

# 圆环道物理学难题

彼特·纳德

吉拉·哈涅克编著

肯·瑞利

李崧徐永利任世宏  
吴金闪刘文彪摇摇摇

译

李崧校

图书在版编目(CIP)数据

圆周率物理学难题 纳德, [匈] 哈涅克, [英] 瑞利著;  
李崧等译 北京: 北京理工大学出版社, 2013.09 (2013重印)  
ISBN 978-7-302-32441-1

I. ①圆...②哈...③瑞...④李... II. ①圆...②哈...③瑞...④李... III. ①物理学—原理解题  
IV. ①O1-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第145457号

---

书名 圆周率物理学难题

作者 [匈] 纳德, [英] 哈涅克, [英] 瑞利著

译者 李崧, 李崧, 李崧, 李崧, 李崧, 李崧

此中文版由剑桥大学出版社授权

北京市版权局著作权登记号 图字-01-2013-145457号

---

出版发行 北京理工大学出版社

社址 北京市海淀区中关村南大街

邮编 100071

电话 (010) 58880000 (总编办) (010) 58881111 (发行部)

网 址 <http://www.bjupt.com.cn>

电子邮箱 [bjupt@bjupt.com.cn](mailto:bjupt@bjupt.com.cn)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 北京圣瑞伦印刷厂

开 本 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 12.5

字 数 320千字

版 次 2013年 9月第 1版 2013年 9月第 1次印刷

印 数 1~5000册

责任校对 郑兴玉

定 价 28.00元

责任印制 李绍英

---



### 问题 1

三只小蜗牛所在的位置形成一个等边三角形，三角形的边长为 60 cm。第一只蜗牛出发向第二只蜗牛爬去，同时，第二只向第三只爬去，第三只向第一只爬去，每只蜗牛爬行的速度都是 5 cm/min。在爬行的过程中，每只蜗牛都始终保持对准自己的目标。经过多长时间蜗牛们会相遇？相遇的时候，它们各自爬过了多长的路程？它们经过的路线可以用怎样的方程来描述？若将蜗牛视为质点，那么在它们相遇前，绕着它们的最终相遇点转了多少圈？

### 问题 2

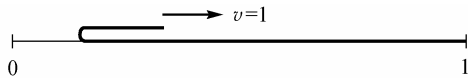
一个小物体在水平桌面的边沿，因受到一个力的作用，而从桌子的另一边掉落。已知桌子的宽度为 1 m，掉落前物体的运动时间为 2 s。问这个小物体有轮子吗？

### 问题 3

一艘小船在静止水中的速度为 3 m/s，一个船夫要驾此船渡河，同时需要在渡河时走过的距离最短。问在下面的情况下，船夫应该选择向哪个方向划船？情况 (i)：水流速度 2 m/s；情况 (ii)：水流速度 4 m/s。假设水流的速度在各处都是相同的。

### 问题 4

地上铺着一张长而薄的柔软地毯。地毯的一端折起，以恒定的速度将折起的一端向后拉，覆盖在地毯静止的部分之上。求地毯被拉起的部分质心的速度。如果地毯具有单位长度和单位质量，求拉动地毯运动部分所需的最小力量。



### 问题 5

4 只蜗牛在一个非常大的平台上各自做匀速直线运动，其运动路径的方向是随机的，(但是没有平行的，也就是说任何两只蜗牛都可能相遇)，但是没有任何两条以上的蜗牛路径会相交于一点。如果  $(4 \times 3) / 2 = 6$  次可能相遇中的 5 次已经发生，我们是否可以预言第六次相遇也会发生？

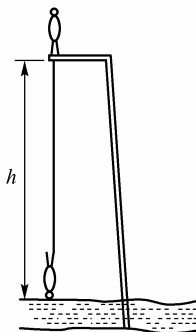
### 问题 6

两条各 20 g 的扁虫子爬一堵非常薄的墙，墙高 10 cm。一条虫子长 20 cm，另一条宽一些但长度只有 10 cm，当两条虫子的中点正好在墙头上的时候，哪一只克服重力做的功多一些？两条虫子做功总量的比是多少？

## 问题 7

一个身高 2 m 的人从湖边高 25 m 的平台上做蹦极跳,弹性绳的一端系在他的脚上,另一端固定在平台上,他从静立开始下落。弹性绳的长度和弹性选择为恰好当他的头触及湖面时,其速度减小为零。最终静止时,人的头高于水面 8 m。

- (i) 求没有被拉伸时的绳长。  
 (ii) 求在跳下过程中的最大速度和加速度。



## 问题 8

一座冰山呈尖端向上的正金字塔形,露出水面 10 m 高。忽略水的运动造成的影响,求冰山做小幅度上下振动的周期。冰的质量密度为  $900 \text{ kg/m}^3$ 。

## 问题 9

汽车上用来悬吊 4 轮的弹簧是相同的。假设汽车车体为刚体,当它的右前轮停在 8 cm 高的人行道上时,车体在每个轮子处升高多少?如果两个右侧的轮子都停在人行道上呢?结论和车上坐了多少人以及人坐的位置有没有关系?

## 问题 10\*

在维克多·雨果的小说《悲惨世界》中,主人公冉阿让是一个逃犯,他有能力利用两面直角相交的墙的墙角爬上墙头。求他在爬墙时最小需要用多大的力来推墙?同时,求他要完成这项技艺,他和墙面之间可能的最小摩擦系数。

## 问题 11

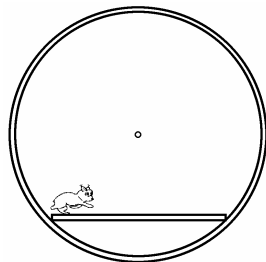
一个球,由两个不一样的匀质半球粘在一起。放在一个与水平面成  $30^\circ$  角的斜面上。这个球在斜面上能保持平衡么?

## 问题 12

一个小弹性球竖直到长的倾斜平面上,平面和水平面间的夹角为  $\alpha$ ,球相邻落地点之间的距离是否成等差级数增加?假设碰撞是完全弹性的,空气阻力可以忽略不计。

## 问题 13

仓鼠的笼子是一个转轮,笼子有一个无摩擦的中轴。一个





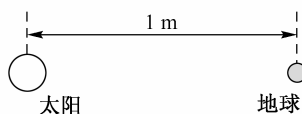
水平的平台固定在中轴之下，初始状态时，仓鼠在平台的一端。当平台被释放时，仓鼠开始跑，因为仓鼠的运动，平台和轮子保持相对固定，确定仓鼠是怎么运动的。

### 问题 14\*

一辆支撑着的自行车，能够前后运动但不会翻倒。自行车的脚踏板在最高和最低的位置。一个学生蹲在车旁边，给在最低位置的脚踏板一个水平向后的力，问

- (i) 自行车向哪个方向运动？
- (ii) 飞轮转动的方向和后轮转动的方向相同还是相反？
- (iii) 较低的踏板相对地面如何运动？

### 问题 15



如果太阳系等比例地缩小，当地球和太阳间的平均距离为 1 m 的时候，1 年对应的时间有多长？假设各物体密度不变。

### 问题 16

如果双子星的一个的质量都等于太阳的质量，它们间的距离等于太阳和地球之间的距离，那么它们旋转的周期是多少？

### 问题 17

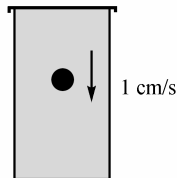
- (i) 将一颗地球卫星送上圆形轨道所需要的最小发射速度是多少？
- (ii) 将地球卫星送入两极轨道所需的能量要比赤道轨道高多少倍？
- (iii) 空间探测器离开地球引力场需要多大的初始速度？
- (iv) 对空间探测器而言，是离开太阳系需要的能量大还是撞击太阳需要的能量大？

### 问题 18

一枚火箭将要离开地球的重力场。它的主引擎中的燃料略少于所需要的量，因此必须要用到只能工作一小段时间的辅助引擎。问什么时候使用辅助引擎最好，是刚离开的时候？火箭相对于地球快要停止的时候？还是任何时候都没有区别？

### 问题 19

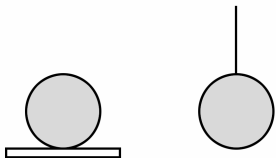
一个  $1 \text{ cm}^3$  的钢球在一个装满蜂蜜的罐子里，以  $1 \text{ cm/s}$  的速度下沉。如果蜂蜜的密度为  $2 \text{ g/cm}^3$ ，则蜂蜜的动量为多大？



## 问题 20

温度为  $T$  的气体装在初始温度为  $T_1$  的容器中, 是当  $T_1 < T$  的时候, 还是当  $T_1 > T$  的时候, 气体作用在容器壁上的压力较大?

## 问题 21\*

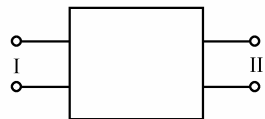


两个相同的铁环, 一个立在热绝缘的板上, 另一个悬吊在热绝缘的线上。传给两个铁环等量的热能, 问哪一个温度高一些?

## 问题 22

两个学生 (不是学物理的)  $A$  和  $B$ , 住在大学宿舍的相邻寝室。为了节约, 他们将天花板上的灯串联了起来, 商定双方都安装  $100\text{ W}$  的灯泡, 电费平分。但是双方都希望能让对方多付钱而使自己获得更好的照明, 其中  $A$  安装了  $200\text{ W}$  的灯泡, 而  $B$  安装了  $50\text{ W}$  的灯泡。请问在最后的期末测试中谁考得不好?

