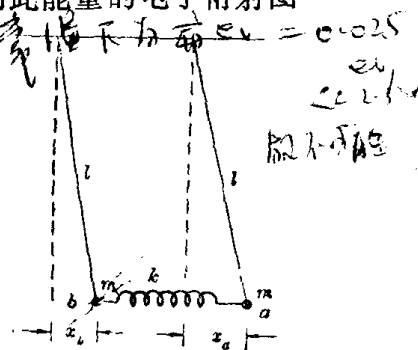
2. 一立方容器内盛有稀薄气体并达到热平衡,已知气体分子的速度分布函数为 $F(v_x, v_y, v_z)$, 分子数密度为 n , 试写出计算单位时间内碰撞到单位面积器壁上气体分子数的积分表示式(不要求积分出结果)。

3. 一个匀质且均匀带电的小球体以匀角速绕球心的固定轴转动, 试以总电量 Q , 角动量 L 和质量 M 表示它的磁矩 p_m 。

4. 电子的动能(以 eV 为单位)多大时, 它通过光栅产生的衍射图与红光 $6200 \text{ \AA}$ 通过同一光栅产生的衍射图样相同? 在常温下用此光栅实际上是否能观察到此能量的电子衍射图样?

5. 用同一种材料制成的两个薄透镜, 可组装成一个优质目镜, 此时要求其间距 d 满足 $d = \frac{1}{2}(f_1 + f_2)$, f_1, f_2 分别为两个薄透镜的焦距。试解释这有什么好处?

三、[10分]如图, 两相同单摆 a, b 质量为 m 摆长为 l , 用劲度系数为 k 的理想弹簧相连成耦合摆, 静止时弹簧无伸长。略去阻力。

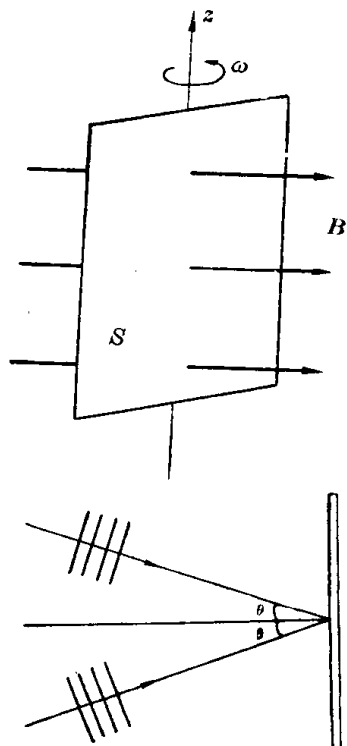


- 以 x_a, x_b 表示两质点的水平微小位移。试建立 x_a, x_b 的运动微分方程。
- 求出两简正振动所相应的简正频率。

四、[10]已知声波在空气中的传播速度为 $\sqrt{\kappa/\rho}$, κ 为体变模量, ρ 为气体的密度, 把声在空气中的传播过程看成是理想气体的绝热过程。

1. 导出声速对空气温度的依赖关系。
2. 计算在常温下空气中声速的量值(粗略值)。

五、[15分]如图。一截面积为 S ，电阻为 R 和自感系数为 L 的线圈绕竖直轴 z 以角速度 ω 作匀速转动。均匀磁感应强度 B 沿水平方向。



1. 导出描述线圈中电流 I 的微分方程。
2. 解出电流 I 。
3. 求出旋转此线圈所需要的平均功率。

六、[10分]如图。两束相干的平行光束对称入射，乳胶干板记录干涉条纹，设光波长为 0.6 微米。

1. 为了获得空间频率 20 条/毫米的条纹，倾角 θ 为多少？
2. 为了获得空间频率 1600 条/毫米的条纹，倾角 θ 为多少？

七、[10分]已知铍($Z=4$)的离子 Be^+ 的主线系第一条谱线及短波限的波长分别为 $3210\text{\AA}$ 和 $683\text{\AA}$ 。试计算该离子 S 项和 P 项的量子数，以及锐线系第一条谱线的波长。(量子数即量子数亏损——编者)

解 答

一、1. 3.00×10^8 米/秒 2. 6.63×10^{-34} 焦耳·秒 3. 1.38×10^{-23} 焦耳/开 4. 6.02×10^{23} 摩 $^{-1}$ 5. 6.67×10^{-11} 牛顿·米 2 /千克 2 6. 1.60×10^{-19} 库 7. 0.911×10^{-31} 千克 8. 0.529×10^{-10} 米 9. 6.37×10^6 米 10. $\frac{1}{137}$ 。(说明：每格 1 分。有效数字前两位正确给分，数量级或单位错误不给分。)

二、1. 不可能。要保证无滑下滚，静摩擦力 f_s 与 θ 的关系已确定 $f_s = \frac{1}{3} mg \sin \theta$ 。且 $\mu \geq \frac{1}{3} \tan \theta$ 。由质心定理有

$$mg \sin \theta - f_s = ma_c$$

得出 $a_c = \frac{1}{3} g \sin \theta$ 。在斜面情形下 $\theta \neq 0$ ，调节 θ 只能改变 R_c ，但不会为零，故不能使质心以匀速且圆柱作无滑下滚。

2. 单位时间内入射到垂直于 x 轴容器壁上单位面积上的粒子数 n' 的积分公式为

$$n' = n_0 \int_0^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} v_x F(v_x, v_y, v_z) dv_x dv_y dv_z$$

3. 考虑匀质均匀带电球体上环形带该带绕 z 轴以 ω 转动，所形成的电流为 $\varphi_Q r \omega dr dz$ ，相应的磁矩为

$$d p_m = \pi r^2 \rho_Q r \omega dr dz$$

环形带由于质量运动对 z 轴的角动量为

$$d L = \rho_M 2\pi r dr dz r^2 \omega$$

两者相比

$$\frac{d p_m}{d L} = \frac{1}{2} \frac{\rho_Q}{\rho_M} = \frac{1}{2} \frac{Q}{M} = \text{常数}$$

积分得

$$p_m = \frac{1}{2} \frac{Q}{M} L$$

$$4. \quad E = \frac{1}{2m} p^2 = \frac{1}{2m} \frac{h^2}{\lambda^2} = 3.9 \times 10^{-6} \text{ eV}$$

在常温下, 粒子热运动能量 $kT \sim \frac{1}{40} \text{ eV}$. 上述电子的能量远小于热运动能量, 因此电子的波动性完全被热运动所掩盖, 所以电子的衍射现象观察不到.

