

# 清华大学本科生考试试题专用纸 (A卷)

考试课程： 基础物理学 (1)      2022 年 6 月 22 日

姓名：                  学号：                  班级：

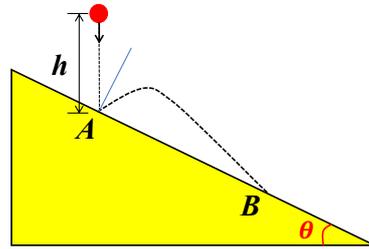
我承诺： 以下答题完全是本人独立完成的， 如有违反规定的行为，  
将按规定接受处罚。

承诺人：                  日期：

## 一、选择题 (共 20 分)

### 1. (本题 2 分)

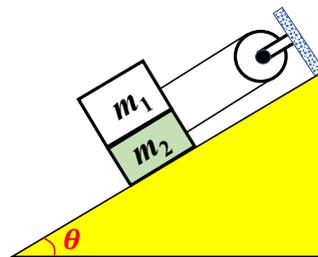
如图所示，一弹性小球静止自由落体下落距离  $h$  到一固定斜坡面上的  $A$  处。已知斜坡的角度为  $\theta = 30^\circ$ 。若弹性小球与斜面碰撞前后的速度大小相等，入射角等于反射角，且坡面足够长，则该小球第二次落到斜坡面  $B$  处时， $AB$  两点的距离为



- (A)  $h$ 。      (B)  $2h$ 。      (C)  $3h$ 。      (D)  $4h$ 。

### 2. (本题 2 分)

如图所示，一条不可伸长的轻质绳子经过一轻质光滑滑轮与两个物块  $m_1$  和  $m_2$  相连。已知  $m_1 > m_2$ ，两物块之间以及  $m_2$  与固定斜面之间的摩擦系数均为  $\mu$ 。改变斜面的倾角  $\theta$ ，当它满足以下哪一个条件时，物块  $m_1$  和  $m_2$  开始有相对运动？



- (A)  $\tan\theta > \frac{3m_1+m_2}{m_1-m_2}\mu$ 。      (B)  $\tan\theta > \frac{3m_1-m_2}{m_1-m_2}\mu$ 。  
(C)  $\tan\theta > \frac{3m_1-m_2}{m_1+m_2}\mu$ 。      (D)  $\tan\theta > \frac{3m_2+m_1}{m_2-m_1}\mu$ 。

### 3. (本题 2 分)

光滑水平面上有一质量为  $m$  的粒子，以速率  $v$  自左向右运动，与一质量为  $2m$  的静止粒子碰撞。若碰后该入射粒子偏转  $45^\circ$ ，以速率  $v/2$  飞离，则质量为  $2m$  的粒子碰后的速率为

- (A)  $\frac{v}{2}\sqrt{5-2\sqrt{2}}$ 。      (B)  $\frac{v}{4}\sqrt{5-2\sqrt{2}}$ 。  
(C)  $\frac{v}{2}\sqrt{5-\sqrt{2}}$ 。      (D)  $\frac{v}{4}\sqrt{5-\sqrt{2}}$ 。

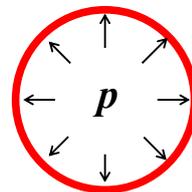
### 4. (本题 2 分)

对于一个边长均为  $l$ ，质量为  $3m$  的等边三角架，过它的任意一个顶点，且与架平面垂直的轴的转动惯量为

- (A)  $\frac{3}{5}ml^2$ 。      (B)  $\frac{5}{3}ml^2$ 。  
(C)  $\frac{2}{3}ml^2$ 。      (D)  $\frac{3}{2}ml^2$ 。

### 5. (本题 2 分)

如图所示，一个直径为  $D$ ，壁厚为  $d$  的球形压力容器中心横截面图。令球内气体的压强为  $p$ ，已知  $D \gg d$ ，应力在壁内均匀分布，则壁内的正应力为



- (A)  $p\pi D^2$ 。      (B)  $\frac{p\pi D^2}{4}$ 。      (C)  $\frac{Dp}{2d}$ 。      (D)  $\frac{Dp}{4d}$ 。

### 6. (本题 2 分)

设有两个简谐振动  $x_1 = A\cos(\omega t + \pi/4)$ ， $x_2 = \sqrt{3}A\cos(\omega t + 3\pi/4)$ ，若它们的振动是同方向、同频率的，则两者合振动的振幅和初相位为

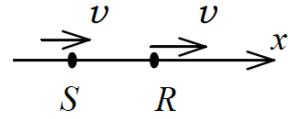
- (A)  $2A, 7\pi/12$ 。      (B)  $(1 + \sqrt{3})A, 7\pi/12$ 。  
(C)  $2A, \pi$ 。      (D)  $(1 + \sqrt{3})A, \pi$ 。

### 7. (本题 2 分)

如图所示，声源  $S$  和接收器  $R$  均沿  $x$  方向运动，已知两者相对于媒质的运动速率均为  $v$ 。设声波在媒质中的传播速度为  $u$ ，声源振动频率为  $f_s$ ，则接