## 问题 23



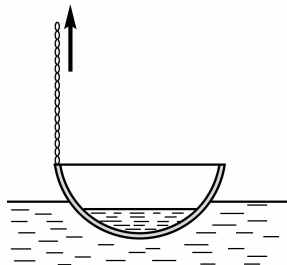
如果电压为  $V$  的电池接在黑箱的  $I$  端, 如图所示, 则接在  $II$  端的伏特计的读数为  $V/2$ 。如果电池接在  $II$  端, 则  $I$  端的伏特计读数为  $V$ 。已知黑箱中只有无源的电器元件, 问他们是什么样子?

## 问题 24

一桶水用绳子悬挂在固定点上。水桶处于运动状态, 整个系统像钟摆一样摆动。然而, 水桶是漏的, 桶中的水慢慢从底部漏出。问随着水的流失, 摆的周期怎样变化?

## 问题 25

一个空的烧杯质量为  $100\text{ g}$ , 半径为  $30\text{ mm}$ , 烧杯壁厚忽略不计, 其重心高于底面  $100\text{ mm}$ 。问当烧杯中注入多少水的时候, 烧杯处于最稳定的状态?



## 问题 26

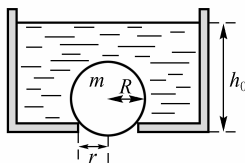
鱼汤盛在半径为  $40\text{ cm}$  的半球形铜碗内。铜碗放在湖



水中冷却,它漂浮在水上,浸入水中 10 cm。碗沿上的一点用链子固定,向上拉起 10 cm,问水是否会流入碗中。

**问题 27**

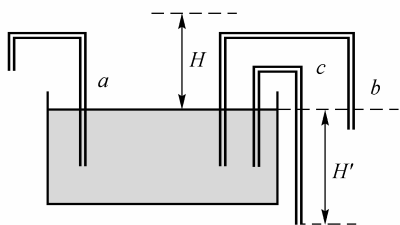
一个装满水的容器底部有一个半径为  $r$  的圆洞,洞由一个质量为  $m$ 、半径为  $R (>r)$  的球堵住。容器中的水慢慢减少,当达到一个确定值  $h_0$  时,球从圆洞处升起,求  $h_0$ 。



**问题 28**

肥皂泡中充满了氦气,漂浮在空气中,问肥皂泡的壁和其中充的氦气哪个更重?

**问题 29**



水通过浸润可以在毛细管壁上上升到高度  $H$ 。三个“绞架”形的毛细管  $a$ ,  $b$  和  $c$  使用相同的管子制成,管子的一端放入盛满水的大盘子,如图所示。

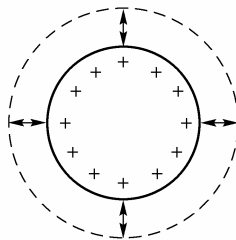
问水会从毛细管的另一端流出么?

**问题 30**

一个充电的球形电容,由于绝缘层的轻微漏电而缓慢地放电。问放电的电流产生的磁场大小和方向如何?

**问题 31**

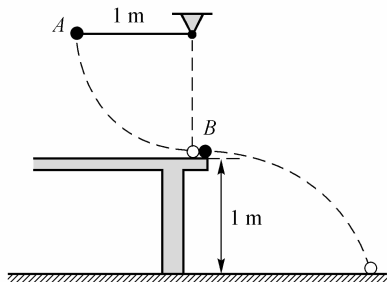
一个充电的导体球做辐射方向的“脉动”,即,其半径周期性地以固定的幅度变化(如图所示)。球表面上的电荷,作用和偶极天线相同,发出电磁辐射。问球发出的辐射是怎样的?



**问题 32\***

男子跳高世界纪录保持者(室内运动会)在月球上能跳多高?

## 问题 33



小钢球  $B$  停放在高  $1\text{ m}$  的桌边上，另一个钢球  $A$  作为一个  $1\text{ m}$  长的单摆的摆锤，从单摆悬挂点的平面自由释放，并撞击  $B$  球，如图所示。两个球的质量是相同的，碰撞是完全弹性的。

考察  $B$  的运动直到它首次碰到地面：

- (i) 哪个球运动的时间较长？
- (ii) 哪个球移动的路径较长？

## 问题 34

一个小摆锤固定在一根长  $50\text{ cm}$  的绳子的一端。作为绳子的另一端做适当受迫运动的结果，摆锤以均匀速度  $3\text{ m/s}$  做半径为  $50\text{ cm}$  的竖直圆周运动。画出圆周轨道以  $15^\circ$  为单位间隔，绳子两端的运动轨迹，在相同的端注明各点。

## 问题 35

点  $P$  位于斜面上方，它可以通过一根无摩擦的金属丝在重力的作用下，滑到斜面上。金属丝连接  $P$  和平面上一一点  $P'$ ，问怎样选取  $P'$  使得所需的时间最短？

## 问题 36

教堂时钟的分针是时针的两倍长，问在午夜后的哪个时间，分针的末端以最快的速度远离时针的末端？

## 问题 37

最大与地面成什么角度抛出石头，才能使石头在运动过程中始终远离抛掷石头的人？

## 问题 38\*

一根直径  $20\text{ cm}$  的树干平放在水平的地上。一只懒惰的蚱蜢想跳过树干，求蚱蜢满足条件的最小离地速度（空气阻力忽略不计）。

## 问题 39\*

一根直的刚性毛发平放在光滑的桌面上，毛发的两端都坐着一只跳蚤。如果毛发的质量  $M$  不是远远大于跳蚤的质量  $m$ ，它们能否同时以相同的速度和起跳角度起跳，





变换位置而不在半空中撞在一起？

### 问题 40

一个喷泉有一个小的半球形的玫瑰(喷嘴),位于水池中水的表面,如图所示。玫瑰上有很多平均分布的小洞,通过这些小洞,水以相同的速度向不同的方向射出。喷头形成的水“钟”的形状是怎样的?



### 问题 41

一个质量为  $m$ , 带电量为  $Q$  的粒子, 受到重力和均匀水平电场(场强为  $E$ ) 力的合力作用。粒子以速度  $v$  从平行于场强的竖直平面上抛出, 与水平面间的夹角为  $\theta$ , 求粒子在回到初始点水平高度前, 在水平方向上行进的最大距离。

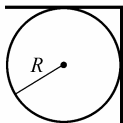
### 问题 42\*\*

一根均匀的棍子, 质量为  $m$ , 长度为  $\ell$ , 其两端被我的两个食指水平支撑着。同时我缓慢地移动我的两个手指, 使它们在棍子的质心汇合, 棍子在这个食指或者那个食指上滑动。若静摩擦系数为  $\mu_{\text{静}}$ , 动摩擦系数为  $\mu_{\text{动}}$ , 在此过程中我做了多少功?

### 问题 43

四块相同的砖叠放在桌边。是否可能将它们水平滑动, 使得最上面的砖能够突出到全部砖体在桌外? 如果砖的个数可以任意增加, 最上面的砖位移的理论极限是什么?

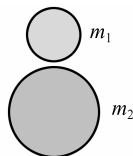
### 问题 44



一块板, 沿中线折成直角, 放置在水平固定的半径为  $R$  的圆柱体上, 如图所示。圆柱体和板之间的静摩擦系数需要有多大, 才能使板子不滑开?

### 问题 45

两个质量为  $m_1$  和  $m_2$  的塑料球叠放在一起(之间有很小的空隙), 然后一起落在地面上。比率  $m_1/m_2$  为多大时, 上面的小球最终获得总能量中的部分最大? 要使上面的小球弹起得最高, 质量的比率需为多少?

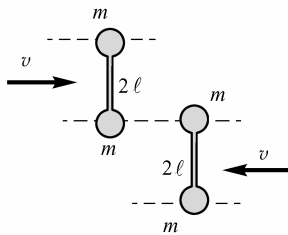


## 问题 46

一个玩具由三个悬挂着的钢球组成，球的质量分别为  $M$ 、 $\mu$  和  $m$ ，球的中心在同一水平面上。将质量为  $M$  的球在它们共同所在的平面上拉起，当其中心上升到  $h$  高度时释放。如果  $M \neq m$ ，所有的碰撞都是弹性的，则如何选择  $\mu$  才能使质量为  $m$  的球上升到尽可能高的高度？（忽略多次碰撞。）

## 问题 47

两个相同的哑铃在一个水平气垫桌上相向运动，如图所示。每一个哑铃都被看做两个质量为  $m$  的质点被一根长为  $2l$  的无重杆相连。初始状态哑铃并不转动。描述哑铃弹性碰撞后的运动，画出哑铃质心运动速度关于时间的函数曲线。



## 问题 48

10

两个相同的光滑小石块  $A$  和  $B$  在结冰的湖上自由滑动。它们之间由一根轻质的长度为  $\sqrt{2}L$  的弹性绳相连，弹性绳具有拉长一点就会崩紧的特性。在  $t=0$  时刻， $A$  静止在  $x=y=0$ ，而  $B$  在  $x=L$ ， $y=0$ ，并以速度  $V$  向  $y$  方向运动。确定  $A$  和  $B$  在下列时刻的位置和速度：(i)  $t=2L/V$ ；(ii)  $t=100L/V$ 。

## 问题 49\*

当一个空的长方形水池上方的水龙头打开后，经过时间  $T_1$  水池将被水注满。当水龙头关掉后，打开水池底部的塞子，则水池经时间  $T_2$  将水排空。如果水龙头和塞子都打开的话，将会发生什么现象？ $T_1/T_2$  的比率为多少时池中的水会溢出？作为特定的情况，令  $T_1=3 \text{ min}$ ， $T_2=2 \text{ min}$ 。