5. 为了消除焦距色差(也将消除角色差). 根据组合透镜的光焦度公式

$$p = p_1 + p_2 - p_1 p_2 d = (n-1) \frac{(k_1 + k_2) - (n-1)^2 k_1 k_2 d}{2}$$

以 n 为变量, d 为参量, 令 $\frac{\partial p}{\partial n} = 0$, 得

$$d = \frac{k_1 + k_2}{2(n-1)k_1 k_2} = \frac{p_1 + p_2}{2p_1 p_2} = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

[说明] 本题 35 分, 每一小题 7 分

1. 正确作出解释圆柱无滑下滚摩擦力为静摩擦力在 $\theta \neq 0$ 时, $a_c \neq 0$. 作定性分析也给 7 分.

2. 积分表示式正确给 7 分, 若积分限有错给 5 分. 若式中没有 v_x 不给分.

3. 若只写出 $dp_m = \pi r^2 \rho_Q r \omega dr dz$ 给 3 分, 只写出

$$dL = 2\pi r dr dz \rho_M r^2 \omega \text{ 给 2 分, 直接写出}$$

$\frac{1}{2} \frac{\theta}{M} L$ 给 7 分, 若没有前步骤只写出 $\frac{\theta}{M} L$ 者不给分.

4. 算出 $3.9 \times 10^{-6} \text{ eV}$ 者给 4 分, 估计到 $kT \sim \frac{1}{40} \text{ eV}$ 者给 3 分.

5. 定性回答给 4 分, 定量证明给 3 分.

三、列出 a, b 的牛顿第二定律表示式为

$$\frac{d^2 x_a}{dt^2} + \frac{g}{l} X_a + \frac{k}{m} (x_a - x_b) = 0$$

$$\frac{d^2 x_b}{dt^2} + \frac{g}{l} x_b + \frac{k}{m} (x_b - x_a) = 0$$

两式相加和相减可得

$$\frac{d^2 (x_a + x_b)}{dt^2} + \frac{g}{l} (x_a + x_b) = 0$$

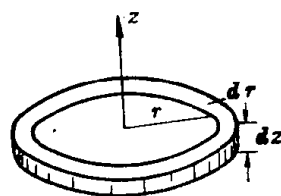
$$\frac{d^2 (x_a - x_b)}{dt^2} + \left(\frac{g}{l} + \frac{2k}{m} \right) (x_a - x_b) = 0$$

令 $\Psi_1 = x_a + x_b$, $\Psi_2 = x_a - x_b$, Ψ_1 和 Ψ_2 为简正坐标, 相应的简正模的频率为

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{g}{l}} \quad \omega_2 = \sqrt{\frac{g}{l} + \frac{2k}{m}}$$

[说明] 本题 10 分, 写出 a, b 的微分方程给 5 分, 写出两简正模频率

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{g}{l}} \quad \omega_2 = \sqrt{\frac{g}{l} + \frac{2k}{m}} \text{ 给 5 分}$$



四、根据 K 的定义, $K = -V \frac{dp}{dV}$ 由理想气体绝热过程方程 $pV^\gamma = C$ 取微分可得

$$\gamma p V^{\gamma-1} dV + V^\gamma dp = 0$$

$$K = -V \frac{dp}{dV} = \gamma p \text{ 故声速 } v \text{ 为 } v = \sqrt{\frac{K}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}}$$

由状态方程 $pV = \frac{M}{\mu} RT$, 有 $p/\rho = \frac{RT}{\mu}$, 于是 $v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{\mu}}$

空气平均摩尔质量 $\mu = 29 \times 10^{-3}$ 千克/摩尔, 取 $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1.4$, $T = 300$ 开, 可算出 $v \approx 340 \sim 350$ 米/秒。

[说明] 本题 10 分, 写出 $v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{\mu}}$ 给 7 分, 数值计算占 3 分

五、通过线圈的磁通量 Φ_m 为 $\Phi_m = BS \cos \omega t$, 这里设线圈法向与 B 方向一致时为计时起点, 旋转线圈感生电动势 $\mathcal{E}$ 为

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_m}{dt} = BS \sin \omega t$$

考虑回路有电阻 R 和自感 L , 回路电流 I 所满足方程为

$$L \frac{dI}{dt} + IR = BS \omega \sin \omega t$$

求解上述方程可得

$$I = \frac{BS \omega}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} \sin(\omega t + \phi), \quad \phi = \arctg\left(-\frac{\omega L}{R}\right)$$

在一周期内电阻上消耗平均功率为 $\overline{I^2 R}$, 此即维持线圈作匀角速转动所需的平均功率

$$P_{\text{平}} = \frac{1}{T} \int_0^T I^2 R dt = \frac{1}{2} \frac{(BS \omega)^2 R}{(R^2 + \omega^2 L^2)}$$

[说明] 本题 15 分, 建立 I 的微分方程 5 分, 求解 I 5 分, 算出平均功率 5 分, 本题可用余弦表示。

六、根据公式(自己写出)