收器测得的频率  $f_R$  为

- (A)  $\frac{u+v}{u-v} f_S$                       (B)  $\frac{u-v}{u+v} f_S$   
 (C)  $\frac{u+v}{u} f_S$                       (D)  $\frac{u-v}{u} f_S$   
 (E)  $f_S$



8. (本题 2 分)

如果一高速运动粒子的相对论性动量是其按非相对论定义计算时的两倍，则该粒子的速率为

- (A)  $v = \frac{c}{2}$                       (B)  $v = \frac{c}{\sqrt{2}}$                       (C)  $\frac{\sqrt{3}}{2} c$                       (D)  $\frac{c}{\sqrt{3}}$

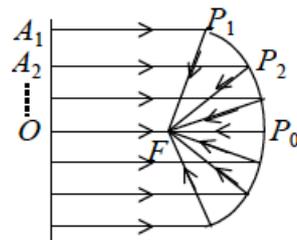
9. (本题 2 分)

一有外包皮的光导，内芯与外皮套的折射率分别为  $n_1$  和  $n_2$ ，且  $n_1 > n_2$ 。若从光导一端外的空气入射到光导内（入射角为  $\theta$ ），则能使光线在光导内发生全反射的最大入射角（或孔径角）满足

- (A)  $\sin\theta_{\max} = \sqrt{\frac{n_1^2}{n_2^2} - 1}$                       (B)  $\sin\theta_{\max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$   
 (C)  $\sin\theta_{\max} = \sqrt{1 - \frac{n_2^2}{n_1^2}}$                       (D)  $\sin\theta_{\max} = \frac{n_2}{n_1}$

10. (本题 2 分)

一束平行于光轴的光线，入射到抛物面镜上，反射后会聚于焦点  $F$ ，如图所示。可以断定这些光线的光程之间有如下关系：



- (A)  $[A_1P_1F] > [A_2P_2F] > [OP_0F]$ 。  
 (B)  $[A_1P_1F] = [A_2P_2F] = [OP_0F]$ 。  
 (C)  $[A_1P_1F] < [A_2P_2F] < [OP_0F]$ 。  
 (D)  $[OP_0F]$  最小，但不能确定  $[A_1P_1F]$  和  $[A_2P_2F]$  哪个较小。

二、 填空题 (共 30 分)

11. (本题 3 分)

在一高度为  $h$  的大型水桶底部开一小孔，水可以从该孔流出，若水深可以视为不变，则水从底部小孔流出的流速为\_\_\_\_\_。（令重力加速度为  $g$ ）

12. (本题 3 分)

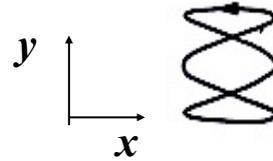
已知两质子间相互作用电势能为  $ke^2/r$ ，质子的质量为  $m$ 。它们从无穷远分别以在实验室系下的速率  $v$  和  $2v$  相互靠近，则在非相对论情形下，两者能达到的最近距离为\_\_\_\_\_。

**13. (本题 3 分)**

已知一质量为  $m$  的质点到一质量为  $M$  的均匀球壳中心之间的直线距离为  $r$ ，则质点在球壳外受到的引力为\_\_\_\_\_，在球壳内为\_\_\_\_\_。

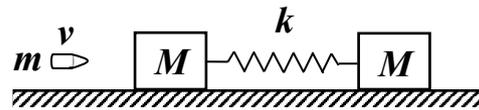
**14. (本题 3 分)**

如图所示，为两个简谐振动合成的李萨如曲线，从这个稳定的封闭轨迹，可以判断这两个振动的频率比  $\omega_x : \omega_y$  为\_\_\_\_\_。



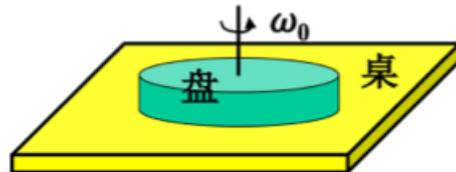
**15. (本题 3 分)**

如图所示，两质量均为  $M$  的木块静止在光滑水平面上，以劲度系数为  $k$  的轻质弹簧相连，弹簧处于自然伸展状态。今有一质量为  $m$  速率为  $v$  的子弹水平入射到第一块木块  $M$  内，则弹簧最大的压缩量为\_\_\_\_\_。



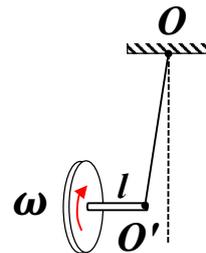
**16. (本题 3 分)**

如图所示，在非光滑的桌子上有一半径为  $R$ ，质量为  $m$  的匀质圆盘转动，两者间的滑动摩擦系数为  $\mu$ 。当圆盘初始以角速度为  $\omega_0$  转动时，它还能转动的时长为\_\_\_\_\_，摩擦力做的功为\_\_\_\_\_。



**17. (本题 3 分)**

如图所示，一质量为  $m$  轮子绕其质心（中心）的转动惯量为  $I_C$ ，角速度为  $\omega$ ，质心到轴端系绳处  $O'$  的距离为  $l$ 。端点  $O'$  与固定点  $O$  之间由绳子相连。若绳子近似垂直，且绳与轴的质量可以忽略不计。该轮子绕过  $O$  点铅垂线的进动角速度  $\Omega$  值为\_\_\_\_\_。