## 问题 50

一个圆柱形的容器，高为  $h$ ，半径为  $a$ ，容器中装了三分之二的液体。容器绕它竖直方向的轴以角速度  $\omega$  旋转。忽略任何表面张力的效应，求使液体不溢出容器边缘的最大旋转角速度  $\Omega$  的表达式。

## 问题 51

彼得站在汽车赛道旁，由汽车从静止加速到  $100 \text{ km/h}$  使用的汽油为  $xL$ ，推算出从  $100 \text{ km/h}$  加速到  $200 \text{ km/h}$  使用的汽油将为  $3xL$ 。彼得在物理课中学过动能与运动速度的平方成正比，假设汽油的化学能几乎全部转化为汽车的动能，即忽略了空气阻力



以及其他各种摩擦力的影响。

赛道旁有一条铁路，也懂得一些物理学的保罗，坐在一列与汽车加速方向相反，并以 100 km/h 的速度匀速行驶的火车上，透过车窗观看比赛的开始，他是这样推理的：既然第一阶段汽车从 100 km/h 加速到 200 km/h，而第二阶段汽车从 200 km/h 加速到 300 km/h，则第二阶段耗油为  $(300^2 - 200^2)/(200^2 - 100^2)x = (5/3)xL$ 。那么，彼得和保罗到底谁正确呢？

### 问题 52

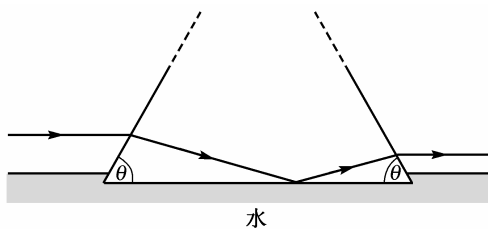
在光具座上放置着相距 120 cm 的像屏和光源。当一个透镜在二者之间移动时，可以找到两个能够在屏幕上呈现清晰图像的位置；已知在两种情况下这两个图像的大小（线度）之比为 1 : 9。请问透镜的焦距是多少？哪一个成像更加明亮？请给出两种成像的亮度值之比。

### 问题 53

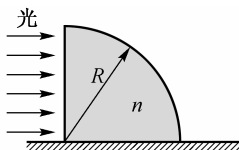
一个眼睛近视的人摘掉眼镜，然后透过自眼睛逐渐移远的眼镜观察一个静止不动的物体。他感到非常奇怪的是，开始时看到的物体逐渐变小，可是后来却又逐渐变大。请解释一下其中的原因。

### 问题 54

一个等腰三角形的玻璃三棱镜水平放置于水中，两个腰与底边的夹角均为  $\theta$ （如图）。一束位于水上、平行于水面并且垂直于棱镜轴的入射光线，在棱镜内部经由玻璃-水界面的反射，然后又折射回空气中。取玻璃和水的折射系数分别为  $\frac{3}{2}$  和  $\frac{4}{3}$ ，请解释  $\theta$  角至少应为  $25.9^\circ$ 。



### 问题 55



如图为一个四分之一圆柱形的玻璃棱镜，水平放置于桌面上，一束均匀、水平光线入射于其竖直平面。如果圆柱的半径为  $R = 5 \text{ cm}$ ，并且已知玻璃的折射系数为  $n = 1.5$ ，那么光透过棱镜后将在桌面的什么位置形成一个光斑？

## 问题 56

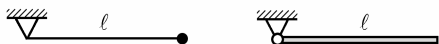
在地球表面，太阳光是月亮光亮度的多少倍？已知月亮的反射率为  $\alpha = 0.07$ 。

## 问题 57

安妮和她的高个子男朋友安迪非常喜欢一起慢跑。在锻炼过程中他们逐渐发现，跑步时他们运动的速度相差不大，但是走起路来安迪却总是较快。用物理的观点该怎么解释跑和走的不同？

## 问题 58

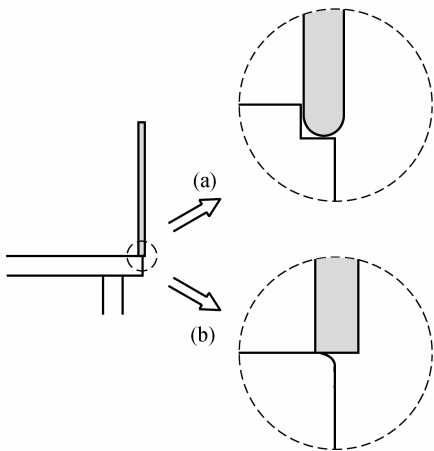
一个单摆和一个一端悬挂起来的均匀细杆自水平位置释放，如图所示。如果它们的长度相等，那么它们的周期之比是多少？



## 问题 59\*

当一架直升机发动机的输出功率为  $P$  时，可以保持在空中盘旋。另外一架直升机完全是第一架的拷贝，但其旋度只是前者的一半。请问要使第二架直升机保持盘旋，发动机的输出功率应为多少？

## 问题 60\*



一根均匀木棒近于竖直地放置在桌子的一端，然后从静止释放。考虑以下两种极端情况，求出木棒离开桌面时它与竖直方向所成的角度。

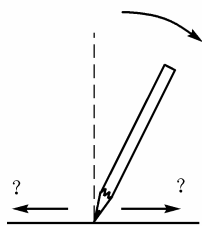
(i) 桌面是光滑的(摩擦力可以忽略不计)，但在桌子的一端刻有一个小槽(如图(a)所示)。

(ii) 桌面是粗糙的(摩擦力很大)，并且棱角很锐利，也就是说桌边的曲率半径和木棒的端面相比非常小。木棒端面的一半突出桌子的边缘(如图(b)所示)，这样保证了木棒由静止释放后将沿桌边旋转，木棒的长度远远大于它的直径。



**问题 61\*\***

一支铅笔笔尖向下竖直放置在桌面上，然后释放倾倒。笔尖运动的方向，相对于铅笔倾倒的方向，与摩擦系数之间的关系如何？铅笔尖会离开桌面吗（还是只有当铅笔“肩”与桌面接触时才会离开）？

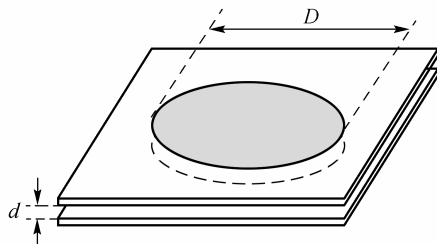


**问题 62**

半径为  $R_1$  和  $R_2$  的两个肥皂泡用稻草杆相连。空气从一个肥皂泡进入到另一个（请指出空气的流动方向），进而第三个独立的肥皂泡  $R_3$  形成。如果大气压为  $p_0$ ，肥皂泡的表面张力是多少？测量这三个半径不同的肥皂泡是一种确定液体表面张力的合适方法么？

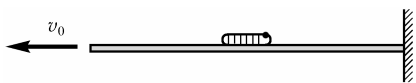
**问题 63**

两个平行玻璃板之间充满一层水（如图所示）。玻璃板之间的距离为  $d$ ，板间夹的“水盘”的直径为  $D \gg d$ 。两块板之间的相互作用力是怎样的？



**问题 64**

一只蜘蛛把一条长 1 m 的“超弹性”丝线的一端固定在一堵竖直的墙上，丝线上某处静止地趴着一条小毛虫。饥饿的蜘蛛，静止不动地呆在丝线的另一端，开始以  $v_0 = 1 \text{ cm/s}$  的速度匀速拉动丝线。同时，小毛虫开始以  $1 \text{ mm/s}$  的速度相对于丝线向墙的方向逃跑。小毛虫能够逃到墙上吗？

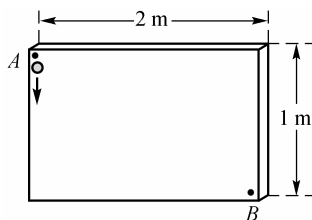


**问题 65\***

如果在上题中蜘蛛不是静止在丝线的一端，而是拉着丝线朝着远离墙面的方向运动，结果会有什么变化？

**问题 66**

把一些钉子水平钉在竖直放置的画板上。如图所示，一个小钢球从  $A$  点下落，经过画板上突出钉子（图中未画出）的反弹到达  $B$  点。

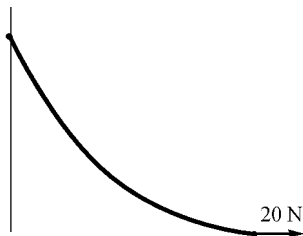


是否可能通过设置钉子的位置，来实现：

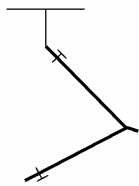
- (i) 从  $A$  点经钉子的反弹到  $B$  点比从直线路径  $AB$  无摩擦地滑动要快？  
 (ii) 钢球到达  $B$  点的用时少于  $0.4\text{ s}$  吗？

### 问题 67

一根绳子的一端固定在竖直的墙面上，另一端施以  $20\text{ N}$  的水平拉力。绳子的形状如图所示，求绳子的质量。



### 问题 68



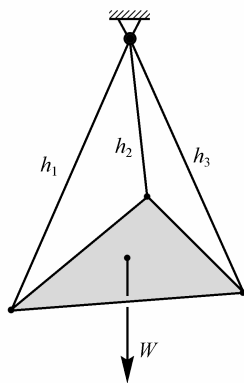
求解如图所示用一根细线悬挂圆规时，圆规张开多大的角度可以使其旋转点抬升得最高，假定圆规两臂的长度相等。

