

2023年江西省大学生物理创新竞赛

物理知识类考试范围

一、初赛：

- 1、考察范围：参照教育部“大学物理课程教学基本要求”A类要求。覆盖力学、狭义相对论、热学、电学、磁学、振动和波、光学、量子物理等。
- 2、题目类型：选择、填空、计算、问答等；
- 3、总分：150分；
- 4、考试时长：180分钟

二、决赛：

- 1、考察范围：参照教育部“大学物理课程教学基本要求”A类要求。覆盖力学、狭义相对论、热学、电学、磁学、振动和波、光学、量子物理等。
- 2、题目类型：填空题、计算题/问答
- 3、分数分布：
填空题 40 分左右，主要考察学生基本概念的掌握；
计算题/问答 7 道：力学、热学、电学、磁学、振动和波、光学和特色题各 1 题，每题分值 10 分-20 分。
主要考察学生面对实际工程、科研问题的建模能力和应用物理理论解决实际问题的能力。
特色题由当年承办单位与省大学生物理创新竞赛委员会协商确定。
- 4、考试时长：180 分钟。

决赛样卷：

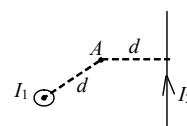
一、填空题（每空 3 分，共 39 分）

1. 一质点从静止出发沿半径 $R=1\text{ m}$ 的圆周运动,其角加速度随时间 t 的变化规律是 $\beta=12t^2-6t$ (SI), 则质点的角速 $\omega =$ _____; 切向加速度 $a_t =$ _____.
2. 一长为 l , 质量可以忽略的直杆, 可绕通过其一端的水平光滑轴在竖直平面内作定轴转动, 在杆的另一端固定着一质量为 m 的小球, 如图所示. 现将杆由水平位置无初转速地释放. 则杆刚被释放时的角加速度 $\beta_0 =$ _____, 杆与水平方向夹角为 60° 时的角加速度 $\beta =$ _____.
3. 有 1 mol 刚性双原子分子理想气体, 在等压膨胀过程中对外做功 W , 则其温度变化 $\Delta T =$ _____; 从外界吸取的热量 $Q_p =$ _____.
4. 已知波源的振动周期为 $4.00 \times 10^{-2}\text{ s}$, 波的传播速度为 300 m/s , 波沿 x 轴正方向传播, 则位于 $x_1 = 10.0\text{ m}$ 和 $x_2 = 16.0\text{ m}$ 的两质点振动相位差为 _____.
5. 惠更斯-菲涅耳原理的基本内容是: 波阵面上各面积元所发出的子波在观察点 P 的 _____, 决定了 P 点的合振动及光强.

6. 一束自然光通过两个偏振片，若两偏振片的偏振化方向间夹角由 α_1 转到 α_2 ，则转动前后透射光强度之比为_____。

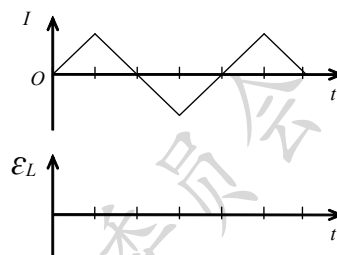
7. 一均匀静电场，电场强度 $\vec{E} = (400\vec{i} + 600\vec{j}) \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$ ，则点 $a(3,2)$ 和点 $b(1,0)$ 之间的电势差 $U_{ab} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。（点的坐标 x,y 以米计）

8. 沿着图示的两条不共面而彼此垂直的无限长的直导线，流过电流强度 $I_1 = 3 \text{ A}$ 和 $I_2 = 4 \text{ A}$ 的电流。在距离两导线皆为 $d = 20 \text{ cm}$ 处的 A 点处磁感强度的大小 $B = \underline{\hspace{2cm}}$ 。



[真空中的磁导率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m/A}$]

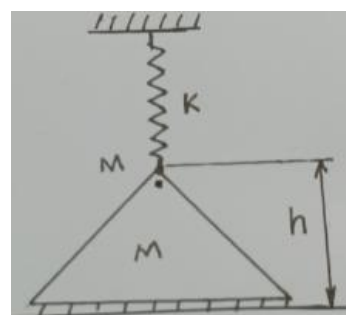
9. 一线圈中通过的电流 I 随时间 t 变化的曲线如图所示。试定性画出自感电动势 ε_L 随时间变化的曲线。（以 I 的正向作为 ε 的正向）



10. π^+ 介子是不稳定的粒子，在它自己的参照系中测得平均寿命是 $2.6 \times 10^{-8} \text{ s}$ ，如果它相对于实验室以 $0.8c$ (c 为真空中光速) 的速率运动，那么实验室坐标系中测得的 π^+ 介子的寿命是 _____ s。

