

OLYMPIC PHYSICS

国际奥林匹克

物理竞赛示范题解



上海交通大学出版社

国际奥林匹克 物理竞赛示范题解

July 11/27/17
例题与解答

W. H. Jarvis 编

宣桂鑫 曹 磊 张治国 译

许国保 校

上海交通大学出版社

OLYMPIC PHYSICS

*Specimen questions and solutions
for the International Physics Olympiad*

W. H. Jarvis, editor

Ribchester 1982.

国际奥林匹克 物理竞赛示范题解 例题与解答

W. H. Jarvis 编

宣桂鑫 曹磊 张治国 译

许国保 校订

上海交通大学出版社出版

新华书店上海发行所发行

常熟文化印刷厂排版 上海颀桥印刷厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 2¹/₂ 字数: 58,800

1984年2月第一版 1984年2月第一次印刷

印数: 1—65000

统一书号: 13324·20 定价: 0.42元

出版说明

国际奥林匹克物理竞赛，是从二十岁以下尚未取得学位的青年学生中选拔物理“尖子”的国际性竞赛活动。每年轮流由一个国家主办，如1982年在西德，1983年在罗马尼亚。各竞赛国在国内预赛的基础上选拔五名选手参加。每次竞赛为期十天，包括五小时的理论考试和五小时的实验考试，东道国同时组织旅游活动，还安排运动会与音乐会等活动，最后一天授奖。

许多物理教师和青年学生对国际奥林匹克物理竞赛极感兴趣，希望了解其程度和内容。现应读者要求，我们翻译出版了这本小册子。国际奥林匹克物理竞赛，每年的试题变化多端，但本书所收的示范性例题与解答，则提供了一般的规范。本书照W. H. Jarvis编的英文本翻译，参照俄文本作了校订。

从本书内容看，国际奥林匹克物理竞赛注重基础理论与实验技能，并要求灵活地运用规律和公式。这对于改进我国重点中学和高等师范院校的物理教学，很有意义。对一般理工科大学低年级的物理教师和学生，也有参考价值。

目 录

示范例题	(1)
示范解答	(15)
示范实验题	(67)

示范例题分类

碰撞	第 10—13、32 题
能量守恒和动量守恒	第 10—12、27、30、32、 40、44、49 题
量纲分析	第 46 题
电和静电	第 1—8、10、14、36、 38、41—43 题
等效系统	第 1—9、43
摩擦	第 15、26、28—30、50 题
分子运动论	第 32 题
磁学	第 31、38、40、41 题
转动惯量	第 18、28、29、45 题
圆周运动	第 11、28、30、33、35、 36、39、50 题
振动	第 14—19 题
反射和折射	第 20—25 题
波动	第 46—48 题

1. 20 个相同的电阻如图 1 连接, 计算 A 点和 B 点之间的阻值 R_{AB} 。

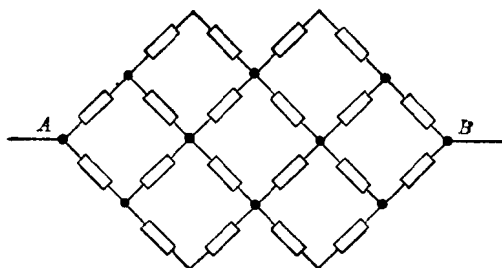


图 1

2. 图 2 是一个具有正方形网格的无限大扁平导线网络。每两个相邻交点间的金属丝的阻值都等于 r , 求把该网络中相邻的 AB 两节点接入电路中时, AB 两点间的阻值 R_{AB} 。

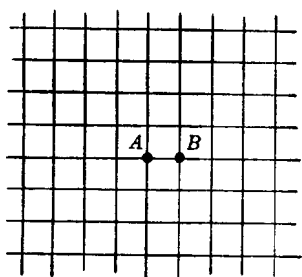


图 2

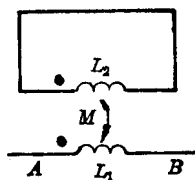


图 3

3. 求图 3 所示电路的等效感抗, 如果当两线圈的绕线方向相反时, 结果是否会改变? 怎样改变? 该系统的互感系数能达到的最大值是多少? 为什么?