14

### 问题 69\*

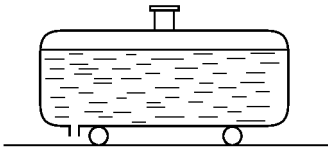
把长度分别为  $h_1$ 、 $h_2$ 、 $h_3$  的细绳系于一个质量均匀、质量为  $W$  的三角形板的三个顶点上，三个细绳的另一端固定在同一点上，如图所示。

请用细绳的长度、板的重量表示出每根绳子内部的张力。



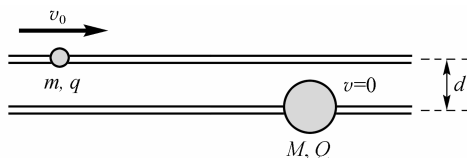
### 问题 70\*

一个装满液体的罐车静止在水平路面上。罐车没有使用刹车，同时可以在路面上无摩擦移动，如图所示。在罐车的后面底部有一出水孔，如果打开这个竖直的出水孔罐车将向哪个方向移动？罐车会保持这个移动方向吗？



### 问题 71

如图所示，两个相距为  $d$ ，水平、平行放置的小木棍上各穿着一个小珠子，它们均可以在木棍上无摩擦地滑动。珠子的质量分别为  $m$  和  $M$ ，并且分别带电  $q$  和  $Q$ 。初始情况下，大质量  $M$  的珠子静止，而小质量  $m$  的



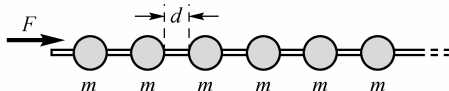


珠子以速度  $v_0$  从远处接近大珠子。描述珠子接下来的运动。

**问题 72\***

在一根长的水平绳子上等距离地穿着许多质量相同的珠子，珠子可以在绳子上无摩擦地移动，初始情况下珠子静止，如图所示。

一个珠子在恒定外力  $F$  的作用下不断加速（向右）。请给出在以下两种情况下，经过很长时间后被加速珠子的速度和“激波”的波前。



(i) 完全非弹性碰撞；(ii) 完全弹性碰撞。

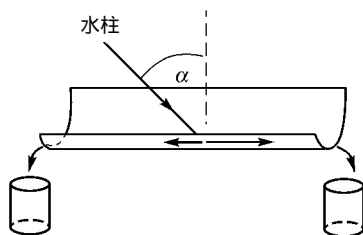
**问题 73\***

在一架称重仪器的平台上有一张桌子，桌子上放置一个大壶和一个啤酒桶，桶的水龙头在水壶正上方。描述水龙头打开后，啤酒从桶中流入壶中时秤的读数将怎样变化。

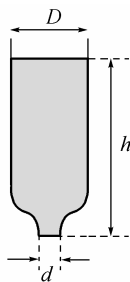
**问题 74**

一支水柱冲击水平放置的半圆柱形的水槽，并且水柱与水槽中心线位于同一竖直平面内，如图所示。

请给出由水槽两端流出的水量之比与水柱的入射角  $\alpha$  之间的函数关系。

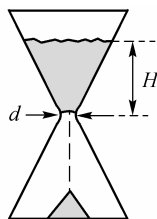


**问题 75\***



一个顶端开口、直径为  $D$  的玻璃管，其中装满高度为  $h$  的水。玻璃管的底部较狭窄，直径为  $d$ ，被塞子封闭，如图所示。

当打开底端塞子后，水将从底部的孔流出，流速约为  $v = \sqrt{2gh}$ 。然而，这个速度只有经过时间  $\tau$  后才可达到，试估计出这个时间  $\tau$  的量级。若忽略黏性效应，当刚刚移开塞子时，最底层水的加速度是多少？



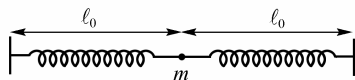
**问题 76\***

合理估计出如图所示沙漏中沙子全部流下所需要的时间。使用现实生活中的数据。

## 问题 77

一个小球连接两个相同的自然伸展的轻弹簧，弹簧的远端都固定起来，并且两根弹簧位于一条直线上，如图所示。

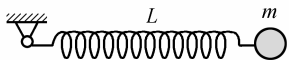
现在把小球向垂直于弹簧初始直线的方向上拉开 1 cm，然后释放；后续的小球振动周期为 2 s。求出拉开的距离为 2 cm 时，小球的振动周期。弹簧的自然伸长长度为  $l_0 \gg 1$  cm，重力可以忽略不计。



## 问题 78\*

一个原长  $L$ 、弹性系数为  $k$  的轻、软弹簧一端悬挂在转轴上，另一端连接一个质量为  $m$  的球体。弹簧自水平、自然伸长状态释放，如图所示。

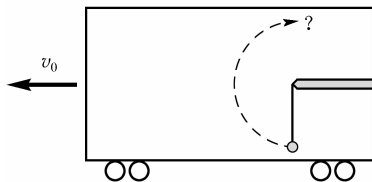
当弹簧达到竖直位置时，弹簧的长度是多少？（软弹簧意味着  $mg \gg kL$ ，因此弹簧内部的张力始终直接正比于其伸长量。）



## 问题 79\*

火车安全测试的轨道上，车厢以速度  $v_0$  运动，一个质量为  $m$  的重物通过一根柔软的绳子悬挂起来，如图所示。

火车厢在强劲但恒定的刹车作用下停止，请问小球是否可能摆动  $180^\circ$ ，从而使拉紧的线绳达到竖直向上的位置？



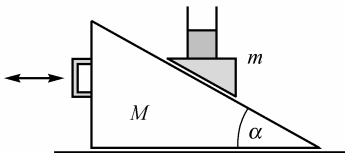
## 问题 80\*\*

一个内装水的玻璃杯固定在楔形木块上，楔形木块可无摩擦地在一个倾角为  $\alpha$  的斜面上滑动，如图所示。斜面的质量为  $M$ ，楔形木块、玻璃杯和水的总质量为  $m$ 。如果没有运动，水面将是水平的。在下列两种情况下：

(i) 斜面是固定的；

(ii) 斜面在水平方向上可以自由移动。

水面最后将与斜面成多大角度？并具体分析当  $m \gg M$  时的情况。如果斜面的手柄被施以周期性的振动，但不会导致楔形木块离开斜面，情况将会怎样？







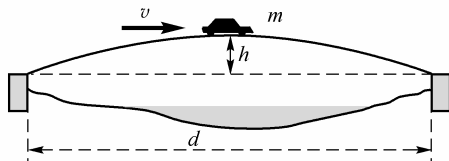
### 问题 81\*\*

如果一个人发现有一根线纹丝不动地从地面竖直通到天空,是否可以认为这是 UFO 存在的证据?是否可以用熟知的物理规律来解释这一现象?这根线需要多长?

### 问题 82

有一架横跨宽度为 100 m 河流的抛物线形桥梁,其最高点高于河岸 5 m。质量为 1000 kg 的小汽车以匀速 20 m/s 通过桥梁。利用图中标出的量,计算小汽车在下列两种情况下作用于桥梁的力:

(i) 在桥的最高点上; (ii) 通过桥梁的 3/4 时。  
(忽略空气阻力,取重力加速度  $g$  为  $10 \text{ m/s}^2$ 。)



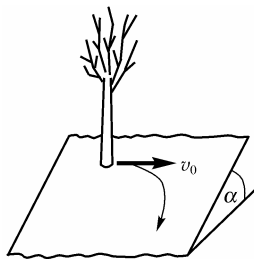
### 问题 83

一个 0.5 kg 的质点以 5 m/s 的恒定速度沿椭圆轨道运动,在经过长轴的端点时其惯性离心力为 10 N,经过短轴端点时惯性离心力为 1.25 N。请问这个椭圆的长、短轴分别为多少?

### 问题 84\*

一名船员从一条笔直、宽度恒定的运河一侧出发,希望划向出发点的正对岸。河中水流的速度处处为  $v$ ,而船员一直稳稳地划桨,若不计水流速度船速也将为  $v$ 。他一直保持船头朝向目标,但水流把他冲向下游。如果船员一直保持这种划法而不会疲惫,水流将使得船向下游漂流多远?从静止于河岸的观者看来,船经历了怎样的运动轨迹?

### 问题 85\*\*



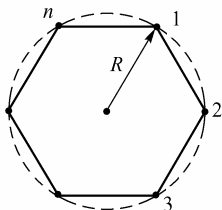
两个小孩站在一个开阔、倾斜的山坡上,山坡可以看成是一个平坦的斜面。地面上结了足够的冰,只要小孩受到一点点的作用力就会以恒定的速度滑向山下,如图所示。

一个小孩与另外一个小孩玩,他背靠在一棵大树上以  $v_0 = 1 \text{ m/s}$  的速度水平推了对方一下。后者滑下了山坡,此间其速度的大小和方向均发生了变化。如果忽略空气阻力,并且假定摩擦力与速度无关,被推的小孩最终的速度为多大?

