

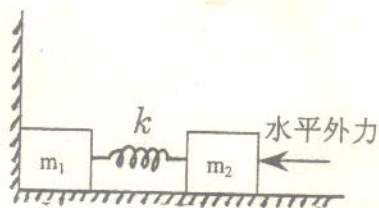
第十九届非物理类专业大学生物理竞赛试题

题号	一			二			三	总分
	1—13	14	15	16	17	18	19—21	
分数								
阅卷人 (签名)								

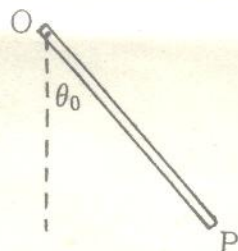
说明：1. 全体考生所有题都必须做，满分为 120 分。评奖时，将按第一批录取院校考生、第二批录取院校考生或协商分为甲、乙两组分别评奖。
2. 每位考生都必须如实填写左侧密封线以内的各项内容。

一. 填空题 (13 小题, 每小题 2 空, 每空 2 分, 共 52 分)

1. 质量分别为 m_1 、 m_2 的两物块与劲度系数为 k 的轻弹簧构成的系统如图示, 物块与地面光滑接触, 右侧水平外力使弹簧压缩量为 l , 物块静止。将右侧水平外力撤去后, 系统质心 C 可获得的最大加速度值为 _____, 可获得的最大速度值为 _____。



2. 如图所示, 长 l 、质量 m 的均匀细杆 OP , 可绕着过 O 端的光滑水平固定轴在竖直平面内自由摆动。细杆相对此转轴的转动惯量为 _____, 当最大摆角 θ_0 较小时, 摆动周期为 _____。



3. 两个实验者 A 和 B 各自携带频率同为 1000 Hz 的声源, 声波在空气中的传播速度为 340m/s。设 A 静止, B 以 20m/s 的速率朝着 A 运动, 则 A 除了能收到频率为 1000Hz 的声波外, 还能接收到频率为 _____ Hz 的声波; B 除了能收到频率为 1000Hz 的声波外, 还能接收到频率为 _____ Hz 的声波。

4. 理想流体的伯努利方程是 _____, 水平放置的柱形桶中盛水高度为 H , 顶部开口, 桶的侧面底部有一小孔, 水在小孔中的流速 $v =$ _____。

5. 热力学第二定律的开尔文表述为 _____, _____, _____, 热力学第二定律的克劳修斯表述为 _____, _____, _____。

所在学校

准考证号

题
答
要
不
封
线
内
密

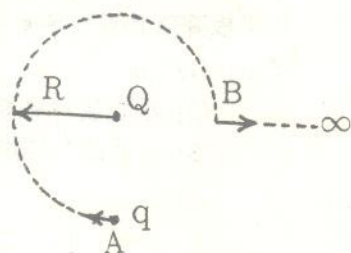
姓名

座号

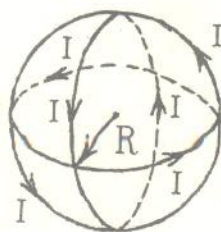
考场

6. 热力学系统处于某一宏观态时，将它的熵记为 S ，该宏观态包含的微观态个数记为 W ，玻耳兹曼假设两者间的关系为_____。一个系统从平衡态 A 经绝热过程到达平衡态 B，状态 A 的熵 S_A 与状态 B 的熵 S_B 之间大小关系必为_____。

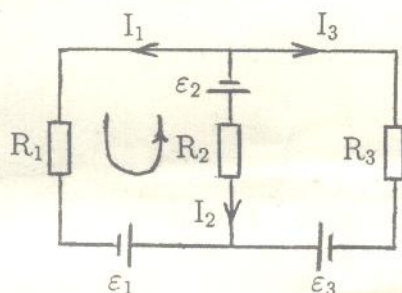
7. 如图所示，电量为 q 的实验电荷在电量为 Q 的静止点电荷周围电场中，沿半径 R 的四分之三圆轨道由 A 点移动到 B 点的全过程中，电场力做功为_____，从 B 再移动到无穷远的全过程中，电场力做功为_____。



8. 据稳恒电流磁场的毕奥-萨伐尔定律 $d\vec{B} =$ _____，最终可以求得图中三个互相正交的圆环电流公共中心处的磁感应强度大小为 $B =$ _____。