4. 图 4(a) 为由电阻 r_1 、 r_2 、 r_3 组成的星形电路(Y), 图 4(b) 为由电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 组成的三角形电路(Δ)。当 r_1 、 r_2 、 r_3 及 R_1 、 R_2 、 R_3 满足什么充要条件时, 两电路才能完全等效? 也就是说这两电路可以在复杂电路中互换, 而不影响图中虚线外电路的电压和电流。

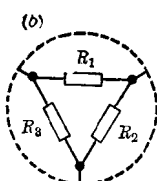
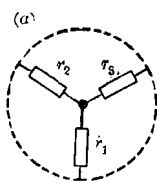


图 4

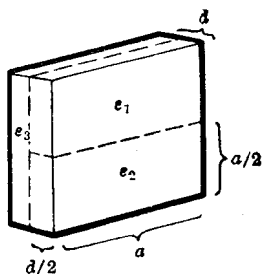


图 5

5. 一平行板电容器的两极板是两个边长为 a 的正方形, 两板之间的距离 $d \ll a$, 板间的介质由三种物质组成(图 5), 求此电容器的电容值。如果板间充有一种均匀的电介质, 该介质的介电常数应为多大, 才能使电容值不变? 如果介电常数为 ϵ_3 的电介质与另两种介质的交界面上有一层导电物质, 电容是否会改变?

6. 一个额定功率为 150 W , 额定工作电压为 15 V 的小型直流电动机, 由一些电动势为 1.5 V , 内阻为 0.45Ω 的电池驱动, 求至少需要多少个这样的电池, 如何联结起来, 才能使电动机按额定值运转?

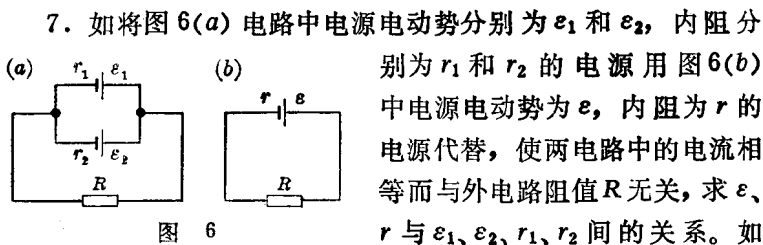


图 6

如果图 6(a) 中的电池不是两个, 而是 n 个, 电动势分别为 $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots$ 内电阻为 $r_1, r_2, \dots$ 则结果如何?

8. 描述图 7 电路中的电流在开关合上的瞬间及其以后的变化情况(电压 ϵ 保持不变)。并证明图中 AB 两点之间的电路类似阻值为 $R^2 = L/C$ 的纯电阻, 而与电压的瞬时变化无关。

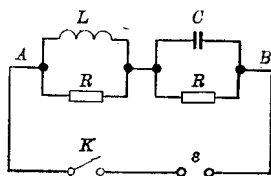


图 7

9. 如图 8 连接的轻质弹簧下端悬挂一个质量为 m 的物体, 弹簧的倔强系数为 k_1 、 k_2 和 k_3 (当弹簧被拉伸一段 x , 所需的力为 $F = kx$)。

当物体偏离平衡位置后, 将以什么方式振动? 振动的周期为多少? (假设位移仅在竖直方向)

10. 两只小球质量分别为 m_1 、 m_2 , 带有相同电量 Q , 相距一段距离。在初始时刻 t_0 , 一只小球以速度 v 向另一只初始静止的小球运动。若两球只受到相互的斥力, 试求经过一段时间后, 就以下两种情况, 求它们之间的最小距离。

(a) $Q = 10^{-6} \text{ C}$, $v = 10 \text{ m/s}$

$m_1 = 1 \text{ g}$, $m_2 = 9 \text{ g}$

(b) $Q = 10^{-6} \text{ C}$, $v = 10 \text{ m/s}$, $m_1 = 9 \text{ g}$, $m_2 = 1 \text{ g}$

试比较这两种结果, 并分析其原因。

(注: $1/4\pi\epsilon_0 = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$)