## 问题 86\*

走私犯的船沿与笔直的海岸线垂直的方向以恒定速度  $v$  出发，海岸警卫队的快艇在距离走私船  $a$  处同时离开海岸。快艇始终以恒定速度朝走私船驶去，最终在距离海岸线为  $a$  时抓住罪犯。请问海岸警卫队快艇的速度是走私船速度的多少倍？

## 问题 87



质量为  $m$  的质点分别静止于正  $n$  边形的每一个顶点上，如图为  $n=6$  的情况。

如果只考虑各个质点之间的万有引力作用，整个系统将如何运动？在  $n=2, 3, 10$  的情况下质点之间要经过多长时间才会相撞？考虑一下极端情况  $n \gg 1$ ，而  $m = M_0/n$ ，其中  $M_0$  为整个系统的总质量。

## 问题 88

18

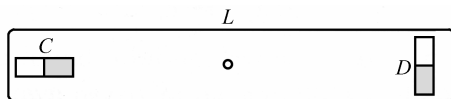
从一个半径为  $R$  的球形行星发射并返回火箭，要求返回时其速度矢量与发射时的速度矢量平行。行星表面发射和返回点处的半径间夹角为  $\theta$ 。如果绕行星表面运行的卫星周期为  $T_0$ ，求火箭的飞行需要多长时间？火箭离开行星表面的最大距离是多少？考虑一下你的答案是否适用于  $\theta \rightarrow 0$  的极限情况。

## 问题 89\*\*

两个相同的、磁矩为  $\mu$  的小磁针粘在长度为  $L$  的木棍两端，一个标为  $C$ ，与木棍平行；另一个与木棍垂直，标为  $D$ ，如图所示。

(i) 请说明两个小磁针相互之间的作用的力偶不是大小相等、方向相反。

(ii) 忽略地球本身的磁场，定量地解释一下如果整个系统从重心位置悬挂起来将会怎样。



## 问题 90

一个质量为  $m$ 、带电量为  $q$  的点电荷约束在一个很大的固定金属板上方很近的位置，当它们之间的距离为  $d$  时释放点电荷。请问这个带电质点到达金属板需要多长时间？重力的作用忽略不计。



### 问题 91\*

一个直径 1 cm、总带电量  $10^{-8}$  C 的均匀带电塑料球，用一根绝缘线绳悬挂起来，其最底端与一个盐水容器的水面相距 1 cm。结果我们看到，小球下面的水面涌起了一点。

请给出水平面涌起的高度，计算过程中可忽略水的表面张力，并且取盐水的密度为  $1000 \text{ kg/m}^3$ 。

### 问题 92

在一个薄的金属球壳内放置一个静止的点电荷，但点电荷不在中心位置。作用在点电荷上的力为多大？

### 问题 93

硼原子的原子量为  $A=10$ ，它与一束速度相同（非相对论速度）方向相反的未知粒子在加速器中相对对撞。硼原子最大的散射角为  $30^\circ$ ，请问构成粒子束的是何种原子？

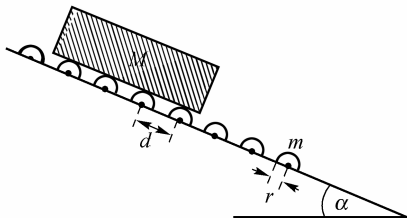
### 问题 94

一个无滑滚动的台球正面撞上一个同样的静止台球，请分析碰撞后两个球的运动。证明两球的终态和两球之间或球与桌面之间的滑动摩擦系数无关。（滚动摩擦可以忽略不计。）

### 问题 95\*

在一个倾角为  $\alpha$  的斜面上镶嵌着许多同样的滚筒，相邻滚筒间的距离为  $d$ 。滚筒沿水平方向放置，为质量  $m$ ，半径  $r$  的表面覆盖橡胶的圆柱形铁棍。质量为  $M$ 、长度远大于  $d$  的厚木板在斜面的顶端释放，如图。

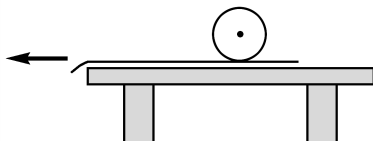
求木板的最终速度  $v_{\max}$ ，忽略空气阻力和滚筒转轴处的摩擦。



### 问题 96

水平桌面上铺着一块桌布，桌布上放置一个钢球，如图所示。此时把桌布从钢球下面抽出，由于摩擦的作用球将产生滑动和滚动。

当球的运动变成无滑滚动时，其速度为多少？  
(假定桌面足够大，小球不会从桌面上掉下来。)

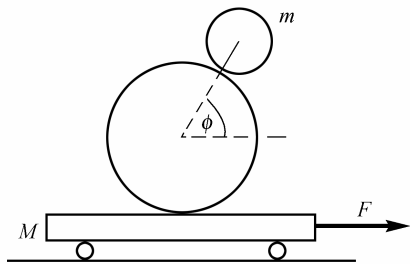


### 问题 97\*

如果英国的交通规则由原来的左侧通行改为右侧通行，那么一天的长度是增加了、减少了还是不变？

### 问题 98

在一个基于物理学的杂技表演中，同样密度、半径分别为  $r$  和  $R = 2r$  的两个圆球，被放置在一个质量为  $M = 6\text{ kg}$ 、长度为  $L = 2\text{ m}$  的小车上，大球的中心位于小车的中间位置，小球的质量为  $m = 1\text{ kg}$ 。使两个球之间保持无滑滚动，并且大球相对于小车静止，同时两球心的连线与水平方向成固定角  $\varphi = 60^\circ$ 。小车受到一个水平拉力  $F$ ，方向如图所示。



(i) 求外力  $F$  的大小。

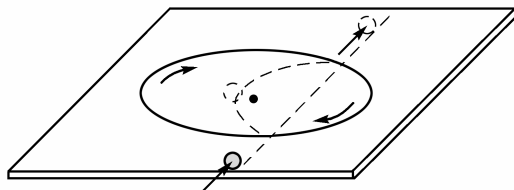
(ii) 两球经过多长时间将掉下小车？

### 问题 99\*\*

在澳大利亚堪培拉的科技馆中可以看到下面的一套装置，在水平桌面的中心位置挖掉半径为  $R$  的一个圆盘，然后通过一个转轴重新安装到其原来的位置上。

如图，圆盘转动起来时，一个硬橡胶球在桌面上滚动。当小球到达圆盘时，将偏离其直线轨道而沿曲线运动。当小球离开圆盘时，又恢复到原来的轨迹，沿直线作无滑滚动。小球的最终速度，与初始速度相等。

分析一下，在运动过程中起作用的有哪些守恒原理？



### 问题 100

半径为  $R$  的细圆环，其材料的线密度为  $\rho$ 、杨氏模量为  $E$ 。当这个圆环以角速度  $\omega$  沿其中心轴转动时，求出其周长的增量（假设非常微小）。



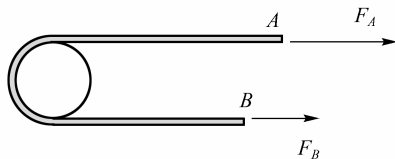
### 问题 101\*

如图所示,一条不可伸长的轻绳半绕在固定圆柱的表面上。

作为摩擦力的结果,当两端所施加的力满足下列不等式时,绳子不会在圆柱上滑动。

$$\frac{1}{2} F_A \leq F_B \leq 2F_A$$

确定绳子与圆柱之间的摩擦系数。

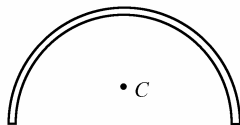


### 问题 102\*\*

查理是大学一年级学生,正在学习微积分。作为一个习题,他被要求计算如图所示一个半径为  $R$  的均匀半圆弧的质心位置  $C$ 。

他的妹妹,詹妮,在上中学,正学习物理中的转动。她非常想看看哥哥的运算,但是她从来没有听说过微积分,当然很难理解这种运算了。她惟一搞明白的是这个问题本身。

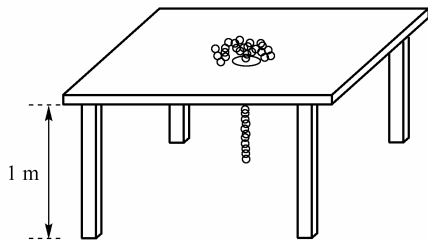
她想了一会儿,又计算了一会儿,然后大声叫起来:“我知道答案了,而且我不仅知道半圆质心的位置,还知道任意圆弧或者任意扇形的质心位置。”她是怎么做的呢?



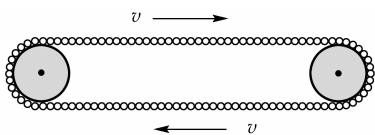
### 问题 103\*

有一张桌子高  $1\text{ m}$ ,在其表面中间有一个洞。有一根长  $1\text{ m}$  的细的金项链自然地盘绕着放在洞口,如图中所示:

链条的一端被放进洞口一点点,然后松开。忽略摩擦,则其结果是,链条以不断增加的速度顺利地通过那个洞。经过多长时间链条的两端都到达地面?