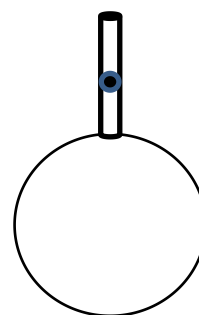
二、计算题（共计 111 分）

11. (20 分) 如图所示，劲度系数为 K 的轻弹簧竖起悬挂着，它的下端连接质量为 M 的平板，平板上方 h 处有质量也为 M 的小球。今使系统从弹簧处于自由长度状态，平板和小球从静止开始释放，当平板落到受力平衡位置时，小物块恰好追到平板并粘住。试求：



- (1) 小物块离平板的高度 h ;
- (2) 小物块与平板粘连后，瞬间向下运动的速度 u ;
- (3) 小物块与平板粘连后，一起振动的振幅 A 。

12. (20 分) 如图烧瓶顶端与直径为 d 的细玻璃管相通，在玻璃管中放有一质量为 m 的钢球，假设钢球与玻璃管间不漏气，且两者间无摩擦，当该钢球静止时封闭气体的体积为 V ，外界大气压强为 P_0 。若在外力作用下小球偏离平衡位置一个较小的位移，则在撤除外力之后，小球将近似作简谐振动（假设振动周期为 T ）。由于钢球的振动过程较快，一般可将气体的压缩与膨胀过程近似看成绝热过程，证明小球的运动是简谐振动，并求气体的比热容比 $\gamma (= C_p/C_v)$ 。



13. (15 分) 静电加速器是通过输电带将喷电针电晕放电的电荷输送到一个绝缘的空心金属电极内，使之充电至高电压用以加速带电粒子。早期的静电加速器中，电击穿现象是妨碍加速电压提高的因

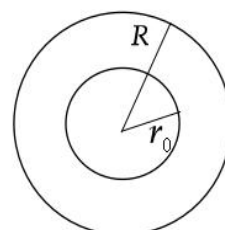


图 (a)

素。如图 (a) 所示的是人们曾采用的一种加速器设计方案的简化模型。把静电加速器安置在一个接地的耐压容器里，并充有绝缘性能良好的相对介电常数为 ϵ_r 的高压气体，以提高静电高压发生器的耐压强度。图中内球面为高压电极，外球面为与内电极同心的钢制容器。

(1) 钢制容器的半径 R 及高压气体的击穿场强 E_0 确定，试计算

高压电极半径 r_0 为何值时，电极上的电压可达最大值。

(2) 在此基础上，为进一步提高加速电压，在高压电极与球形钢制容器间再加另一同心球形电极（半径为 r_1 ，如图 b），称中间电

极。设计时要求该电极上电压与高压电极上电压保持一定比例关系，以使加速电压尽可能达到最高，试确定这一比例系数。

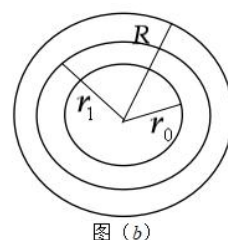
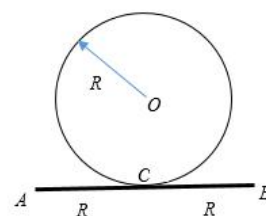


图 (b)

14. (15 分) 如图所示，一无限长水平放置的圆柱面上有一均匀电荷分布。圆柱面半径为 R ，单位长度上电荷为 λ 。现绕其轴线以匀角加速度 α 转动。求：

(1) 空间的感生电场；

(2) 垂直于轴并与圆柱面相切放置一长为 $2R$ 的金属杆 AB ，使切点 C 为金属杆的中点，则杆上的感生电动势。



15. (10 分) 为了探测多普勒效应对音响效果的影响，某学生设计了如图 1 所示的实验装置，图中 A 和 B 是两个相同的扬声器，位置固定不动；由信号源提供音频电压信号 $U = I \sin(2\pi ft)$ 驱动扬声器 A 和 B 振动同时发声；C 为音频压电信号探测器，接收扬声器 A 和 B 的音频压力信号，并分别转化为电压信号后，输送至双踪示波器的输入端 CH1 和 CH2，由双踪示波器显示扬声器 A 和 B 的音频信号到达 C 的振动波形和相位情况。设声波在介质传播的速度为 V ，求：