11. 在一光滑桌面上有一根长度为 $2l$, 质量为 M 的均匀细棒。一质量为 m 的小球在桌面上沿垂直于棒的方向向着棒运动, 球与棒的一端相撞, 碰撞后, 棒的质心获得一定速度, 与此同时, 棒作圆周转动, 旋转半圈后, 其另一端又击中小球。只有当棒和球取一定的质量比 $\mu = M/m (\neq 0)$ 时, 才可发生上述情况, 求这个比值。

试求第二次碰撞后棒的质心和小球的速度。

设棒和球运动时不计摩擦, 碰撞是弹性的, 棒的质心速度方向总是和小球的速度方向平行, 对垂直通过棒中心的轴的转动惯量 $I = Ml^2/3$ 。

12. 在真空中, 一根不计质量、既不导热又不导电的细线下端, 悬挂一个铜球组成一个单摆, 单摆在一个不均匀的磁场中 (如一个永久磁铁磁场) 运动, 摆运动的平面垂直于磁力线, 初始时刻, 摆偏离平衡位置的角度 $\alpha = 60^\circ$, 温度为 20°C , 求摆趋于静止时的温度。

设磁场保持恒定, 摆的长度 $l = 1 \text{ m}$, 铜的比热

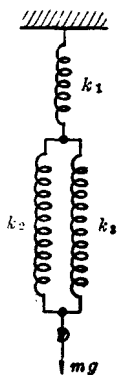


图 8

$$c = 0.386 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

13. 将一砖形木块投向完全弹性的墙, 砖的一面与墙平行, 其速度方向与墙的法线成一 α 角, 木块与墙之间的摩擦系数 $f = \sqrt{3}/6$, 求木块弹回时的角度 β 与入射角 α 之间的关系, 画出 β 作为 α 的函数的曲线。

设仅有摩擦力作用在木块上, 其方向与墙面相切。

14. 如图 9 所示的电路中, 氖泡 N 在所加电压小于起动电压 U_z 时, 起到绝缘体的作用, 当电压超过起动电压 U_z 后, 氖泡成为导体, 使电容器通过它迅速放电, 直至氖泡两端电压下降到其熄灭电压 U_g 时为止, 此后, 氖泡又起到一个绝缘体的作用。

设电容通过氖泡放电的时间短到可以忽略, 同时通过线圈的电流并不改变, 线圈的直流电阻等于零。证明当合上开关 K 后, 仅在 $\varepsilon = 34 \text{ V}$, $U_z = 64 \text{ V}$, $U_g = 22 \text{ V}$, 氖泡点燃一次。

电容器两端的电压最后将有多大变化?

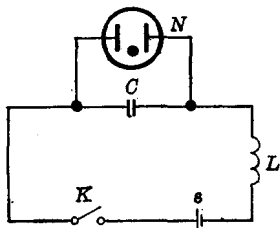


图 9

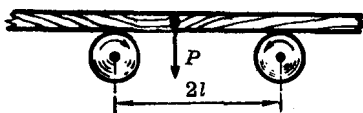


图 10

15. 两个尺度相同、互相平行的圆柱体以相同的速度按图 10 所示的方向转动, 在两个圆柱体上水平地放置一块重量为 P 的匀质平板, 使板的质心位于稍偏两圆柱体轴心距离的中点处, 两圆柱体轴线间的距离为 $2l$, 圆柱与板之间的摩擦系数为 f , 描述板如何运动, 用分析法验证你的回答。

16. 一根细的轻绳在悬挂在其一端的重物作用下被拉伸 $\Delta x_0 = 10 \text{ cm}$, 当物体偏离平衡位置后, 求它在垂直方向上作微小振动的周期。

绳子作用在物体上的力用下式表示:

$$F = -k_1 \Delta x - k_2 \Delta x^3, \quad k_1 = 300 \text{ gmf} \cdot \text{cm}^{-1}$$

$$k_2 = 1 \text{ gmf} \cdot \text{cm}^{-3}.$$

(1 gmf 表示在地球表面质量为 1 g 的物体所受的重力)。

求振动周期与物体质量之间的关系。

17. 在一幢大楼的顶端有一架电梯, 从电梯顶上悬一根长度 $l = 1 \text{ m}$ 的匀质轻绳, 绳的下端悬一质量为 1 kg 的物体, 绳被此物拉伸 $\Delta l = 9.81 \text{ cm}$, 自某时刻起, 电梯开始以 $0.5 g$ 的加速度下降, 在 $t = \pi \text{ s}$ 后, 电梯开始自动刹车, 电梯获 $-0.5 g$ 的减速度, 直至停止, 描述细绳上物体的运动。当电梯停止时, 该物体如何运动? 如果电梯在刹车前的下降时间不是 $\pi \text{ s}$, 情况是否会改变?