### 问题 104\*



一根可变形的、质量均匀分布的链条被紧紧绕在两个圆柱体上,其形状就像大型运动场的跑道形状一样,即,它由两个直的部分连接两个半圆形的部分而组成。圆柱体可以旋转,并且导致链条以速

度  $v$  运动。

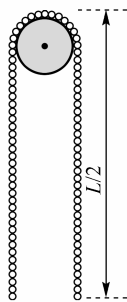
因为某种原因，链条突然脱离圆柱而滑开，并且垂直下落。请问在下落的过程中，链条的形状是如何变化的？

斯蒂夫认为，由于离心力的作用，链条取一个圆形。鲍伯接受这种观点，但是他认为由于离心力的作用，初始时的椭圆形的链条在经过圆形后还会变形，并且变为一个竖直的椭圆，其主轴与初始椭圆成适当的角度。他还预测这个过程是重复的，链条的形状会在上面的两种椭圆形之间周期变化。弗兰克猜测链条保持它原来的形状，但是对于他的猜测，他不能给出任何原因。请问谁是正确的？还是他们全都错了？

### 问题 105\*\*

一根重的、可变形的、无弹性的长为  $L$  的链条被近乎对称地放在一个可以绕固定转轴旋转的轻质滑轮上面，如图中所示：

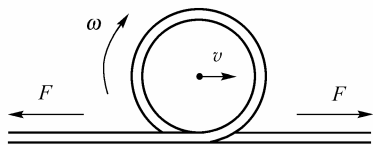
请问在链条离开滑轮的时候，它的速度是多少？



### 问题 106\*

一根单位长度质量为  $\rho$  的、长而重的可弯曲的绳子由恒力  $F$  拉着伸展开来。一个突然的动作导致了在绳子的一端形成了一个环。在类似于横波传播的方式下，这个环沿着绳子以速度  $v$  运动（滚动），如图所示：

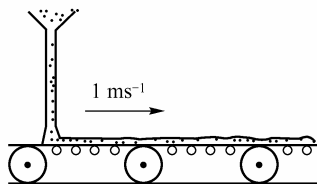
(i) 计算环的速度  $v$ 。



(ii) 确定角速度为  $\omega$  的环所携带的能量、动量和角动量。这些量之间有什么关系？

### 问题 107

沙子以  $50 \text{ kg/s}$  的速率垂直地落在一个以  $1 \text{ m/s}$  的速度水平运动的传送带上，如图中所示，请问带动传送带的发动机的最小的输出功率是多少？由发动机产生的功率占多大比例？



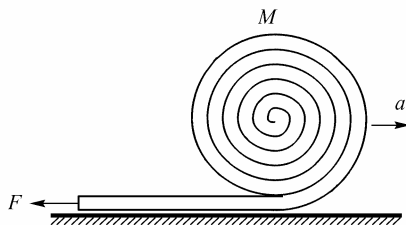
### 问题 108\*\*

一根长为  $L$ 、质量为  $M$  的灭火水龙头带被盘绕成半径为  $R$  ( $R \ll L$ ) 的一卷。水龙头沿着平坦的地面以初始速度  $v_0$  (角速度  $v_0/R$ ) 滚动，同时，水龙头的自由端固定在地面上一点。水龙头逐渐展开成为直线。

(i) 水龙头完全展开需要多长时间？



(ii) 水龙带展开的速度不断增加, 并且其加速度  $a$  是一个矢量, 方向与速度的方向一致。而另一方面, 水平外力 (摩擦力加上在水龙带固定端产生的张力) 矢量合成的结果指向与加速度相反的方向。这两个事实是如何与牛顿第二定律符合的? (为了简化分析, 假设整卷水龙带的初始动能远远大于其势能 ( $v_0 \gg \sqrt{gR}$ ), 这样, 重力的效应可以忽略。进一步设想可以认为水龙带是完全柔软的, 并且水龙带形变所需的功、空气阻力和滚动阻力都可以忽略。)



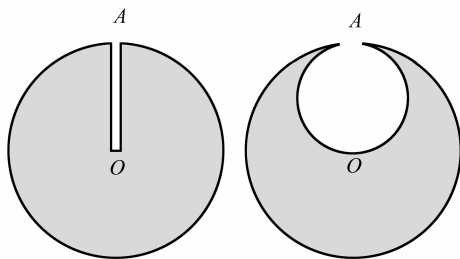
### 问题 109

把地球考虑为球对称的, 则地球的表面和地下 100 km 处, 哪个地方的重力加速度较大? 地球的平均密度是  $5\,500\text{ kg/m}^3$ , 地壳的密度是  $3\,000\text{ kg/m}^3$ 。(地壳的厚度可以认为至少有 100 km。)

### 问题 110\*

宇宙事件测试学会给它的一个专家发送了下面的简短报告:

一艘噬钛的小绿人的宇宙飞船发现了一个完全呈球形的小行星。从小行星的表面上  $A$  点到其中心的  $O$  点, 他们钻了一个很窄的试验用的矿井, 从而证明了整个小行星由均匀的钛组成。在表面上那一点, 突然发生了一个事件, 一个小绿人从小行星的表面掉进了试验井里。他毫无阻碍地掉了下去, 一直到达  $O$  点, 在那儿他因为撞击而去世了。然而, 工作仍然在继续, 小绿人们开始秘密地挖掘钛金属, 在这个过程中, 他们在小行星的内部形成了一个直径为  $AO$  的球形腔, 如图中所示:



然后, 第二个事件发生了, 另一个小绿人也类似地从  $A$  点掉到了  $O$  点, 死了。

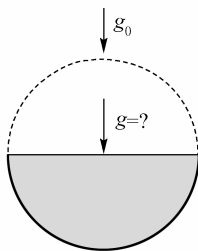
宇宙事件测试学会要求这个专家计算撞击速度的比值, 及这两个不幸的小绿人从  $A$  点掉到  $O$  点所用时间的比值。这个专家会在其答复中给出什么样的图像呢?

### 问题 111\*

上面问题中噬钛的小绿人继续着它们的开采。它们毁灭环境的行为的结果是, 不

久以后，小行星的一半被开采光了，如图所示，仅仅留下了一个规则的半球体。从小行星上开采的部分被运走了。

如果原来的球形的小行星表面的重力加速度为  $g_0 = 9.81 \text{ cm/s}^2$ ，请问余下的半球的圆形表面的中心位置的重力加速度是多大？



### 问题 112\*

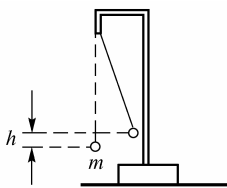
噬钛的小绿人发现了另一个质量均匀分布、半径为 10 km 的钛金属小行星。它们开始开采，并且将开采的部分运到小行星的表面。小绿人绕着小行星的赤道钻了一个宽度 1 m 的矿井，它们通过这个矿井来开采金属，直到它们将小行星完全切割成了两半。然后，事故发生了，将小行星分成两个半球体的支柱断裂了，小行星塌了下来。

宇宙事件测试学会的专家们需要计算在小行星坍塌之前，作用在支柱上的总的用力是多少？请帮助他们。

### 问题 113\*

一个半径为  $R$  的金属球，沿着一个平面被切成两部分，这个平面距离球中心的最小距离是  $h$ ，金属球均匀带电，总带电量为  $Q$ 。需要多大的力才能把球的这两部分合在一起？

### 问题 114



一个带正电的质量为  $m$  的小球，被一根绝缘线悬起，线的质量可以忽略不计。另一个带正电的小球从距离很远的地方缓慢地运动，直到它到达第一个小球初始的位置。结果第一个小球的相对于原来的位置升高了  $h$ 。这个过程中做了多少功？

### 问题 115\*\*

氢气以高压贮存在一个小的球形容器中。氢气被导入一个轻质气球中，因而内部压强慢慢变得与外界大气压相等。在容器处于最后的状态时，气球能够吊起这个容器吗？假定气体的温度恒为常数。

### 问题 116

在古时候，人们通常认为地球是扁平的。想象地球真的不是一个半径为  $R$  的球，而是一个厚度为  $H$  的无限大的盘子。如果要想体验与真正地球表面一样的重力加速度，

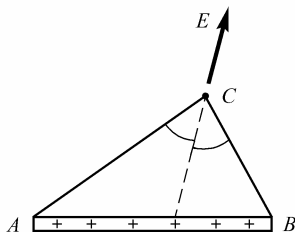




那么需要的  $H$  值是多大？（假定这两种模型中地球密度均匀而且相等。）

**问题 117\***

电荷均匀地分布在一根细长的绝缘棒  $AB$  上。请说明在任一点  $C$  上（如图所示），由棒产生的电场方向指向沿角  $ACB$  的角平分线方向。



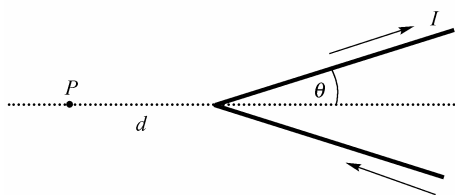
**问题 118**

利用上一题的结论，确定垂直于这个长的带电棒且包含它的一个端点的平面上的电场的大小和方向。

**问题 119**

在 19 世纪初期，荷载电流的金属线所产生的磁场无论在实验方面还是理论方面都是物理学研究的焦点。一种特别有趣的情况是一根通有恒定电流  $I$ ，被弯成张角为  $2\theta$  的“V”字型的非常长的导线。

根据安培的计算，对“V”字型之外、但在对称轴上且距“V”字型顶点为  $d$  的一点  $P$  的磁场强度  $B$ ，正比于  $\tan(\theta/2)$ 。然而，对于同样的情况，比奥和萨瓦尔却指出  $P$  点的磁场可能正比于  $\theta$ 。实际上，他们试图通过测量小磁针的振荡周期作为“V”字型张角的函数来判断这两种可能性哪种是正确的。然而，对于一定范围内的  $\theta$  值，预测的这两种情况的差别太小了以至于无法测出。



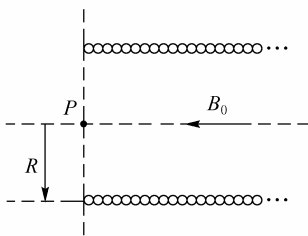
- (i) 哪个公式是正确的？
- (ii) 找出这个公式中的比例系数，并且

猜测在另一种情况下最可能的因子。

**问题 120\*\***

一直流电流沿着一个长度为  $L$ ，半径为  $R$  ( $L \gg R$ ) 的螺线管流动，在螺线管内部产生了大小为  $B_0$  的磁场。

- (i) 计算线圈末端，也就是图中所示的  $P$  点的磁场强度。
- (ii) 求线圈末端，也就是图中所示以  $P$  点为中心的半径为  $R$  的虚拟圆盘的磁通量。
- (iii) 画出  $P$  点附近的磁力线。



