

说明：

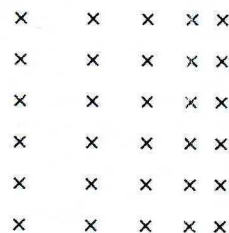
填空（问答）题的答案填在题中的横线上。

计算题的解答应写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤。只写出最后结果的不能得分。有数值计算的，答案中必须明确写出数值和单位。

| 得分 | 阅卷 | 复核 |
|----|----|----|
|    |    |    |

### 一、填空（问答）题（每题 5 分，共 25 分）

1. 有人设想了一种静电场：电场的方向都垂直于纸面并指向纸里，电场强度的大小自左向右逐渐增大，如图所示。这种分布的静电场是否可能存在？试述理由。



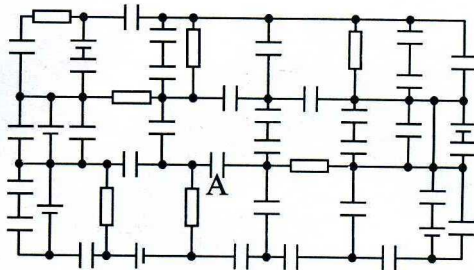
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

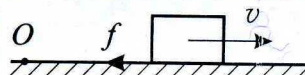
2. 海尔-波普彗星轨道是长轴非常大的椭圆，近日点到太阳中心的距离为 0.914 天文单位（1 天文单位等于地日间的平均距离），则其近日点速率的上限与地球公转（轨道可视为圆周）速率之比约为（保留 2 位有效数字）\_\_\_\_\_。

3. 用测电笔接触市电相线，即使赤脚站在地上也不会触电，原因是\_\_\_\_\_；另一方面，即使穿绝缘性能良好的电工鞋操作，测电笔仍会发亮。原因是\_\_\_\_\_。

4. 在图示的复杂网络中，所有电源的电动势均为  $E_0$ ，所有电阻器的阻值均为  $R_0$ ，所有电容器的电容均为  $C_0$ ，则图示电容器 A 极板上的电荷量为\_\_\_\_\_。



5. 如图，给静止在水平粗糙地面上的木块一初速度，使之开始运动。一学生利用角动量定理来考察此木块以后的运动过程：“把参考点设于如图所示的地面上一点  $O$ ，此时摩擦力  $f$  的力矩为 0，从而木块的角动量将守恒，这样木块将不减速而作匀速运动。”请指出上述推理的错误，并给出正确的解释：



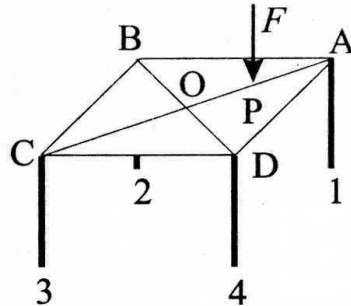
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

| 得分 | 阅卷 | 复核 |
|----|----|----|
|    |    |    |

二、(20 分) 图示正方形轻质刚性水平桌面由四条完全相同的轻质细桌腿 1、2、3、4 支撑于桌角 A、B、C、D 处，桌腿



腿竖直立在水平粗糙刚性地面上. 已知桌腿受力后将产生弹性微小形变. 现于桌面中心点 O 至角 A 的连线 OA 上某点 P 施加一竖直向下的力  $F$ , 令  $\frac{OP}{OA} = c$ , 求桌面对桌腿

1 的压力  $F_1$ .

| 得分 | 阅卷 | 复核 |
|----|----|----|
|    |    |    |

三、(15 分)

1. 一质量为  $m$  的小球与一劲度系数为  $k$  的弹簧相连组成一体系, 置于光滑水平桌面上, 弹簧的另一端与固定墙面相连, 小球做一维自由振动. 试问在一沿此弹簧长度方向以速度  $u$  作匀速运动的参考系里观察, 此体系的机械能是否守恒, 并说明理由.