18. (本题 3 分)

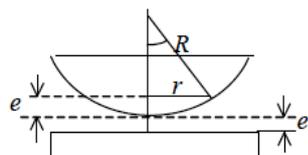
一列高速火车以速度  $u$  驶过车站时，固定在站台上的两只机械手在车厢上同时划出两个痕迹，静止在站台上的观察者同时测出两痕迹之间的距离为  $\Delta x$ ，则车厢上的观察者应测出这两个痕迹之间的距离为\_\_\_\_\_。

19. (本题 3 分)

一发光点以速率  $v_p$  沿着一个半径为  $r$  的球凹面镜中心轴向镜运动。若令  $p$  是发光点在任意时刻离球面镜的距离，则这个点的像运动的速率为\_\_\_\_\_。

20. (本题 3 分)

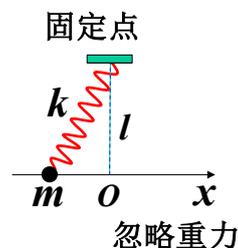
如图所示，牛顿环装置的平凸透镜与平板玻璃有一小缝隙  $e_0$ 。现用波长为  $\lambda$  的单色光垂直照射该装置。若平凸透镜的曲率半径为  $R$ ，牛顿环暗环半径为  $r$ ，额外的缝隙高度  $e$  可以以  $R$  和  $r$  为变量近似表示为\_\_\_\_\_（令  $R \gg r$ ，幂级数展开到一阶），则反射光形成的第  $k$  级牛顿环暗环半径为\_\_\_\_\_。



三、计算证明题 ( 共 50 分)

21. (本题 10 分)

如图所示，一受约束轻质弹簧振子可以沿光滑水平杆做一维微振动。已知振子质量为  $m$ ，弹簧原长为  $l_0$ ，弹性系数为  $k$ ，在中点  $O$  处弹簧的长度为  $l$  且并不在原长的位置。若忽略重力的作用，已知振子振动位移  $x$  的大小远小于弹簧的长度  $l$ ，在  $x/l$  一阶近似下求该振子的振动周期。（提示，可能需要  $x$  的一阶近似幂级数展开式：



$$(1+x)^{\pm\frac{1}{2}} \approx 1 \pm \frac{1}{2}x, \quad |x| \leq 1, \quad )$$

22. (本题 10 分)

有一束粒子流垂直撞击一个竖直放置的巨大物体方块表面。假设束流中每个粒子的质量均为  $m$ ，速率均为  $v$  且都是沿水平方向垂直撞击物体表面。假设粒子数密度（即单位体积内的粒子数）为恒量  $n$ ，且物体壁面足够大，重力的影响也可以忽略，求下列两种情况下的物体方块受撞壁面的压强：

- 1) 粒子碰壁后完全陷入壁面；
- 2) 粒子碰壁后完全反向弹回。

23. (本题 10 分)

证明：一动量为  $\vec{p}$  的正电子  $e^+$  与一静止电子  $e^-$  碰撞而湮灭，末态产生动量分别为  $\vec{k}_1$  和  $\vec{k}_2$  两个光子  $\gamma_1, \gamma_2$  过程（即正负电子湮灭过程  $e^+ + e^- \rightarrow \gamma_1 + \gamma_2$ ）

- 1) 请写出正电子、电子、两个末态光子在闵可夫斯基空间的四维动量（提示，正电子与电子的静止质量完全相同）；
- 2) 试根据能-动量守恒证明两个光子的波长  $\lambda_1, \lambda_2$  之和满足

$$\lambda_1 + \lambda_2 = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos\theta)$$

其中， $h$  为普朗克常量， $m_e$  为电子的静止质量， $\theta$  为两个光子飞行方向的夹角。

### 24. (本题 10 分)

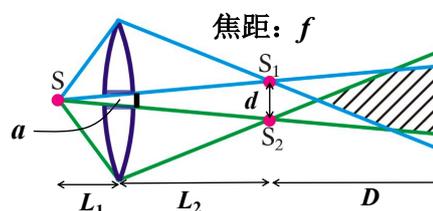
如图所示，一比累剖开透镜干涉装置，透镜焦距为  $f$ ，两半透镜的间隔为  $a$ 。若从点光源  $S$  发出波长为  $\lambda$  的单色光，试证明

- 1) 焦平面上两焦点  $S_1$  和  $S_2$  的间距为

$$d = \frac{aL_1}{L_1 - f};$$

- 2) 在观测屏上的干涉条纹间距为

$$\Delta x = \frac{D\lambda}{aL_1} (L_1 - f)。$$



### 25. (本题 10 分)

如图所示，已知均匀直杆质量为  $m$ ，长为  $d$ ，初始状态为水平静止，轴光滑， $OA$  的长度为  $d/4$ 。求：当杆下摆到  $\theta$  角时，

- 1) 杆转动的角速度，
- 2) 轴对杆作用力。