18. 一块质量为 M 边长为 a 正方形薄板, 它的一角被竖直悬起, 并在它自己所在平面内振动, 在通过悬点的对角线上的何处 (不包括悬点本身) 拴一质量 m 的小物体而不影响板原来的运动?

板对法向通过质心的轴的转动惯量为 $\frac{1}{6} Ma^2$ 。

19. 一个周期为 0.5 s 的单摆, 置于一小车内, 小车沿斜面驶向一水平面, 斜面的倾角为 45° , 就下列两种情况, 求单摆的振动周期。

(a) 小车在斜面上运动;

(b) 小车在水平面上运动;

不计摩擦力, 摆和车相比质量很小。

20. 一个盛有水银的圆柱形容器, 置于一能以恒定角速度旋转的水平转盘中央, 在旋转一段时间后, 水银面呈现凹面形, 当一束平行光线在圆柱形上方沿转动轴的方向射向水银面时, 证明光线被水银面反射后会聚在一点, 并找出该点位置, 将结果与球面形凹镜的情况相比较。(由于弯月面和表面张力引起的水银面畸变可忽略)。

21. 一曲率半径 $R = 60 \text{ cm}$ 的凹球面镜装有水, 水的折射率 $n = 4/3$ 。假设水的深度比半径 R 小得多, 试求它的焦距。

22. 浸于水下的一发光体，在离鱼缸壁 x 距离处。现有一平凸透镜粘贴于鱼缸的外壁，其焦距为 f 。假设透镜和鱼缸的壁非常薄，水和玻璃的折射率分别为 1.333 和 1.500，物置于透镜的主光轴上。试求象的位置 y 和物的位置 x 之间的关系。若 $x=f$ ，试求象距和横向放大率？如果透镜粘贴于鱼缸的内壁时，情况会不会改变；如果有的，怎样改变？

23. 内半径为 r 和外半径为 R 的玻璃管注满发光液体，该液体在 X 射线的影晌下发射绿光。玻璃对绿光的折射率为 n_1 。试问比值 $\frac{r}{R}$ 满足什么条件时，从管外观察，似乎玻璃管壁的厚度为零？

24. 一折射率大于 1 的均匀透明球体处于折射率为 1 的介质中，球的半径为 r ，两束平行光线相对于焦点对称地投射在球上，其间距离 $d < 2r$ 。

(a) d 和 n 满足什么条件时，光线在球内发散；

(b) d 和 n 满足什么条件时，光线在球外的 $d < 2r$ 处相交；

(c) d 和 n 满足什么条件时，光线不是以单值角的形式在球外发散。

25. 一架飞机将无色液态杀虫剂喷散在大范围的水平原野上，杀虫剂的折射率对可见光谱的红端和紫端两波长的折射率分别为

$$n_r = 1.460 \quad \text{和} \quad n_v = 1.470$$

在液滴到达地面之前，出现了虹。试确定虹的红端和紫端的角直径。试由总可以观察到虹的事实，导出太阳的角高度，假设太阳可作为无限远的点光源。（注意：在虹中，对特定颜色而言，最大的光强发生在光被折射到临界角的情况下。）

26. 一球以某种方式保持在高度为 h 的斜面上， h 从斜面的最低点量起。球与平面的滑动摩擦系数 $f = 2/7$ ，滚动摩擦系数为零。若在 t_0 时，将小球释放，试问当小球通过斜面的最低点时，球心的速度是多少？试讨论这速度和斜面与水平面倾角 α 之间的关系，且绘图表明 v 和 α 的关系。

27. 在水平桌面上置一质量为 M 的劈, 劈和桌面成 α 角, 在劈的顶端放一质量为 m 的小球。在滚动摩擦为零且无滑动的情况下, 球开始滚下, 劈和桌面的摩擦可以取为零, 试计算劈的加速度。