$d = \lambda/2 \sin \theta$ (条纹间距) 即 $f = 2 \sin \theta / \lambda$ (空间频率) $\sin \theta = f \lambda / 2$

$$1. \sin \theta = \frac{20 \times 0.6}{2} \times 10^{-3} = 6 \times 10^{-3} \quad \theta = 6 \times 10^{-3} \text{ 弧度 (小角度相交)}$$

$$2. \sin \theta = \frac{1600 \times 0.6 \times 10^{-3}}{2} = 0.48, \quad \theta \approx 30^\circ \text{ (大角度相交)}$$

[说明] 本题 10 分, 导出式 $f = 2 \sin \theta / \lambda$ 给 4 分, 两数值计算各占 3 分。

七 Be^+ 主线系波数规律为

$$\tilde{\nu}_\rho = \frac{4R}{(2 - \Delta_s)^2} - \frac{4R}{(n - \Delta_p)^2} \quad n = 2, 3, \dots$$

短波限 $n \rightarrow \infty$

$$\tilde{\nu}_{\rho\infty} = \frac{4R}{(2 - \Delta_s)^2} \quad \Delta_s = 2 - 2\sqrt{\sim \frac{R}{\nu_{\rho\infty}}} = 0.27$$

主线系第一条 $n=2$

$$\frac{1}{\lambda_1} = \frac{1}{\lambda_\infty} - \frac{4R}{(2-\Delta_s)^2}, \quad \Delta_s = 0.05$$

锐系第一条

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{4R}{(2-\Delta_s)^2} - \frac{4R}{(3-\Delta_s)^2}, \quad \lambda = 1760 \text{ \AA}$$

[说明] 本题 10 分, 写出主线系波数规律给 4 分, 算出 Δ , Δ_s , λ 各 2 分。

复 旦 大 学

试 题

一、填空[50 分]

1. 长为 l , 质量为 m 的均质细杆自水平方位绕着过其一端的水平光滑轴自由下落, 当其下落至竖直方位时, 角速度为 $\sqrt{\frac{3g}{l}}$, 轴承上受力为 $\frac{3}{2}mg$ 。

2. 质量为 m 的质点处在 $F = -kr\hat{r}$ 的有心力场中, 与力心距离为 a , 以初速度 v_1 沿垂直于矢径方向出射而作圆周运动, 则 $v_1 = \sqrt{\frac{k}{m}}a$ 。若以初速 $v_2 (> v_1)$ 出射(方向同上), 则在以后运动过程中质点矢径的最大值为 $\frac{m}{k}v_2^2$, 最小值为 a 。

3. 一面积为 V 的空房间与大气相通, 开始时室内温度与室外大气相同, 均为 T_0 , 现用一制冷机使室内温度降为 T , 则房间中气体内能的增量 $\Delta U = \frac{3}{2}PV(T_0 - T)$ (空气视为理想气体)。

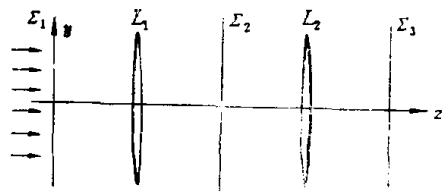
4. 一容器用绝热壁分成两部分, 分别充以温度为 T_1 和 T_2 的理想气体, 并保持温度不变, 两部分气体的平均自由程各为 $\bar{\lambda}_1$ 和 $\bar{\lambda}_2$ 。绝热壁上开有直径为 d 的小孔, 当 $d \ll \bar{\lambda}_1$ 和 $\bar{\lambda}_2$ 而达到稳定状态时, $\bar{\lambda}_1/\bar{\lambda}_2 = \sqrt{T_1/T_2}$; 当 $d \gg \bar{\lambda}_1$ 和 $\bar{\lambda}_2$ 而达到稳定状态时, $\bar{\lambda}_1/\bar{\lambda}_2 = 1$ 。

5. 内、外半径分别为 $a, b (a < b)$ 的同心导体薄球壳之间充满相对介电常数为 ϵ_r 的介质, 当内球壳带电量 $+Q$, 外球壳接地时, 外球壳带电量为 $-Q$; 当外球壳带电量 $+Q$, 内球壳接地时, 内球壳带电量为 $-Q$ 。

6. 分布在半径为 a 的圆形区域中的均匀磁场(磁感应强度为 B)以恒定速率 $\beta = \frac{dB}{dt}$ 随时间变化。一半径为 $b (b > a)$ 的均匀圆环同心地套在磁场外面, 电阻为 R , C 和 D 为环上的两点, 它们对中心的张角为 120° , 则流过圆环的电流为 $\frac{R\beta}{2\pi}$, C, D 两点的电势差为 $\varphi_C - \varphi_D = \frac{R\beta}{2\pi}$ 。

7. 棱镜的顶角为 ϵ , 测得入射平行光(单色)的最小偏向角为 D , 则棱镜材料的折射率 $n = \frac{1}{\sin(\frac{\epsilon}{2})} \sin(\frac{D+\epsilon}{2})$ 。

8. 在右图所示的光路中, Σ_1 是透镜 L_1 的前焦平面, Σ_2 是透镜 L_1 的后焦平面, 又是透镜 L_2 的前焦平面, Σ_3 是透镜 L_2 的后焦平面。两透镜的焦距相同。今在 Σ_1 处放置一正方形透光网格, 网格线分别平行于 x, y 轴, 间距为 d , 并以平行于 z 轴的单色平行光照明; 在 Σ_2 处放置一屏, 其上开有通过中心, 与 x, y 轴正方向



均成 45° 角的狭缝, 则在 Σ_3 处的屏上所显示的像的形状是_____.

9. 已知 $^{13}_7\text{N}$ 原子的质量比 $^{13}_6\text{C}$ 原子的质量大 2.22MeV . $^{13}_7\text{N}$ 核经 β 衰变为 $^{13}_6\text{C}$ 核, 其反应方程式为_____. 其 β 能谱的最大能量为_____.