(1) 如果探测器 C 的位置固定不动，且 A 与 C 之间的距离等于 C 与 B 之间的距离，双踪示波器显示的两个信号波形和相位有什么关系？

(2) 如果探测器 C 沿 AB 直线向 A 以速度 u 运动

动，C 接收到扬声器 A 的信号频率为多少？接收到扬声器 B 的信号频率为多少？

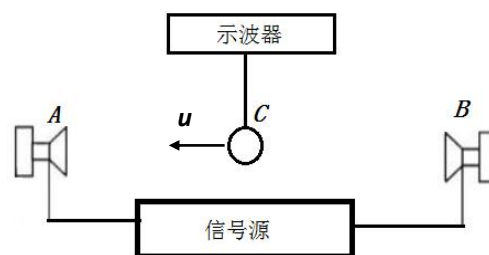


图 1

16. (16 分) 有一学生为了测量金属棒的线膨胀系数， $\alpha = \frac{\Delta H}{H \Delta t}$ 式中 H 为待测金属棒的原长， ΔH 为温度升高 Δt 时金属棒的增长量。制作了如图 (1) 所示的实验装置，其中上玻璃片 A 的一端安置于待测金属棒上，相交于 a，另一端 b 与下玻璃片 B 的 h 粘连在一起，并可以绕 b 与 h 的交线 e 灵活转动；下玻璃片 B 固定在水平平台上，在玻璃片 A 与 B 之间形成空气劈尖。当波长为 λ 的入射光经过劈尖产生干涉形成干涉条纹，如图

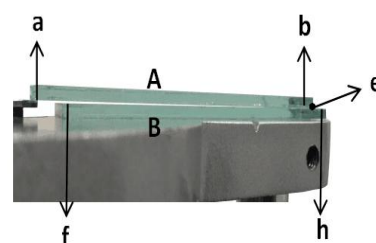


图 (1)

(2) 所示，观察点的水平位置固定在 P 点不动，离交线 e 的水平距离为 d' ，玻璃片 A 在金属棒的 a 端距离交线 e 的水平距离为 d ，如图 (3) 所示，当温度升高 Δt 时，观察点 P 处升高了 Δh ，a 端升高了 ΔH ，测得有 k 条干涉条纹移动通过 P 点。已知 λ 、 d' 、 d 、 Δt 和 k ，求：

(1) 每有一条干涉条纹移动经过 P 点， Δh 升高了多少？如有 k 条干涉条纹移动经过 P 点， Δh 又升高了多少？

(2) 求 ΔH 与 Δh 的数量关系。

(3) 当温度升高 Δt ，求金属棒的线膨胀系数与干涉条纹移动经过 P 点的条数 k 之间的数量关系。

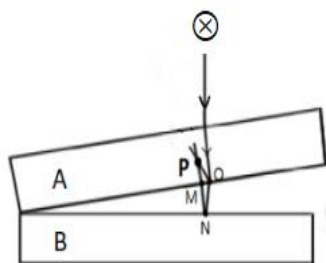


图 (2)

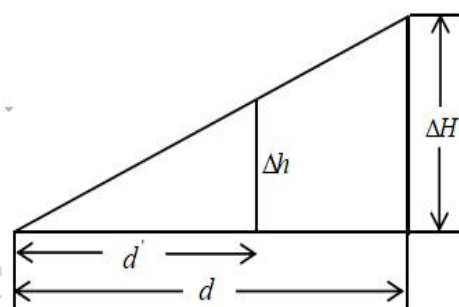


图 (3)

17. (15 分) 瓷器制作初期需要将瓷土矿石碾成粉末，现代常用的机械是球磨机。球磨机的核心部分是一个直径为 2~4 米，长为 3~10 米的横卧圆筒，里面装有一定数量直径为 3~6 厘米的钢球和矿石。当圆筒绕水平轴转到时，钢球被带到一定高度，然后脱离筒壁落下与矿石碰撞而将其击碎，长时间撞击碾磨，可将其碾成粉末。

影响球磨机工作的重要因素是转速。当转速较低时，钢球和矿石被带到一定高度形成向圆筒下部倾斜的堆积状态，如图 1 (a)。如果转速过高，钢球和矿石附着于筒壁与筒一起旋转，如图 1 (c)。这两种情况矿石都不能有效地被击碎，仅仅是挤压研磨。好的碾磨状态是钢球被圆筒带到一定高度后，沿抛物线落下，与矿石产生强烈的撞击，如图 1 (b)。效果最佳的状态是钢球最大提升高度（即最大落差）时，如图 2 所示，此时的角速度为最佳角速度。假设圆筒的半径为 R ，圆筒内只有一个钢球，试求最佳角速度。