28. 现有两个等质量 M 、等半径 R 和表面性质相同的小球, 一只是中空球, 其中同心空腔的半径为 r , 另一只为匀质球。现将两个球放置在以速度 v_0 运动的传送带上。两球和皮带的滑动摩擦系数为 f , 滚动摩擦系数为零。

如果小球放在皮带上的初速度为零, 试描述在皮带上的小球的运动状况, 如何确定哪个是空心球。

(注: 实心球绕通过球心的轴的转动惯量为 $I = \frac{2}{5}MR^2$)

29. 一圆柱状的线团, 置于几根平行的水平杆上, 线端系着一个质量为 m 的物体。起始时, 系统是静止的, 释放圆柱体线团并作无滑动的滚动。如图 11 所示, 经过一段时间后, 圆柱体线团的轴达到恒定的加速度 a 。试求比值 $\frac{m}{M}$ 以及圆柱体线团与杆之间的最小滑动摩擦系数(不计滚动摩擦)。

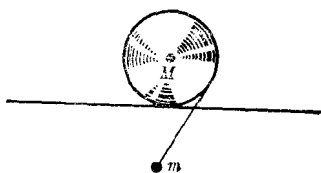


图 11

30. 一小物体由半径 $R = 1\text{ m}$ 、底面水平的半球顶端下滑。试问物体在运动过程中会脱离半球吗? 如果会的话, 它将在离开底面多高处脱离? 取初速度为零, 忽略摩擦力。

摩擦力对结果有何影响?

31. 一个边长为 a 、质量为 m 的刚性正方形导线框用细线从它一边的中点挂起。导线中通以直流电 I 。线框处于竖直方向的

匀强磁场 B 中。试求线框的平衡位置。

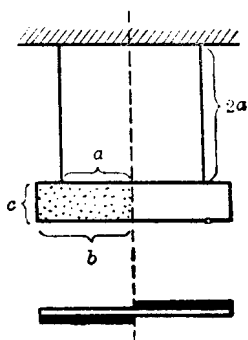


图 12

32. 一块平而薄的长方形玻璃板用两根不计质量的柔软细线悬挂起来, 如图 12 所示。玻璃板每一面的一半表面涂了一层化学性质活泼的金属。整个装置悬挂在空的容器中, 并向容器通入压强为 p 的氯气。氯气和金属分子的反应几率小于 1。计算玻璃板绕它的竖直轴转过的角度。

假定 (a) 玻璃板两边的氯气密度相等, (b) 反应过程中, 氯气压强的减小可以忽略不计, (c) 生成的金属氯化物留在玻璃板上, (d) 发生反应的氯气很少以致氯的质量 m 和反应几率保持不变。

33. 图 13 是一个由两个轻弹簧(自然长度 l_0 , 倔强系数 k)和两个质量为 m 的质点组成的系统。质点可在一质量忽略不计的细杆上无摩擦地滑动。系统可以绕与杆垂直的竖直轴旋转。使系统从静止到以角速度 ω 运动需做多少功?

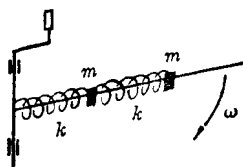


图 13

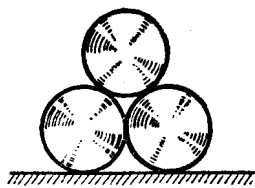


图 14

34. 三个相同的圆柱体放置在水平桌面上, 如图 14 所示。圆柱体和桌面间的滑动摩擦系数为 f ; 各圆柱体之间的滑动摩擦系数为 h 。滚动摩擦忽略不计。

f 和 h 必须满足什么条件, 系统方能平衡?

35. 一个孔径角为 $2\alpha = 120^\circ$ 的漏斗以恒定的角速度 ω 绕它的竖直轴旋转, $\nu = 2 \text{ Hz}$ 。一小物体必须放在漏斗内壁哪一点上方能保持平衡? 这是哪一种平衡?