10. 在同样条件下对基态氢原子和基态氯原子所作的史特恩-盖拉赫实验测得: 两氢原子束所成的间距与两相邻氯原子束所成的间距之比为 $3:2$, 则氯原子基态能级在磁感应强度为 B 的弱磁场中分裂后, 两相邻能级间距为_____. (玻尔磁子用 μ_B 表示)

二、计算[每题 10 分]

1. 质量为 m 的质点在重力场中以初速度 v_0 竖直上抛, 设空气阻力 R . (1) 与速度成正比, 即 $R=k_1mv$; (2) 与速度平方成正比, 即 $R=k_2mv^2$, 求质点上升的最大高度.

2. 已知一摩尔物质的升华热为 l_s , 求该物质处在固-气两相平衡时的摩尔比热. (气体可视为理想气体).

3. $1\mu\text{F}$ 的电容充电至 100V 后, 通过一绕有 300 匝线圈的铁环放电, 该铁环平均半径 20cm , 横截面积 4cm^2 , 环上开有 2mm 宽的空气隙. 设铁环的相对磁导率为 5000. 忽略铜耗、铁耗和磁漏, 计算空气隙中所产生的最大磁感应强度.

4. 在正交偏振片之间放置一块 $1/4$ 波片, 其光轴与第一块偏振片的通光轴成 30° 角. 光强为 I_0 的单色自然光通过该系统, 求出射光的强度.

5. ① 设氢原子的一个电子始终处于 $1S$ 态, 对氢原子的三个最低的主量子数画出其精细结构能级图, 并标明相应的原子态符号.

② 在上述能级图中找出三个电偶极跃迁, 并分别写出它们的初态, 末态.

③ 在上述能级图中找出三个电偶极选择定则所禁戒的跃迁, 分别画出它们的初态和末态, 并指出它们违反了哪些电偶极跃迁的选择定则.

解 答

一、 1. $\sqrt{\frac{3g}{l}} \quad \frac{5}{2}mg$ 2. $a\sqrt{\frac{k}{m}} \quad \sqrt{\frac{m}{k}}v_2$ a

3. 0 4. $\sqrt{\frac{T_1}{T_2}} \quad \frac{T_1}{T_2}$ 5. $-Q \quad -\frac{Q}{b} / \left[\frac{1}{\epsilon} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right) + \frac{1}{b} \right]$

6. $\pi a^2 \beta / R$ 0 7. $\sin \frac{D+\epsilon}{2} / \sin \frac{\epsilon}{2}$ 8. 与 x 轴负方向, y 轴正方向均成

45° 角, 间距为 $\frac{1}{\sqrt{2}}d$ 的平行条纹. 9. $^{13}_7\text{N} \rightarrow ^{13}_6\text{C} + \beta^+ (e^+) + \nu_e$. 1.198MeV 10. $\frac{4}{3}\mu_B B$

二、 1. ① 取 y 轴竖直向上, 则质点运动方程为

$m\ddot{y} = -mg - k_1 m \dot{y}$ 即 $\ddot{y} = -(g + k_1 \dot{y})$ 积分之, 得

$$\dot{y} = \frac{C_1}{k_1} e^{-k_1 t} - \frac{g}{k_1} \quad (1)$$

再积分, 得

$$y = -\frac{C_1}{k_1} e^{-k_1 t} - \frac{g}{k_1} t + C_2 \quad (2)$$

以初条件 $t=0 \quad \dot{y}=0 \quad y=0$ 代入(1)(2)

得 $C_1 = k_1 v_0 + g$ (3)

(3) $C_2 = (k_1 v_0 + g) / k_1^2$ (4)

当 $\dot{y}=0$ 时, 质点上升到最大高度, 设此时 $t=t_1$, 则由(1)有

$$\frac{C_1}{k_1} e^{-k_1 t_1} = \frac{g}{k_1}$$

由此得

$$t_1 = \frac{1}{k_1} \ln \frac{g + k_1 v_0}{g} \quad (5)$$

以(5)(3)(4)代入(2), 即得最大高度 h

$$h = \frac{v_0}{k_1} - \frac{g}{k_1^2} \ln \frac{g + k_1 v_0}{g}$$

② 质点运动方程为

$$m\ddot{y} = -mg - k_2 m\dot{y}^2 \quad \dot{y} \parallel \frac{d\dot{y}}{dt} = \dot{y} \frac{d\dot{y}}{dy} = \frac{1}{2} \frac{d\dot{y}^2}{dy}$$

方程化为 $\frac{d\dot{y}^2}{g + k_2 \dot{y}^2} = -2dy$ 取积分 $\int_{v_0}^0 \frac{d\dot{y}^2}{g + k_2 \dot{y}^2} = -2 \int_0^h dy$

式中 h 即最大高度. 积分之, 即得

$$h = \frac{1}{2k_2} \ln \frac{g + k_2 v_0^2}{g}$$

2. 设摩尔比热为 C , 则

$$C = \frac{dQ}{dt} = \frac{dU}{dT} + p \frac{dV}{dT} = C_v + p \frac{dV}{dT}$$

由状态方程 $PV = RT$ 可得

$$P = \frac{dV}{dT} + V \frac{dP}{dT} = R \quad P \frac{dV}{dT} = R - V \frac{dP}{dT}$$

而 $\frac{dP}{dT} = \frac{l_s}{VT}$ 故 $P \frac{dV}{dT} = R - V \frac{l_s}{VT} = R - \frac{l_s}{T}$

$$\therefore C = C_v + R - \frac{l_s}{T} = C_p - \frac{l_s}{T}$$

3. 电容中的电能 $W_E = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \times 10^{-6} \times 100^2 = 5 \times 10^3 (\text{J})$

当环中磁感应强度为 B 时, 铁环中的磁能密度

$$W_{m1} = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_r \mu_0}$$

空气隙中的磁能密度 $W_{m2} = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0}$

铁环及空气隙中的总磁能为

$$W_m = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_r \mu_0} S l_1 + \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0} S l_2 = \frac{1}{2} \frac{S B^2}{\mu_0} \left(\frac{l_1}{\mu_r} + l_2 \right)$$