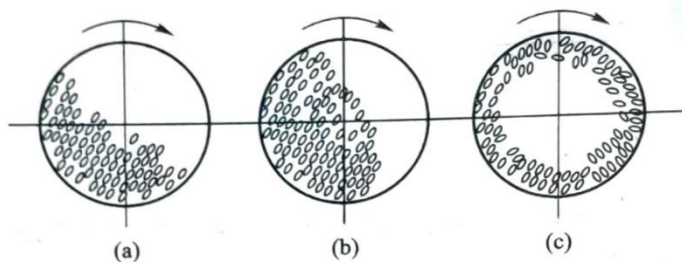


图 1

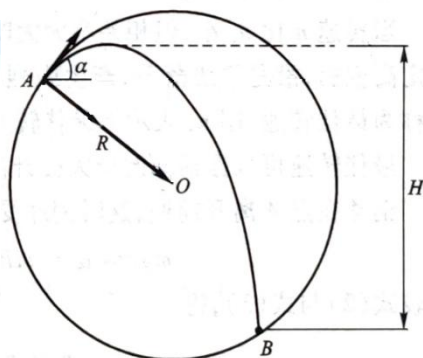


图 2

大学物理课程教学基本要求

一、力 学

1	质点运动的描述、相对运动*
2	牛顿运动定律及其应用、变力作用下的质点动力学基本问题
3	质点与质点系的动量定理和动量守恒定律
4	质心*、质心运动定理*
5	变力的功、动能定理、保守力的功、势能、机械能守恒定律
6	刚体定轴转动定律、转动惯量
7	质点、刚体的角动量、角动量守恒定律

二、振 动 和 波

1	简谐运动的基本特征和表述、振动的相位、旋转矢量法
2	简谐运动的动力学方程
3	简谐运动的能量
4	一维简谐运动的合成、拍现象*
5	机械波的基本特征、平面简谐波波函数
6	波的能量、能流密度
7	惠更斯原理、波的衍射*
8	波的叠加、驻波、相位突变
9	机械波的多普勒效应*

三、热 学

1	平衡态、态参量、热力学第零定律*
2	理想气体状态方程
3	准静态过程、热量和内能
4	热力学第一定律、典型的热力学过程
5	循环过程、卡诺循环、热机效率、致冷系数
6	热力学第二定律、熵和熵增加原理*、玻尔兹曼熵关系式*
7	统计规律、理想气体的压强和温度
8	理想气体的内能、能量按自由度均分定理
9	麦克斯韦速率分布律、三种统计速率
10	气体分子的平均碰撞频率和平均自由程

四、电 磁 学

1	库仑定律、电场强度、电场强度叠加原理及其应用
2	静电场的高斯定理
3	电势、电势叠加原理
4	电场强度和电势的关系、静电场的环路定理
5	导体的静电平衡
6	有电介质存在时的电场*
7	电容
8	磁感应强度：毕奥—萨伐尔定律、磁感应强度叠加原理
9	恒定磁场的高斯定理和安培环路定理
10	安培定律
11	洛伦兹力
12	有磁介质存在时的磁场*
13	恒定电流*、电流密度和电动势*
14	法拉第电磁感应定律
15	动生电动势和感生电动势、涡旋电场
16	自感和互感*
17	电场和磁场的能量
18	位移电流*、全电流环路定律*
19	麦克斯韦方程组的积分形式*
20	电磁波的产生及基本性质*

五、光 学

1	几何光学基本定律*
2	光在平面上的反射和折射*
3	光在球面上的反射和折射*
4	薄透镜*
5	光源、光的相干性
6	光程、光程差的概念
7	分波阵面干涉
8	分振幅干涉
9	惠更斯-菲涅耳原理
10	夫琅禾费单缝衍射
11	光栅衍射
12	光学仪器的分辨本领
13	光的偏振性、马吕斯定律
14	布儒斯特定律

六、狭义相对论力学基础

1	迈克耳孙-莫雷实验*
2	狭义相对论的两个基本假设
3	洛伦兹坐标变换和速度变换
4	同时性的相对性、长度收缩和时间延缓
5	相对论动力学基础*

七、量子物理基础*

1	黑体辐射、光电效应、康普顿散射
2	戴维孙-革末实验、德布罗意的物质波假设
3	波函数及其概率解释
4	不确定关系
5	薛定谔方程
6	一维无限深势阱
7	一维势垒、隧道效应、电子隧道显微镜
8	氢原子的能量和角动量量子化
9	电子自旋：施特恩-盖拉赫实验
10	泡利原理、原子的壳层结构、元素周期表