9. 直流电路如图所示，各支路电流方向已在图中设定，据此，节点电流方程为_____，左侧小回路电压方程为_____。



10. 用钠黄光 ($\lambda = 589.3 \text{ nm}$) 观察迈克尔孙干涉仪的等倾圆条纹，开始时中心为亮斑。移动干涉仪一臂的平面镜，观察到共有 10 个亮环缩进中央，视场中心仍为亮斑，平面镜移动的距离为_____ nm。若开始时中心亮斑的干涉级次为 K ，则最后中心亮斑的干涉级次为_____。

11. 两块理想的偏振片 P_1 和 P_2 平行放置，光强为 I_0 的自然光正入射到 P_1 ，从 P_1 出射的光束光强为_____。若此光束再经 P_2 后被完全消光，则 P_1 透光轴与 P_2 透光轴之间的夹角为_____。

12. 对太阳光谱的强度分析，确认太阳辐射本领的峰值在 465 nm 处。将太阳处理为黑体，可知太阳表面温度为_____ K，单位面积上辐射功率为_____ W/m^2 。
(斯忒藩—玻耳兹曼常数 $\sigma = 5.670 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4)$ ，维恩常数 $b = 2.898 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$)

13. 静长 l_0 的飞船以恒定速度 \vec{v} 相对某惯性系 S 高速运动，如图所示。从火箭头部 A 发出一光讯号，飞船上观察者认为需经时间 $t' =$ _____ 到达尾部 B；S 系中的观察者认为需经时间 $t =$ _____ 到达尾部 B。



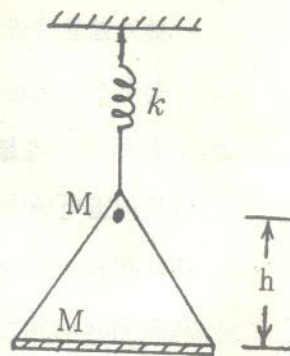
S系

二. 计算题 (5 小题, 共 53 分)

14. (13 分) 如图所示, 劲度系数为 k 的轻弹簧竖直悬挂着, 它的下端连结质量为 M 的平板, 平板上方 h 处有一质量也为 M 的小物块。今使系统从弹簧处于自由长度状态, 平板和小物块静止开始释放, 当平板降落到受力平衡位置时, 小物块恰好追上平板并与其粘连。试求: (1) h ;

(2) 小物块与平板粘连后的瞬间向下运动的速度 u ;

(3) 小物块与平板粘连后形成的振动的振幅 A 。



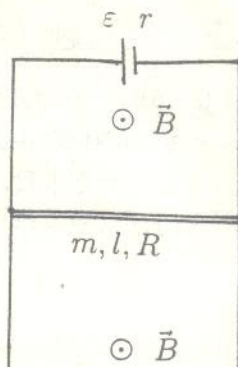
15. (12分) 某单原子理想气体经历的一准静态过程中, 压强 p 与温度 T 成反比例关系。

(1) 试求此过程中该气体的摩尔热容量 C ;

(2) 设过程中某一状态的压强为 p_0 , 体积为 V_0 , 试求在体积从 V_0 增到 $2V_0$ 的一般过程中气体对外做功量 W 。

密封线内不要答题

16. (10分) 两根电阻可略, 平行放置的竖直固定金属长导轨相距 l , 上端与电动势为 ε 、内阻为 r 的直流电源连接, 电源正、负极位置如图所示。另有一根质量 m 、长 l 、电阻 R 的匀质导体棒, 两端约束在两导轨上, 可无摩擦地上下滑动。设空间有与导轨平面垂直的水平匀强磁场 \vec{B} , 方向已在图中示出, 将导体棒静止释放, 试求导体棒朝下运动过程中的最大加速度 a_{\max} 和最大速度 v_{\max} 。

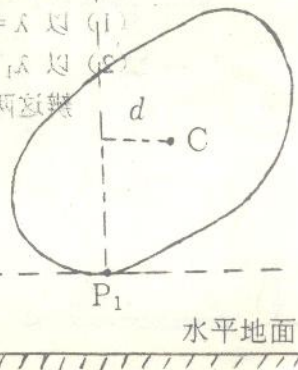


17. (9分) 某光栅的光栅常数 $d = 10^{-3}$ cm, 每个透光缝的宽度 $a = d/3$ 。

(1) 以 $\lambda = 600$ nm 单色平行光正入射, 通过光栅后, 最多能观察到多少条谱线?

(2) 以 $\lambda_1 = 589$ nm 和 $\lambda_2 = 589.59$ nm 复合平行光正入射, 通过光栅后, 恰能分辨这两个波长的二级谱线, 试问此光栅有多少条刻缝?