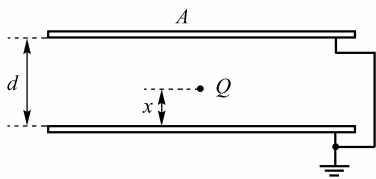
## 问题 121

两个平行并且靠近的绝缘板，使每个板的内表面均匀地带上  $+Q$  的电量。需要多大的力才能使这两个平行板结合在一起？

## 问题 122

两个平行板电容器仅仅板（很薄）间距不同；电容器  $AB$  的板间距为  $5\text{ mm}$ ，其电容为  $20\text{ pF}$ ，另一个电容器  $CD$  的板间距为  $2\text{ mm}$ 。平行板  $A$  和  $C$  带电量为  $+1\text{ nC}$ ，同时板  $B$  和  $D$  每个带电量为  $-1\text{ nC}$ 。当电容器  $CD$  沿中线平行滑入电容器  $AB$  之间且不接触到  $AB$  时，其电压  $V_{AB}$  和  $V_{CD}$  有什么不同？当  $CD$  在  $A$  和  $B$  之间但不在中心的情况下，结果会有什么不同？

## 问题 123\*



平行板电容器两板间的距离为  $d$ ，每个平板的面积为  $A$ 。如图所示，电容器的两个板都是接地的，在它们之间有一个小物体带电量为  $Q$ ，与其中一个板的距离为  $x$ 。请问每一个板上将会积累多少电荷？

## 问题 124\*

一个点状电偶极子被放置在上题讨论的电容器的两个接地的平板之间。偶极子的动量矢量  $\mathbf{p}$  垂直于板面并且距离平板的距离分别为  $x$  和  $d - x$ 。积聚在每个平板上的电量同  $x$  之间的关系如何？（忽略边缘效应。）

## 问题 125\*

图中所示介质在一定区域： $x > 0$ ， $y > 0$  的折射率随着  $y$  的变化而变化。一束细的光束沿着  $x$  方向垂直入射到介质表面上，并沿着一个圆弧形路径穿过介质。

请问折射率随着  $y$  是如何变化的？圆弧所对应的圆心角最大可能为多大？



## 问题 126

一个光盘（CD）大约包含  $650\text{ MB}$  字节的信息量。用最普通的尺子估计 CD 上的  $1\text{ bit}$ （比特）信息的尺度大小。用一束激光证实你的估计。你能估计一个信息单位的



形状吗？

### 问题 127

用一个 300 线/mm 的衍射光栅分析垂直入射光的一条特殊的谱线，发现位于  $24.46^\circ$  的一条线包含红色 (640 ~ 750 nm) 和蓝/紫色 (360 ~ 490 nm) 的混合成分。还有没有其他的一些角度可以观察到相同的现象？

### 问题 128\*

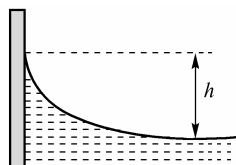
一束细的平行单色激光束垂直入射到一个衍射光栅上。当光栅绕着一个轴旋转时 ( $\phi < 90^\circ$ )，它在观察屏上产生的干涉花样将怎样变化？

(i) 轴平行于光栅的刻线；(ii) 轴垂直于光栅的刻线。

### 问题 129

两个漂浮的物体由于表面张力的作用而互相吸引，无论它们是浮在水面上还是浮在水银上。请解释其中的原因。

### 问题 130\*



一个干净的玻璃缸里的水形成一个凹透镜形状，如图所示。

计算凹透镜中心和边缘的高度差  $h$ 。水的表面张力  $\gamma = 0.073 \text{ N/m}$ 。

### 问题 131\*

有没有可能存在一个 (球形的) 水滴，它能够在不吸收热或不损失内 (热) 能的情况下蒸发？

### 问题 132\*\*

在一个密闭容器中有各种大小的液滴，液体不依附在容器壁上。经过足够长的时间，发现最小尺度的液滴变得更小了，同时较大尺度的液滴变得更大了，直到最后容器中只剩下一个大的液滴。怎样解释这种现象？

### 问题 133

一个水平的无摩擦活塞，其质量和热容可以忽略，将一个垂直的绝缘柱状容器分成两半。柱状容器的每一半包含 1 mol 标准温度和压强  $p_0$  下的气体。如图所示，现在

一个重量为  $W$  的重物悬挂在活塞上。它将活塞拉下，经过几个回合的振荡后停止下来。当  $W$  很大时，气缸下部分的压缩气体最终占据多大的体积？



### 问题 134\*

在地球上，可能的最高的山脉能够有多高？火星上的呢？

### 问题 135\*\*

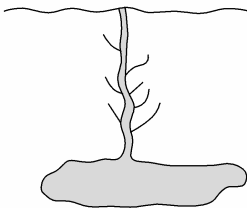
一个高为 152 cm 的下半部封闭的直玻璃管中充满了空气。它的上半部是水银并且玻璃管的顶部是敞开的。气体被缓慢地加热，到所有的水银被推出管子外面时传递给气体的热量是多少？画图表明在这个过程中封闭气体的摩尔热随它的体积是如何变化的（大气压是 760 mm 汞柱）。

### 问题 136

火山现象在冰岛是很常见的，但是冰川覆盖了其表面积的 11%。这就是冰川下的火山爆发也会经常发生的原因，如同 1996 年 10 月在欧洲最大的冰川瓦特纳约库下面发生的情况。在火山爆发的地点，冰川厚度有 500 m，而且冰川是比较光滑和平坦的。在经过一天的火山活动之后，火山爆发的显著标志是在冰帽的表面上出现一个很深的盆状凹坑，形状如同一个深度 100 m、直径 1 km 的倒立圆锥。请解释这个凹坑的形成。当时，在冰的凹坑下面将会看到什么情况？试图预言一下后面发生的事情。

### 问题 137\*

在黄石国家公园，最著名的间歇喷泉是老实泉喷泉。这个间歇喷泉可以看做一个很大的地下空穴，并且有一个很窄的通道通到地表。作为残余火山活动的结果，喷泉周围的地是热的，并将空穴内的水煮沸。在达到沸腾之后，窄通道内的水喷涌而出，在 4 min 之内，约有 44 t 的水蒸气喷出喷泉。喷射之后，地下的泉水在 20 ~ 30 min 之内会重新填满空穴和窄通道使水位达到地面，上面的情况会重复自身的过程。喷泉每隔 90 min 喷发一次。



地质实验表明在这个地区地下深度每增加 1 m，温度升高 1 °C，这就确定了地下空穴所处的最小深度。如果认为空穴处于这个最小的深度处，那么它的容积有多大？

### 问题 138

在一个大的湖面上方的空气温度为  $-2$  °C，同时湖水温度为  $0$  °C。假设只考虑温度



条件，应用下面所给的数据，估计在湖面上形成一个 10 cm 厚的冰层需要多长时间。

数据：

水的热导率  $\lambda_w = 0.56 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

冰的热导率  $\lambda_i = 2.3 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

冰的熔解热  $L_i = 3.3 \times 10^5 \text{ J/kg}$

水的密度  $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$

冰的密度  $\rho_i = 920 \text{ kg/m}^3$

### 问题 139

如果解冻一只 5 kg 的火鸡需要两天时间，那么估计一下，要使一头重 8 t 的西伯利亚猛犸解冻需要多久。

### 问题 140\*

将一块温度为  $-10^\circ\text{C}$ 、质量为 0.6 kg 的冰块放入一个  $1 \text{ m}^3$  的密闭空容器中，容器温度也是  $-10^\circ\text{C}$ 。然后，将容器温度升高到  $100^\circ\text{C}$ 。相对于只将空的容器升高到这个温度所必需的热量，需要的热量增加了多少？

### 问题 141\*

一个有坚固器壁的容器一半充着水，另一半充着空气。空气的初态为标准温度标准压强。容器是封闭的并被缓慢加热。容器中的水什么时候开始沸腾？当温度升高时，水以何种状态存在？

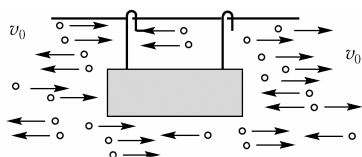
### 问题 142

在温度  $T$  下，玻璃橱柜中有两个长度均为  $l$ 、处于张力  $F$  下的蜘蛛网。由于受到空气分子的冲击而随机振动。如果网 A 的质量是网 B 质量的两倍，这些运动的振幅比值是多少？

### 问题 143

夜间的户外，经常有水蒸气聚集在蜘蛛网上，我们可以在上面看到非常小的相同的水滴组成的周期性的线。找出这些水滴之间的最小距离。

### 问题 144\*



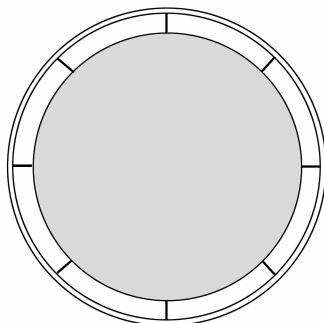
设想有一个圆柱体，它可以沿平行于其对称轴的直线无摩擦地运动。如图所示。

微小的粒子以速度  $v_0$  水平地运动，从左侧和右侧均匀地冲击柱体。圆柱体右端的碰撞是完全弹性碰撞，而圆柱体左端的碰撞是完全非弹性碰撞，尽管碰撞过后粒子不粘附在柱体上。问在下列情况下，圆柱体的速度会是什么样？