式中 S 是环的截面积, l_1 为铁环长度, l_2 为空气隙长度. 在电容通过线圈放电的过

当电能全部转化为磁能时, 对应的磁感应强度即为最大值 $B_{\max}$. 故有

$$\frac{1}{2} \frac{S B_{\max}^2}{\mu_0} \left(\frac{l_1}{\mu_r} + l_2 \right) = W_E$$

由此得

$$B_{\max} = \sqrt{\frac{2\mu_0 W_E}{S \left(\frac{l_1}{\mu_r} + l_2 \right)}}$$

以 $W_E = 5 \times 11^{-3} \text{J}$, $S = 4 \times 10^{-4} \text{m}^2$, $l_1 = 2\pi \times 0.2 \text{m}$, $l_2 = 2 \times 10^{-3} \text{m}$, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{N/A}^2$, $\mu_r = 5000$

代入上式, 得

$$B_{\max} = 0.118 \text{T}$$

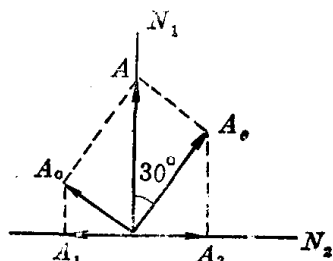
4. 通过第一偏振片后的光强为 $\frac{1}{2} I_0$, 设此时光的振幅为 A , 则射入 $1/4$ 波片的寻常光和非常光的振幅 A_o 和 A_e 分别为

$$A_o = A \sin 30^\circ = \frac{1}{2} A, \quad A_e = A \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} A.$$

经过 $1/4$ 波片后, 寻常光和非常光有 $\pi/2$ 的位相差. A_o 和 A_e 在第二块偏振片的通光轴上的分量 A_1 和 A_2 分别为

$$A_1 = A_o \cos 30^\circ = \frac{1}{2} A \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{\sqrt{3}}{4} A$$

$$A_2 = A_e \sin 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} A \cdot \frac{1}{2} = \frac{\sqrt{3}}{4} A$$



通过第二块偏振片后, 这二个振动又附加 π 位相差, 故合振动的振幅 A' 为

$$\begin{aligned} A'^2 &= A_1^2 + A_2^2 - 2A_1 A_2 \cos\left(\frac{\pi}{2} \pm \pi\right) \\ &= A_1^2 + A_2^2 = \left(\frac{\sqrt{3}}{4}\right)^2 A^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{4}\right)^2 A^2 = \frac{3}{8} A^2 \end{aligned}$$

设出射光强度为 I , 则

$$\frac{I}{\frac{1}{2} I_0} = \frac{A'^2}{A^2} = \frac{3}{8} \quad \therefore I = \frac{3}{8} \cdot \frac{1}{2} I_0 = \frac{3}{16} I_0$$

5. ① 如右图

② 跃迁选择定则

$$\Delta S = 0, \quad \Delta l = \pm 1, \quad \Delta J = 0, \pm 1$$

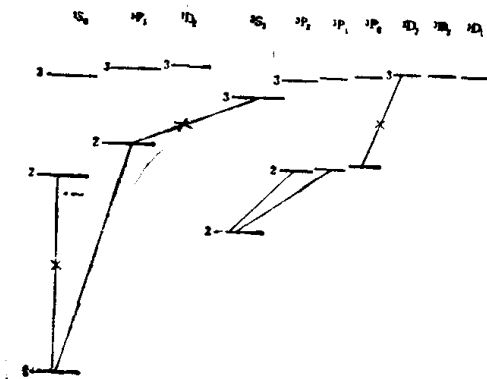
图中 $^1P_1 \rightarrow ^1S_0$, $^3P_2 \rightarrow ^3S_1$, $^3P_1 \rightarrow ^3S_1$ 等均为可能的跃迁.

③ 图中 $^1S_0 \rightarrow ^1S_0$ 跃迁违背 $\Delta l = \pm 1$,

$^3S_1 \rightarrow ^1P_1$ 跃迁违背 $\Delta S = 0$

$^3D_3 \rightarrow ^3P_0$ 跃迁违背 $\Delta J = 0, \pm 1$.

③ 答案不是唯一的, 可有多种答案.



中山大学

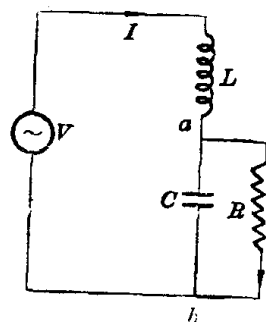
(理论物理专业)

试 题

一、填空题[40 分, 每个空位占 2 分]

1. 一卡诺热机, 低温热源温度为 27°C , 热效率为 40% , 其高温热源温度 $T_1 = \underline{1017}^\circ\text{K}$. 今若将该热机效率提高到 50% , 高温热源的温度需增加 $\underline{1017}^\circ\text{K}$.

2. 如图, 交流电源(复)端电压为 V 圆频率 $\omega = 1/\sqrt{LC}$, 则图中 R, C 并联电路的(复)阻抗 $Z_{ab} = \underline{\quad}$. 流过电阻器(复)电流 $I_R = \underline{\quad}$.



3. 显微镜物镜的垂轴放大率为 45 倍, 目镜的视角放大率为 10 倍, 目镜的线视场为 15mm . 则显微镜的放大倍数为 $\underline{450}$ 倍, 显微镜的线视场为 $\underline{\quad}$, 目镜焦距为 $\underline{\quad}$.

4. 杨氏双缝干涉实验中, 双缝间距 $d = 0.50\text{mm}$, 光源波长 $\lambda = 0.50\mu\text{m}$, 光源离双缝距离 $a = 20\text{cm}$, 双缝离观察屏距离 $L = 200\text{cm}$, 屏上亮(或暗)条纹间距 $\Delta x = \underline{\quad}$, 为了保证干涉条纹可见度 V 不小于 0.9 , 要求光源宽度 $b \leq \underline{\quad}$. 若要求准单色光波列长度大于 d , 谱线(半值)宽度 $\Delta\lambda$ 应小于 $\underline{\quad}$.