18. (9分) 如图所示, 表面几何光滑的刚体无转动地竖直自由下落, 图中水平虚线对应过刚体唯一的最低点部位 P_1 的水平切平面, 图中竖直虚线 P_1P_2 对应过 P_1 点的铅垂线, 图中 C 为刚体质心。设 C 与铅垂线 P_1P_2 确定的竖直平面即为图平面, 将 C 到 P_1P_2 的距离记为 d , 刚体质量记为 m , 刚体相对于过 C 且与图平面垂直的水平转轴的转动惯量记为 I_C , 设有 $I_C > md^2$, 已知刚体与水平地面将发生的碰撞是弹性的, 且无水平摩擦力, 试在刚体中找出这样的点部位, 它们在刚体与地面碰撞前、后的两个瞬间, 速度方向相反, 大小不变。



三、实验题

型位置效科平, 翻可照中財西 (代 01) .01

19. (6分) 在给定倾斜度的气轨上测定滑块自静止位置A下滑至另一位置P的瞬时速度。给出的仪器用具有: 气轨, 一个光电门 (配有光电计时器), 五个宽度不同的U型挡光片, 一把卡尺。(1) 请写出测量用的原理公式。(2) 简述测量方法。(3) 简述数据处理方法 (只需给出一种)。

密封线内不要答题

20. (4分) 给定一个普通示波器, 在没有外加信号的情况下, 要在屏幕上调出一条扫描线, 应该调整哪些功能旋钮?

21. (5分) 用迈克尔孙干涉仪可以测定大气的折射率。做法是: 将一个小气室 (气室内压强为一个大气压P) 插入干涉仪动镜的一臂中, 通过改变 (增大或减小) 气室的空气密度, 导致干涉条纹 (非定域干涉圆条纹) 变化 (即“吐出”或“吞进”), 数出圆条纹的变化 (“吐”或“吞”) 数目, 代入公式

$$n = 1 + \frac{N\lambda}{2D} \cdot \frac{P}{|\Delta P|}$$

即可得到折射率n, 其中n为折射率, N为圆条纹“吐出”或“吞进”的数目, D为小气室厚度, λ 为光源波长, P为大气压强, ΔP 为气室内气压的改变量。问题: 本实验系统的光源为激光器, 能否换成白炽灯? 请简述原因。

第十九届北京市非物理类专业大学生物理竞赛试题

参考答案与评分标准

一、填空题

共13题，每题2空，每空2分，共52分。

1. $\frac{k l}{(m_1 + m_2)}$, $\frac{\sqrt{k m_2} l}{(m_1 + m_2)}$;

2. $\frac{1}{3} m l^2$, $2\pi \sqrt{\frac{2l}{3g}}$;

3. 1063, 1059;

4. $p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h = \text{常量}$, $\sqrt{2gH}$;

5. 开尔文表述：不可能从单一热源吸收热量使之完全转化为有用功而不产生其他影响；

克劳修斯表述：不可能使热量从低温物体自发地传递到高温物体而不产生其他影响。

6. $S = k \ln W$, $S_B \geq S_A$;

7. 0, $\frac{q Q}{4\pi\epsilon_0 R}$;

8. $\frac{\mu_0 I d \vec{l} \times \vec{r}}{4\pi r^3}$, $\frac{\sqrt{3}\mu_0 I}{2R}$;

9. $I_1 + I_2 + I_3 = 0$, $I_1 R_1 - I_2 R_2 - \epsilon_1 + \epsilon_2 = 0$;

10. $\frac{I_0}{2}$, $\frac{\pi}{2}$ (或 90°); $k = -10$

12. 6232, 8.552×10^7 ;

13. $\frac{l_0}{c}$, $\sqrt{\frac{c-v}{c+v}} \left(\frac{l_0}{c}\right)$;

二、计算题

14. (13分) 解: (1) 设 Δl 为粘连前平板下降的高度, 则由平衡条件知

$$\Delta l = \frac{Mg}{k} \quad (1分)$$

振动的角频率和周期分别为

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{M}}, \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{M}{k}}$$

则平板由原弹簧处于自由长度到达到静止的下降时间为

$$t = \frac{T}{4} = \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{M}{k}} \quad (2分)$$

小物块在此时间内下降高度为

$$h + \Delta l = \frac{1}{2}gt^2 \quad (1分)$$

于是, 可解得

$$h = \left(\frac{\pi^2}{8} - 1\right)\frac{M}{k}g \quad (2分)$$

(2) 粘连前平板和小物块末速度分别为

$$v(\text{板}) = \omega\Delta l = \sqrt{\frac{M}{k}}g \quad (1分)$$

$$v(\text{物}) = gt = \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{M}{k}}g \quad (1分)$$