设摩擦可以忽略不计；如果摩擦不能忽略，结果会有什么不同？

36. 两个带正电的质点(电量 $+e$)固定放置在相距 $2b$ 处，与其连线中点相距 a 处另有两个质量为 m 、电量为 $-e$ 的质点在以 a 为半径的轨道上运动；这半径垂直于正电荷的连线。

角速度 $\omega = 0$ 时，为使系统处于平衡状态， a 和 b 之间必须有什么关系？角速度 ω 多大时动态平衡将能成立？

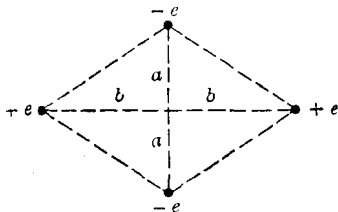


图 15

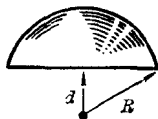


图 16

37. 在两个相接触的肥皂泡合并之前，往往存在一个中间态，此时两肥皂泡之间有一层薄膜(图 16)。

(a) 求把两已知半径为 r_1 和 r_2 的肥皂泡隔开的那层薄膜的半径 r_{12} 。

(b) 取特殊情况 $r_1 = r_2 = r$ 。在中间表面形成之前，两肥皂泡的半径是多大？在中间膜破裂后，肥皂泡的半径是多大？

(假定肥皂泡内的附加压强仅取决于表面张力和半径，且远小于大气压，致使肥皂泡内气体的总体积不变。)

球冠的体积(图 16)为 $\frac{1}{3} \pi (2R^3 - 2R^2d + d^3)$

38. 在内径 $R = 10 \text{ cm}$ 的铜管内塞进另一个外径为 $R - d$ 的铜管。中间($d = 1.5 \text{ mm}$)充满相对介电常数 $\epsilon = 5$ 的变压器油。

两圆柱的公共轴水平放置且垂直于地磁子午线的平面。较小的圆柱内部有一枚小磁针，能在水平面内自由转动。

两只管子形成的电容器充电至 30 kV 电压，而且里边的圆柱以 50 Hz 的频率旋转。小磁针将偏离地磁子午线多少角度？

地磁场的水平分量取为 $B_z = 2 \times 10^{-5} \text{ T}$ 。

真空电容率和真空磁导率之间的关系是

$$\epsilon_0 \mu_0 = 1/c^2 = (3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})^{-2}$$

圆柱体的长度比它的半径大很多，因而柱形电容器的电容可以根据平行板电容器的公式相当精确地求得。

(史料性的注释：罗兰曾试图循着这一线索来证明运动电荷对磁体的作用跟导体中电流产生的磁场对磁体的作用相同。)

39. 用薄金属做成的球形容器通过一带有两只活栓的玻璃管灌水银(图 17)。两活栓之间的那段玻璃管包着金属箔，金属箔

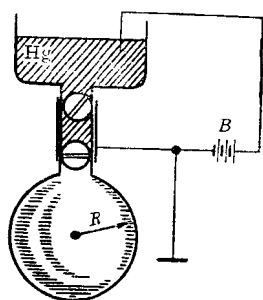


图 17

同电池组的接地端相连。电池组的另一端同容器中的水银相连。金属容器用如下的方式逐渐灌满，关闭下方的活栓并打开上方的活栓。当管内充满水银时，我们把上方的活栓关闭，移去金属箔，再打开下方的活栓。不断重复这个程序直至容器被充满。那么这个充满水银的容器，它相对于地的电势近似地是多少？

电池组的电动势 = 120 V；

容器半径 = $R = 10 \text{ cm}$ ；

玻璃的相对介电常数 = 6；

管子的内直径 = 21 mm；

管壁的厚度 = 1 mm。

40. 如图 18 悬挂的，一半径为 r 的铜质卷轴，其上缠绕着一根长线，线端挂着质量为 m 的物体。卷轴处于跟它垂直的恒定的匀强磁场中。一阻值为 R 的电阻同卷轴的轴线相连，电阻的另一端通过一滑环同卷轴的边缘相连。卷轴在重力的作用下开始旋转。它最大的角速度将是多少？如果电阻随同卷轴一起运动，答案会有什么不同？