5. 迈克尔逊干涉仪放在空气中, 若虚平板间距 $d = 1.0\text{mm}$, 使用 $\lambda = 0.5\mu\text{m}$ 的准单色光, 中央条纹的干涉级为 $\underline{\quad}$. 若慢慢将虚平板间距增加 Δd , 看到从中心冒出 2000 个条纹, $\Delta d = \underline{\quad}$. 若间距 d 增大到 10mm 时, 干涉条纹可见度为零, 该光源的平均波列长度等于 $\underline{\quad}$.

6. 静质量为 m_0 的电子, 经加速电势差 U 加速后, 若不考虑相对论效应, 电子获得速度 $V = \underline{\quad}$, 相应的德布罗意波长 $\lambda = \underline{\quad}$.

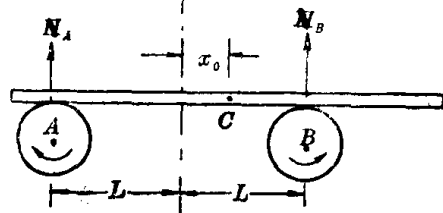
7. 一维有限方势阱: $U(x) = U_0$, 当 $|x| > a$ 时;
 $U(x) = 0$, 当 $|x| < a$ 时.

设粒子能量为 E , 质量为 m , 则 $|x| < a$ 时粒子的定态薛定谔方程为 $\underline{\quad}$. $|x| > a$ 时的定态薛定谔方程为 $\underline{\quad}$.

8. 氢原子中电子若处于 $n=2, l=1$ 的状态, 该电子的轨道动量矩 $p = \underline{\quad}$, 轨道动量矩在外场方向投影 p_m 可能值为 $\underline{\quad}$.

9. 靠近一长寿命放射源的计数器测量到的计数率的平均值为 100 次/分. 在给定的某一分钟时间间隔内测量到多于 110 次的几率接近为 $\underline{\quad}$.

二、[9 分] 如图所示, 两个相同的轮子, 沿着相反方向迅速转动, 轨轴间距离为 $2L$, 现将质量为 m 的均匀薄板水平地搁在两轮上, A, B 为轮与板的接触点, 板与轮之间摩擦系数为 μ ; 初始时, 板的初速为零, 板的质心 C 在两轮中垂面右侧, 相距 x_0 , 求

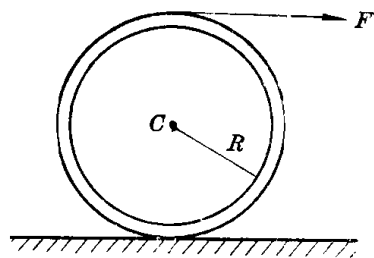


1. 轮给板的支承力 N_A, N_B 和重心 C 坐标的函数关系;

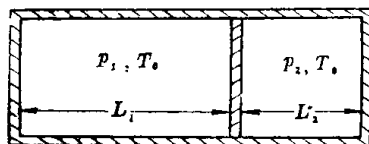
2. 质心 C 的加速度和质心坐标的函数关系;

3. 质心 C 的坐标和时间 t 的函数关系。

三、[7分] 半径为 R , 质量为 m 的薄壁钢管, 管外绕一条绳子, 用水平恒力 F 拉绳子, 使它在水平面上作纯滚动, 求质心 C 的加速度 a_c 和地面对钢管的静摩擦力 f_r 。



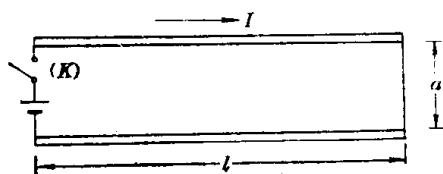
四、[8分] 在一封闭绝热圆筒里, 有一无摩擦、绝热的可自由移动的活塞。最初, 活塞被固定在这样的位置: 它把圆筒分为长 L_1 (左室) 和长 L_2 (右室) 两部分 ($L_1 > L_2$), 两室充以比热比为 γ 的理想气体, 温度均为 T_0 , 压强分别为 p_1 和 p_2 , 且 $p_1 > p_2$ 。然后释放活塞, 允许其可逆地移动, 直到两室压强相等为止。求:



1. 右室末长度和左室末长度的比值 A , 左室的末长度 L 。

2. 左室气体的末温度 T 。

五、[10分] 图中所示装置, 由两条带状导体板(忽略电阻)组成, 板长为 l , 宽度为 b (垂直于纸面), 板间有一小空隙 e ($a \ll b, l$) 将两板的右端短路。左端通过开关 K 接上电压为 V_0 的电池。忽略左端电池接线和右端短路接线上电流的效应, 当 K 接通后:



1. 两板极间的磁场 B 和流过该电路中电流 I 的关系如何?

2. 这电路的自感多大?

3. 电路中的电流与时间的函数关系如何?

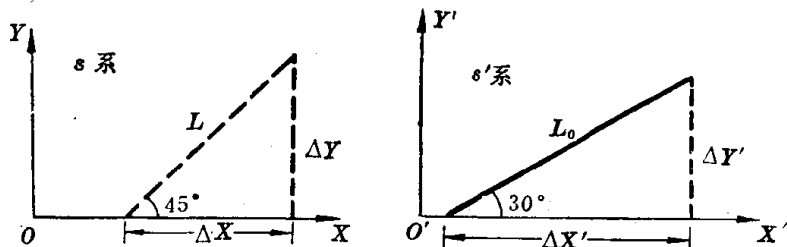
4. 两极间的电压与左端距离 x 的函数关系如何?

5. 单位时间内流入系统的能量与上述距离 x 的函数关系如何?