粘连后瞬间两者下落速度为

$$u = \frac{1}{2}[v(\text{板}) + v(\text{物})] = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{\pi}{2}\right)\sqrt{\frac{M}{k}}g \quad (1分)$$

(3) 粘连后, 系统力平衡位置下移

$$\Delta l' = Mg/k$$

以此下移位置为原点建立竖直向下的 y 坐标, 再将粘连时刻记为 $t = 0$, 便有初始条件

$$t = 0 \text{ 时, } y_0 = -\Delta l', \quad v_0 = u \quad (1分)$$

考虑到新的振动角频率为

$$\omega' = \sqrt{\frac{k}{2M}} \quad (1分)$$

即得新的振动振幅为

$$A = \sqrt{y_0^2 + \frac{v_0^2}{\omega'^2}} = \sqrt{1 + \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\pi}{2}\right)^2 \frac{M}{k}} g \quad (2分)$$

15. (12分) 解: (1) 依题意, 过程方程可以表述为

$$p = \frac{\alpha}{T} \quad (1分)$$

其中 α 为常量。将此过程方程与状态方程

$$pV = \nu RT$$

联立, 消去 p , 可得该过程中 V 与 T 的关系为

$$V = \frac{\nu}{\alpha} RT^2 \quad (2分)$$

由热力学第一定律和能均分定理知, 该系统经历的任一元过程中的吸热量为

$$\delta Q = pdV + dU = pdV + \frac{3}{2}\nu RdT \quad (1分)$$

将

$$dV = 2\frac{\nu}{\alpha} RTdT$$

代入, 则得

$$\delta Q = \frac{7}{2}\nu RdT \quad (2分)$$

所以, 该过程中的摩尔热容量为

$$C = \frac{\delta Q}{\nu dT} = \frac{7}{2}R \quad (1分)$$

(2) 由上述讨论知, 在一个元过程中系统对外界做功为

$$\delta W' = pdV = 2\nu RdT$$

设体积为 V_0 时对应温度为 T_0 , 那么由前面得到的过程方程可得, 体积为 $2V_0$ 时对应的温度为

$$T = \sqrt{2}T_0 \quad (1分)$$

于是, 体积从 V_0 增大到 $2V_0$ 的过程中气体对外界做功为

$$W' = 2\nu R(T - T_0) = 2(\sqrt{2} - 1)\nu RT_0 \quad (3分)$$

又因为

$$p_0 V_0 = \nu RT_0$$

所以

$$W' = 2(\sqrt{2} - 1)p_0 V_0. \quad (1分)$$

16. (10分) 解: 依题意, 由欧姆定律知, 开始时导体棒中电流从左到右, 大小为

$$I = \frac{\varepsilon}{(R+r)},$$

在磁场中受竖直向下的安培力

$$F = IBl.$$

那么, 导体棒获得的向下加速度最大值为

$$a_{max} = \frac{F}{m} + g = \frac{\varepsilon Bl}{m(R+r)} + g. \quad (3分)$$

导体棒向下加速后, 某时刻速度记为 v , 对应有感应电动势

$$\varepsilon_i = Blv,$$

方向与电源电动势相反。当 v 足够大时, $\varepsilon_i > \varepsilon$, 导体棒中电流反向, 即从右到左, 大小为

$$I' = \frac{\varepsilon_i - \varepsilon}{R+r} = \frac{Blv - \varepsilon}{R+r}, \quad (2分)$$

其受磁场竖直向上的安培力为

$$F' = I'Bl = \frac{Blv - \varepsilon}{R+r}Bl \quad (2分)$$

当 F' 值等于 mg 时, 导体棒停止向下加速, 力达到平衡, 速度达到最大, 即有

$$\frac{Blv_{max} - \varepsilon}{R+r}Bl = mg \quad (1分)$$

于是可解得

$$v_{max} = \frac{mg(R+r)}{B^2l^2} + \frac{\varepsilon}{Bl}. \quad (2分)$$

17. (9分) 解: (1) 根据光栅方程

$$d \sin \theta = K\lambda \quad (2\text{分})$$

得

$$K_{max} = \frac{d}{\lambda} = 16.7$$

取整, 得

$$K_{max} = 16. \quad (1\text{分})$$

考虑到 $K = \pm 3, \pm 6, \dots, \pm 15$ 缺级, 则知最多能观察到的谱线条数为

$$33 - 10 = 23. \quad (2\text{分})$$

(2) 依题意, 此光栅二级谱线的分辨本领为

$$R_2 = \frac{\bar{\lambda}}{\delta\lambda} = \frac{589.3}{0.59} \approx 1000, \quad (2\text{分})$$