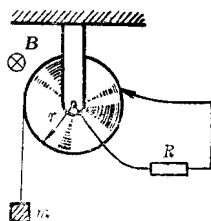


图 18

注意：摩擦忽略不计。实心的卷轴也可以用装有辐条的轮子来代替。

41. 如图 19 所示，一细而均匀的导线环上任意两点 A 和 B 同直流电源相连。假定连接环和电流源的径向引线对环中心的场没有影响，计算环中心的磁场强度。

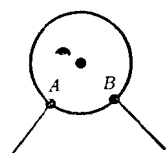


图 19

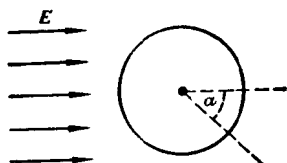


图 20

42. 一半径为 R 的均匀金属球处于一匀强电场 E 中。球的表面感应出密度为 σ 的面电荷， σ 的大小与角 α 有关(图 20)。试决定 σ 随 α 的变化规律。

提示：你应先考虑两个半径为 R 的实心球，它们在 $l \ll R$ 的区域中相向运动并且分别均匀带电 $+Q$ 和 $-Q$ 。

43. 考虑图 21 的电路。

检流计中无电流通过，且不论电压 ε 是直流还是交流的，检流计指针都指向零点。选择 R_1 和 L_1 使满足这个条件。

已知： $R_2 = 900 \Omega$, $R_3 = 300 \Omega$

$R_4 = 60 \Omega$, $L_2 = 900 \text{ H}$

44. 一根长度为 l 、质量为 m 的均匀而不能伸长的细绳，起初其两端系于彼此靠近的两只钩子上，如图 22(a) 那样自由地悬挂

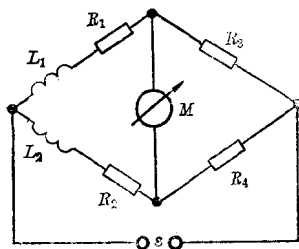


图 21

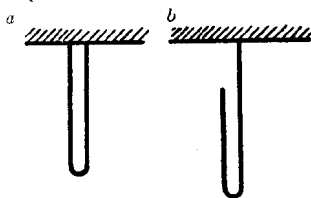


图 22

起来。然后绳的一端被释放,开始下落,如图 22(b) 所示。每一个钩子所能承受的最大负荷 N 大于绳的重量 mg 。为了使第二只钩子不被拉脱, mg 和 N 之间必须满足什么条件? (假定下落过程中,

绳的每一段线元一到达它的终末位置,就停止不动了。)

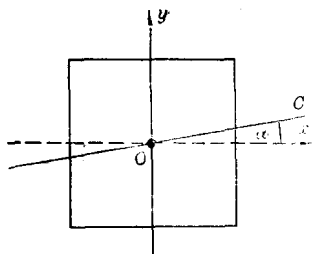


图 23

45. (a) 求一个质量为 M 、边长为 a 的均匀正方形薄板对位于板的平面上且与图 23 中 x 轴成 α 角的任意轴 c 的转动惯量。

(b) 证明或否定下面的假设:

“如果物体对通过一点 O 且彼此垂直的三根轴的转动惯量都相等, 则对通过该点的任意轴的转动惯量都是相同的。”

46. 声音在气体中的速度仅取决于气体的压强 p 、密度 ρ 和一些数字常数。计算在具有参量 p_1 、 ρ_1 和 p_2 、 ρ_2 的两种气体中声速之比。

采用量纲分析法,而不用任何公式。

47. 铁路处于两堵彼此平行的、竖直的岩壁之间。在某一地点,铁路线正好与这两堵岩壁垂直。在该地点,机车以匀速 v 行驶,汽笛的频率为 f 。如果把回声也考虑进去,司机将能听到哪几种频率? (空气中声速为 V)

48. 两块理想的起偏振镜如图 24 放置。

P_1 的偏振面同画面成 α 角, P_2 的成 β 角(两只角都从同一边量得)。

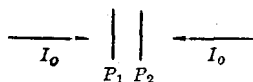


图 24

一束强度为 I_0 、偏振面同画面一致的光线射到系统上。通过此系统后,光束的强度是多少? (a) 从左到右, (b) 从右到左。

如果入射光束是非偏振光,相应的强度将是多少?

49. 所谓“黑洞”,产生于某些类型的星体的最后演化阶段。当星体变得如此之小以致从它表面发射的光不再具有足够的能量