---



---



---

2. 若不考虑太阳和其他星体的作用, 则地球 - 月球系统可看成孤立系统. 若把地球和月球都看作是质量均匀分布的球体, 它们的质量分别为  $M$  和  $m$ , 月心 - 地心间的距离为  $R$ , 万有引力恒量为  $G$ . 学生甲以地心为参考系, 利用牛顿第二定律和万有引力定律, 得到月球相对地心参考系的加速度为  $a_m = G \frac{M}{R^2}$ ; 学生乙以月心为参考系, 同样利用牛

顿第二定律和万有引力定律, 得到地球相对月心参考系的加速度为  $a_e = G \frac{m}{R^2}$ . 这二位学生求出的地 - 月间的相对加速度明显矛盾, 请指出其中的错误, 并分别以地心参考系 (以地心速度作平动的参考系) 和月心参考系 (以月心速度作平动的参考系) 求出正确结果.

| 得分 | 阅卷 | 复核 |
|----|----|----|
|    |    |    |

四、(20 分) 火箭通过高速喷射燃气产生推力. 设温度  $T_1$ 、压强  $p_1$  的炽热高压气体在燃烧室内源源不断生成, 并通过管道由狭窄的喷气口排入气压  $p_2$  的环境. 假设燃气可视为理想气体, 其摩尔质量为  $\mu$ , 每摩尔燃气的内能为  $u = c_v T$  ( $c_v$  是常量,  $T$  为燃气的绝对温度). 在快速流动过程中, 对管道内任意处的两个非常靠近的横截面间的气体, 可以认为它与周围没有热交换, 但其内部则达到平衡状态, 且有均匀的压强  $p$ 、温度  $T$  和密度  $\rho$ , 它们的数值随着流动而不断变化, 并满足绝热方程  $pV^{\frac{c_v+R}{c_v}} = C$  (恒量), 式中  $R$  为普适气体常量. 求喷气口处气体的温度与相对火箭的喷射速率.

| 得分 | 阅卷 | 复核 |
|----|----|----|
|    |    |    |

五、(20 分) 内半径为  $R$  的直立圆柱器皿内盛水银，绕圆柱轴线匀速旋转（水银不溢，皿底不露），稳定后的液面为旋转抛物面。若取坐标原点在抛物面的最低点，纵坐标轴  $z$  与圆柱器皿的轴线重合，横坐标轴  $r$  与  $z$  轴垂直，则液面的方程为  $z = \frac{\omega^2}{2g} r^2$ ，式中  $\omega$  为旋转角

速度， $g$  为重力加速度（当代已使用大面积的此类旋转水银液面作反射式天文望远镜）。

观察者的眼睛位于抛物面最低点正上方某处，保持位置不变。然后使容器停转，待液面静止后，发现与稳定旋转时相比，看到的眼睛的像的大小、正倒都无变化。求人眼位置至稳定旋转水银面最低点的距离。



| 得分 | 阅卷 | 复核 |
|----|----|----|
|    |    |    |

六、(20 分) 两惯性系  $S'$  与  $S$  初始时刻完全重合, 前者相对后者沿  $x$  轴正向以速度  $v$  高速运动. 作为光源的自由质点静止于  $S'$  系中, 以恒定功率  $P$  向四周辐射 (各向同性) 光子. 在  $S$  系中观察, 辐射偏向于光源前部 (即所谓的前灯效应).

1. 在  $S$  系中观察,  $S'$  系中向前的那一半辐射将集中于光源前部以  $x$  轴为轴线的圆锥内. 求该圆锥的半顶角  $\alpha$ . 已知相对论速度变换关系为

$$u_x = \frac{u'_x + v}{1 + u'_x v / c^2},$$

式中  $u_x$  与  $u'_x$  分别为  $S$  与  $S'$  系中测得的速度  $x$  分量,  $c$  为光速.