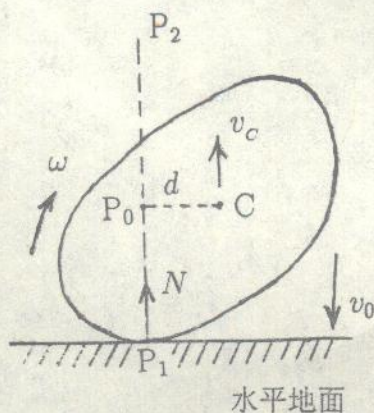
由 K 级谱线分辨本领与光栅刻缝数 N 的关系

$$R_K = KN$$

得

$$N = \frac{R_2}{2} = 500 \quad (2\text{分})$$

18. (9分) 解: 设刚体落地时速度大小为 v_0 , 与地面碰撞过程中竖直方向平均作用力大小记为 \bar{N} , 作用时间记为 Δt , 碰后刚体质心获得的竖直向上的速度的大小记为 v_c , 刚体绕过 C 垂直于纸面所示平面的轴 (记为 C 轴) 转动的角速度记为 ω , 如图所示, 则有



$$\bar{N}\Delta t = m(v_0 + v_c) \quad (1\text{分})$$

$$(\bar{N}\Delta t)d = I_C\omega \quad (1\text{分})$$

$$\frac{1}{2}mv_c^2 + \frac{1}{2}I_C\omega^2 = \frac{1}{2}mv_0^2 \quad (1\text{分})$$

解之则得

$$v_C = \frac{I_C - md^2}{I_C + md^2} v_0, \quad \omega = \frac{2md}{I_C + md^2} v_0 \quad (2分)$$

记质心C到竖直线 P_1P_2 的垂足为 P_0 ，则由上述讨论知， P_0 点及过 P_0 点且与图平面垂直的水平直线上各点的反弹速度方向竖直向上，大小为

$$v = v_C + \omega d = v_0. \quad (2分)$$

所以，刚体中过垂足 P_0 点且与图平面垂直的水平直线上所有各点都是满足题目要求的点。 (2分)

(很容易看出，刚体中其他部位的点都不能满足题目要求。学生答卷中有无这方面论述，均不另外给分、扣分)

三、实验题

19. (6分)

(1) 测量用的原理公式为： $V = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t}$ ，其中 V 为瞬时速度， ΔS 为挡光片挡光距离， Δt 为 ΔS 经过光电门所需时间。 (1分)

(2) 测量方法如下： (3分)

(i) 将光电门放在P位置。

(ii) 任取一个挡光片安装在滑块上，并将挡光片的第一个挡光边置于A位置，使滑块下滑，经过P位置。

记录下这一挡光片的挡光时间 Δt 。

(iii) 依次换上不同厚度（由卡尺测定）的挡光片，分别记录五个挡光片经过P位置的挡光时间 $\Delta t_i (i = 1, 2, 3, 4, 5)$ 。

(iv) 对每一个 Δt_i 进行多次测量。

(3) 数据处理方法如下：

方法(1)、用作图法处理：

用实测数据作 $V - \Delta t$ 图，是一条直线，将所得直线外延，取 $\Delta t \rightarrow 0$ ，对应的 V 即为待测的瞬时速度。

或：用实测数据作 $V - \Delta S$ 图（近似是一条直线），将所得直线外延，取 $\Delta S \rightarrow 0$ ，对应的 V 即为待测的瞬时速度。

方法(2)、用最小二乘法对 $V - \Delta t$ 数据作线性拟合，截距即所求结果。

(对上述两种方法任取其一，即得2分)。

20. (4分) 答：应调整下述四个功能旋钮 (每答对一个得1分)

- (1) 辉度 (intensity) ;
- (2) 水平位移($\leftarrow \rightarrow$ Position);
- (3) 竖直位移(\updownarrow Position);
- (4) “扫描方式”中“自动” (Scan Mode “Auto”)

21. (5分) 答：(1) 不能 (2分)

(2) 原因主要有以下两个：

- (i) 白光波长不单值； (2分)
- (ii) 白光干涉条纹少。 (1分)