六、[6分] 一根米尺 ($L_0 = 1\text{m}$) 静止在惯性系 s' 中, 与 $o'x'$ 轴 30° 角, 如果在惯性系 s 中测得该米尺与 ox 轴成 45° 角, 求:

1. s 系测得的米尺长度 L 是多少?

2. s' 系相对于 s 系的速度 u 必须是多少?



七、[8分] 钾原子共振线波

长为 $\lambda_{\text{共}}$, 主线系系限波长为 λ_{∞} 。已知钾原子基态为 $4S$, 试求 $4S$, $4P$ 谱项的量子数修正项 Δ_S, Δ_P 。设钾的黎德伯常数为 R_K 。

八、[12分] 试从电学、光学和分子物理学实验测定阿伏伽德罗常数的方法中, 简要地叙述其中两种方法。要求给出各种方法所需要的计算方程式和要点。

解 答

一、1. 500K 100K

2. $\frac{R}{1+i\omega RC}$ $-iV\sqrt{\frac{C}{L}}$ 3. -50 $\frac{15}{45} = \frac{1}{3}(\text{mm})$ $\frac{25}{10} = 2.5\text{cm}$

4. $\frac{L}{d}\lambda = 2.0\text{mm}$ $\frac{\lambda a}{4d} = \frac{1}{20}\text{mm}$ $\frac{\lambda^2}{d} = 5.0\text{\AA}$ 5. $\frac{2nd}{\lambda} = 4000$, $2000 \times \frac{\lambda}{2} = 0.5\text{mm}$

$$2d=20\text{mm} \quad 6. \sqrt{\frac{2eU}{m_0}} \quad \frac{h}{m_0v} = \frac{h}{\sqrt{2m_0V}} \quad 7. \frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E\psi = 0$$

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U_0)\psi = 0 \quad 8. \sqrt{2}h, \quad \pm h, 0 \quad 9. 0.16$$

二、建立坐标 x 如图所示。

1. 因薄板无移动, 故对 B 点的转动平衡条件为

$$N_A \cdot 2L = mg(L-x) \quad \therefore N_A = \frac{mg}{2L}(L-x)$$

同理对 A 点的转动平衡条件为

$$N_B \cdot 2L = mg(L+x) \quad \therefore N_B = \frac{mg}{2L}(L+x)$$

2. 对薄板用质心定理得 $\mu N_A - \mu N_B = ma$

$$a = \frac{\mu}{m}(N_A - N_B) = \frac{\mu}{m} \cdot \frac{mg}{2L}[(L-x) - (L+x)] \quad \text{即 } a = \ddot{x} = -\frac{\mu g}{L}x$$

$$3. \quad \ddot{x} = -\frac{\mu g}{L}x = \omega^2 x \quad \text{其中 } \omega^2 = \frac{\mu g}{L} \rightarrow \text{周期 } T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{\mu g}}$$

一般解为 $x = A \cos(\omega t + \varphi)$

按 $x(t=0) = x_0$ $\dot{x}(t=0) = 0$ 可定出 $A = x_0$ $\varphi = 0$

即质心坐标时间函数关系为 $x = x_0 \cos \omega t$ 。

三、对钢管用质心的动量矩定理, 得

$$FR - f_r R = mR^2 \beta$$

对钢管用质心定理得

$$F + f_r = ma_c$$

有运动学关系

$$a_c = \beta R$$

解之得

$$a_c = F/m \quad f_r = 0$$

四、1. 对左室气体用绝热方程得 $p_1 L_1^\gamma = p L^\gamma$

对右室气体用绝热方程得 $P_2 L_2^\gamma = p(L_0 - L)^\gamma$

式中 $L_0 = L_1 + L_2$ (左、右室总长度)

$$\text{两式相除得} \quad A = \frac{L_0 - L}{L} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{1/\gamma} \left(\frac{L_2}{L_1}\right) \quad L = \frac{L_0}{A+1}$$

2. 对左室气体用另一形式的绝热方程得 $T_0 L_1^{\gamma-1} = T L^{\gamma-1}$

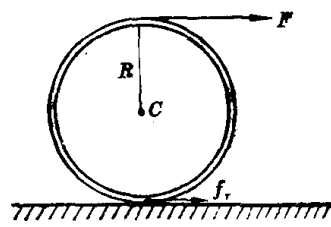
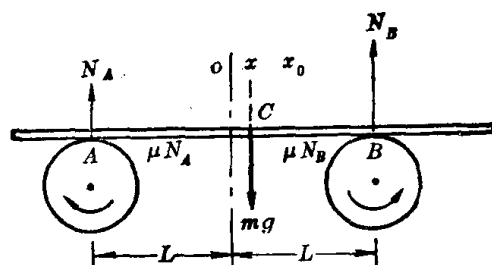
$$\therefore T = T_0 \left(\frac{L_1}{L}\right)^{\gamma-1} = T_0 [(A+1)L_1/L_0]^{\gamma-1}$$

五、1. 运用 $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 I$

由于 $a \ll b, l$, 介于两板间磁场近似为均匀的, 板外磁场为零

$$Bb \approx \mu_0 I \quad \therefore B \approx \frac{\mu_0 I}{b}$$

$$2. \text{电路自感} \quad L = \Phi/I = \frac{BA}{I} = \frac{1}{I} \left(\frac{\mu_0 I}{b}\right) la = \frac{\mu_0 la}{b}$$



(1)

(2)

(3)

3. 电路方程为 $V_0 - L \frac{dI}{dt} = 0 \quad \int_0^t dI = \frac{V_0}{L} \int_0^t dt \quad I = \frac{V_0}{L} t$

4. 长为 x 的两条带状板的自感为

$$L_1 = \frac{\mu_0 x a}{b} \quad V_x = L_1 \frac{dI}{dt} = \frac{\mu_0 x a V_0}{b L} = \frac{x}{l} V_0$$