2. 求  $S$  系中测得的单位时间内光源辐射的全部光子的总动量与总能量.

| 得分 | 阅卷 | 复核 |
|----|----|----|
|    |    |    |

七、(20 分)

- 设想光子能量为  $E$  的单色光垂直入射到质量为  $M$ 、以速度  $V$  沿光入射方向运动的理想反射镜（无吸收）上，试用光子与镜子碰撞的观点确定反射光的光子能量  $E'$ ，可取以下近似： $\frac{E}{Mc^2} \ll \frac{V}{c} \ll 1$ ，其中  $c$  为光速.

若在上述问题中单色光的强度为  $\Phi$ ，试求反射光的强度  $\Phi'$ （可以近似认为光子撞击镜子后，镜子的速度仍为  $V$ ）。光的强度定义为单位时间内通过垂直于光传播方向单位面积的光子的能量.

| 得分 | 阅卷 | 复核 |
|----|----|----|
|    |    |    |

八、(20 分) 惰性气体分子为单原子分子. 在自由原子情形下, 其电子电荷分布是球对称的. 负电荷中心与原子核重合. 但如两个原子接近, 则彼此能因静电作用产生极化 (正负电荷中心不重合), 从而导致有相互作用力. 这称为范德瓦尔斯相互作用. 下面我们采用一种

简化模型来研究此问题.

当负电中心与原子核不重合时, 若以  $x$  表示负电中心相对正电荷 (原子核) 的位移, 当  $x$  为正时, 负电中心在正电荷的右侧, 当  $x$  为负时, 负电中心在正电荷的左侧, 如图 1 所示. 这时, 原子核的正电荷对核外负电荷的作用力  $f$  相当于一个劲度系数为  $k$  的弹簧的弹性力, 即  $f = -kx$ , 力的方向指向原子核, 核外负电荷的质量全部集中在负电中心, 此原子可用一弹簧振子来模拟.

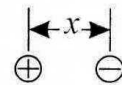


图 1

今有两个相同的惰性气体原子, 它们的原子核固定, 相距为  $R$ , 原子核正电荷的电荷量为  $q$ , 核外负电荷的质量为  $m$ . 因原子间的静电相互作用, 负电中心相对各自原子核的位移分别为  $x_1$  和  $x_2$ ,

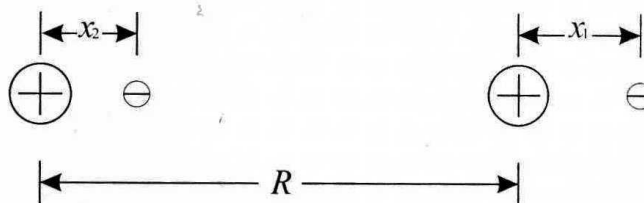


图 2

且  $|x_1|$  和  $|x_2|$  都远小于  $R$ , 如图 2 所示. 此时每个原子的负电荷除受到自己核的正电荷作用外, 还受到另一原子的正、负电荷的作用.

众所周知, 孤立谐振子的能量  $E = mv^2/2 + kx^2/2$  是守恒的, 式中  $v$  为质量  $m$  的振子运动的速度,  $x$  为振子相对平衡位置的位移. 量子力学证明, 在绝对零度时, 谐振子的能量为  $\hbar\omega/2$ , 称为零点振动能,  $\hbar = h/2\pi$ ,  $h$  为普朗克常量,  $\omega = \sqrt{k/m}$  为振子的固有角频率. 试计算在绝对零度时上述两个有范德瓦尔斯相互作用的惰性气体原子构成的体系的能量, 与两个相距足够远的 (可视为孤立的、没有范德瓦尔斯相互作用的) 惰性气体原子的能量差, 并从结果判定范德瓦尔斯相互作用是吸引还是排斥. 可利用当  $|x| \ll 1$  时的近似式  $(1+x)^{1/2} \approx 1+x/2 - x^2/8$ ,  $(1+x)^{-1} \approx 1-x+x^2$ .