5. 能流 $= V_x \cdot I = \left(\frac{\mu_0 x a V_0}{b L} \right) \left(\frac{V_0}{L t} \right) = \frac{\mu_0 x a}{b} \left(\frac{V_0}{L} \right)^2 t$

六、1. $\Delta y' = L_0 \sin 30^\circ = 1 \times \frac{1}{2} = 0.5 \text{ m}$

而 $\Delta y = \Delta y'$, $\Delta x = \Delta y \cdot \operatorname{ctg} 45^\circ = \Delta y' \cdot \operatorname{ctg} 45^\circ = 0.5 \text{ m}$

$\therefore l = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} = \sqrt{(0.5)^2 + (0.5)^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707 \text{ m}$

2. 由 $\Delta x = \Delta x' \sqrt{1 - \left(\frac{u}{c}\right)^2}$ 得 $u = c \sqrt{1 - \left(\frac{\Delta x}{\Delta x'}\right)^2}$

而 $\Delta x = 0.5 \text{ m}$, $\Delta x' = L_0 \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ m}$

$\therefore u = c \sqrt{1 - \left(\frac{0.5}{\frac{\sqrt{3}}{2}}\right)^2} = \sqrt{\frac{2}{3}} c = 0.816 c$

七、K 原子主线系波数 $\nu = 4s - np \quad n = 4, 5, 6$

$$\therefore \tilde{\nu}_{\text{共}} = 4s - 4p = \frac{R_K}{(4 + \Delta_S)^2} - \frac{R_K}{(4 + \Delta_P)^2} = \frac{1}{\lambda_{\text{共}}} \quad (1)$$

$$\tilde{\nu}_{\infty} = 4s = \frac{R_K}{(4 + \Delta_S)^2} = \frac{1}{\lambda_{\infty}} \quad (2)$$

由(2)式得 $\Delta_S = \sqrt{R_K \lambda_{\infty}} - 4$ 由(1)及(2)得 $\Delta_P = \sqrt{\frac{\lambda_{\text{共}} \lambda_{\infty}}{\lambda_{\text{共}} - \lambda_{\infty}}} R_K - 4$

八、参考答案

1. 电解水法, 如果通过 Q 库仑的电荷产生 n 摩尔氢, 则阿伏伽德罗常数 $N = \frac{Q}{ne}$.

用密立根油滴实验测定电子电荷: 由喷雾器产生足够小的油滴, 使单个电子所受到的电场力可以和油滴重量相比拟, 并且油滴上的净电荷约只有一个或几个电子的电量, 调整加于极板上电压, 使得

$$q \frac{V}{d} = mg = \frac{4}{3} \pi a^3 \rho g$$

d 为极板距离, a 为油滴半径, ρ 为密度.

其中 a 可以通过测量油滴在空气中自由降落的收尾速度, 由斯托克斯定律 $F = 6\pi\eta aV$ 算出, 其中 η 为空气中的粘滞系数.

对若干油滴进行测量, 发现 q 为 e 的整数倍, 由此可确定 e .

2. x 射线衍射法, 用光栅常数已知的光栅测定某 x 射线的波长, 用 x 射线衍射法测定正立方晶体的晶格常数 d , 则有阿伏伽德罗常数 $N = (\rho d^3)^{-1}$ 式中 ρ 为摩尔密度.

3. 布朗运动法, 方法之一

布朗粒子的平均动能为 $\bar{w} = \frac{3}{2} kT = \frac{3}{2} \left(\frac{R}{N} \right) T$ $N = \frac{3}{2} \frac{R}{\bar{w}} T$ 悬浮在某种液体中的粒子,符合下述高度分布规律

$$n_h = n_0 e^{-\frac{p h}{2w}}$$

p 为布朗粒子重量

用显微镜观察不同高度下的粒子数,有

$$n_{h1} = n_0 e^{-\frac{3p}{2w} h_1} \quad n_{h2} = n_0 e^{-\frac{3p}{2w} h_2} \quad \therefore \frac{\bar{w}}{w} = \frac{3}{2} \frac{p(h_2 - h_1)}{\ln \frac{n_{h1}}{n_{h2}}}$$

利用斯托克斯公式,测定粒子在粘滞液中降落速度,可确定它的半径 r 用这个 r 值和比重 ρ 可表示粒子重量 p 为

$$p = \frac{4}{3} \pi r^2 (\rho - \rho') \quad \rho, \text{ 为水的比重.}$$

方法之二

用显微镜观测布朗粒子位移。设在观察时间 t 内,位移在某轴上的投影为 x , 对许多布朗粒子量度 x , 则

$$\overline{x^2} = \frac{RT}{3\pi\eta r N} t$$

R 为气体恒量, T 为温度, η 为媒质粘滞系数, r 为布朗粒子半径[可如上法测定]。因此,式中 N 可以确定。

南 京 大 学

(物理系各专业、地理系地图与遥感专业、大气物理专业)

试 题

一、选择题[16分](每小题4分,不填不得分,填错扣分。)

- 环绕地球运行的人造卫星在阻力,摩擦力作用下,动能将
① 增加 ② 减少 ③ 不变 ()
- 将边长为 a , 重为 W 的匀质正立方体推倒或沿 $\mu=0.3$ 的地面推出 a 远, 则
① 推出比推倒情况外力做功大。 ② 推倒比推出情况外力做功大。 ③ 推倒和推出外力做功一样大。 ()
- 被绝热材料包围的容器内隔为两半, 左边是理想气体, 右边是真空。如果把隔板抽出, 气体将自由膨胀, 达到平衡后。
① 温度不变, 熵不变 ② 温度降低, 熵增加 ③ 温度不变, 熵增加 ④ 温度升高, 熵增加。 ()
- 二根长而平行的直导线相距 l , 通有反向而等强度的电流, 当减小它们的距离 l 时, 就二根导线组成的系统而言磁能将