(i) 在一段较长时间之后；(ii) 在一段非常长的时间之后。

### 问题 145

一个全部黑色的球形空间探测器位于距离太阳系很远处。由于位于探测器内部的强度为  $I$  的核能源的加热作用，探测器表面温度为  $T$ 。现在探测器被封闭在一个薄的热防护罩中，防护罩两边均为黑色并且通过几个绝缘棒附着于探测器表面。试确定探测器新的表面温度；若使用  $N$  个这样的防护罩，也来确定一下表面的温度。



### 问题 146\*

30

两个绝热容器中盛放着相同质量的水。其中一个容器中的水的温度是  $T_1$ ，而另一个容器中水的温度是  $T_2$  ( $T_2 > T_1$ )。当这个系统被用来做热机时它能做的功最大是多少？在整个做功过程中认为水的比热是常数。

### 问题 147

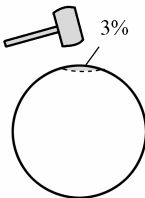
同样处于标准状态下 ( $T = 273 \text{ K}$  和  $P = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ ) 的 2 mol 氦气和 3 mol 氧气，它们的位置是相邻的，如果移走它们之间的隔板使它们相互混合，这时熵的变化是多少？

### 问题 148

缓慢地向 10 L 的容器中充气，容器中的压强增加到 10 倍的大气压。如果泵中活塞位移对应的体积是 1 L，那么在这个过程中做了多少功？容器和泵的器壁都是好的热导体，因此可以认为温度是常数。

### 问题 149

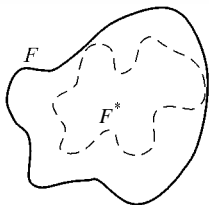
与地球电势相比，一个遥远的行星具有非常高的电势。从地球上发射了一艘金属制的太空飞船想要降落在该行星上。这个任务危险吗？当宇航员打开太空飞船的门，踏上这个行星表面时会发生什么样的情况？



**问题 150**

当一个球形电容器的表面如图所示凹进去，以致它的体积减少了 3% 时，它的电容量将变化多少个百分点？

**问题 151\***



一个封闭体，它的表面  $F$  是由金属箔做成的，相对于“无穷远”其电容为  $C$ 。现在箔表面凹进，新的表面  $F^*$  完全在原表面的内部或者在原表面上，如图所示。

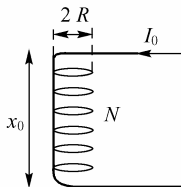
证明变形体的电容小于  $C$ 。

**问题 152**

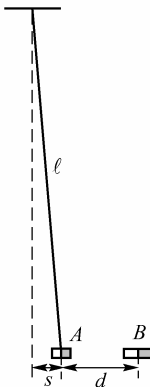
平行板电容器的面积为  $A$ ，初始时两板间隔为  $d$ 。两板与电压  $V_0$  相连接。如果要把电容器的两个极板拉开到  $2d$ ，需要做多少功？在这个过程中，电容器的能量改变了多少？

**问题 153\***

有一个  $N$  匝的螺旋状弹簧（如图所示），半径为  $R$ ，长度为  $x_0$ ，弹性系数为  $k$ ，当电流  $I_0$  流过弹簧时，弹簧的长度改变了多少？



**问题 154\***



一个非常短的磁铁  $A$ ，质量为  $m$ ，被一根长度为  $l = 1$  m 的线水平地悬挂着。移动另一个非常短的磁铁  $B$  慢慢地靠近  $A$ ，保持磁铁的磁极相互之间始终在同一水平线上。当两个磁铁间的距离为  $d = 4$  cm 时，磁铁  $A$  离初始位置的距离为  $s = 1$  cm，磁铁  $A$  自发地吸引移动向  $B$ 。

(i) 磁铁间的相互作用力和距离的关系为  $F_{\text{magnet}}(x) = \pm K/x^n$ ，正负号取决于两个磁铁磁极的相对指向。用给定的数据，找到系数  $n$  的值。

(ii) 磁铁  $B$  被放在一个垂直放置的玻璃管里，玻璃管的下端是封住的。磁铁  $A$  也放入玻璃管中，在  $B$  的上面，并使得两个磁铁相互排斥。

磁铁  $A$  在玻璃管中有掉转方向的趋势，但由于玻璃管的限制，不能反向。求出两个磁铁静态平衡时所分开的距离。

## 问题 155

一个电池组包含  $N$  个相同的电池，每个电池的电动势为  $\mathcal{E}$ 。当使用这个电池组连接一个电阻来给一个电容充电时，分  $N$  步来给电容充电的方法真的能减少能量的损耗吗？分  $N$  步充电的方法也就是先连接电容和一个电池充电，然后连接两个电池继续充电，这样一直到连接  $N$  个电池充电，而不是一次使用整个电池组给电容充电。

## 问题 156

一个“能量产生装置”，包括一个平行板电容器，两个极板的空间几乎充满了相对介电系数为  $\epsilon > 1$  的油。计算当两极板带电量为  $\pm Q$  时，电容器所储存的能量。两极板中间的油不能直接接触极板。现在，把油移出来，使得空气充满两极板的中间，这时重新计算储存的能量，可以看到能量增加了。试解释这一现象。

## 问题 157

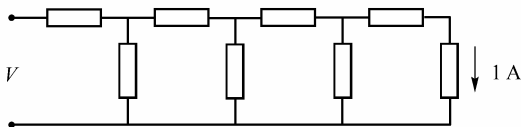
32

相对介电系数为  $\epsilon_r$  的绝缘层慢慢地滑过平行板电容器的两个极板中间，并完全充满两个极板间的空间。如果电容器的 (i) 电量，或 (ii) 电压在整个过程中保持不变，问有多大的力作用在绝缘层上？

在情况 (i) 和 (ii) 中，绝缘层是如何影响电容的能量的？

## 问题 158

如图，一个有限电阻链上的每个电阻都为  $1\Omega$ 。流过最后一个电阻的电流为  $1\text{A}$ 。

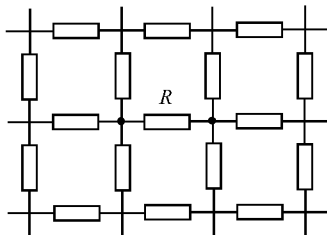


问电阻链的输入端的电压为多少？电阻链的等效电阻是多大？如果再增加一个或两个电阻，等效电阻如何变化？把所得到的结果和“无穷长”链的等效电阻做比较。

## 问题 159

见图所示，在“无穷大”格子中的所有元件有相同的电阻值  $R$ 。问相邻的两个格点之间的等效电阻是多少？

如果把格子中的所有元件都换成电容为  $C$  的电容







器，那么相邻的两个格点之间的等效电容是多少？如果格子中的所有元件都是电感系数为  $L$  的电感，那相邻的两个格点之间的等效电感是多少？

### 问题 160\*

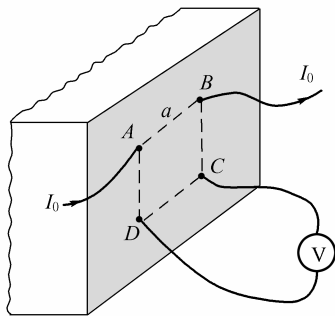
一个格子形状为规则多面体（如正四面体，正六面体，正十二面体等等），由许多相同的  $1\ \Omega$  电阻组成。问两个相邻格点之间的等效电阻是多少？

### 问题 161

前面的两个问题都是关于含有相同电阻的电学网络的计算（无穷大格子或规则多面体）。如果连接相邻两个格点的电阻被移走，试找到相邻两个格点之间的等效电阻？

### 问题 162\*

一个平面把空间分为两个部分。一半充满了均匀的导电介质，而物理学家在另一半空间里工作。他们在平面上画出一个边长为  $a$  的正方形的轮廓，并用精细的电极使一电流  $I_0$  在正方形的两个相邻角，一个流入一个流出。同时，他们测量另两个角之间的电势差  $V$ 。如图所示。问物理学家们如何用这些数据来计算均匀介质的电阻率？



### 问题 163\*

给你一个很大而又复杂的电路，其中包含许多电阻和其他的无源组件，希望测出电路中某个特定电阻的阻值而不把它分离出来（即，不把它从电路中拿出来）。现在提供一个电池组、一个安培表、一个电压表，它们的质量都很好。你怎样来进行测量呢？

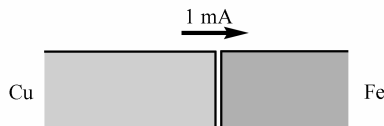
### 问题 164\*

一个立方体，每条边都是  $1\ \Omega$  的电阻。问立方体的体对角线的两个端点之间的等效电阻为多少？

考察一下一维，二维和四维的“立方体”。试找到一个  $n$  维的普适公式。

### 问题 165

$1\ \text{mA}$  的电流流過一根导线，导线的一段是铜一段是铁，两部分以相同的截面积焊接起来，如图所示。



在两种金属的边界上，有多少电荷积累起来？对应于多少基本电荷？

### 问题 166

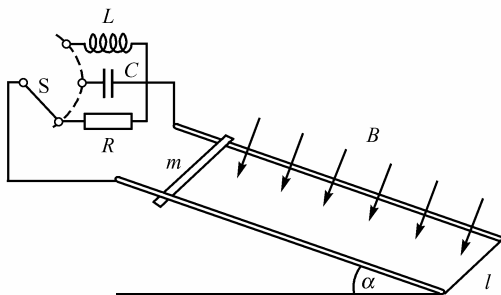
地球的磁场可近似为偶极子的磁场，在北极磁感应强度为  $6 \times 10^{-5} \text{ T}$ 。在伦敦上方，磁感应强度为  $5 \times 10^{-5} \text{ T}$ ，磁倾角为  $66^\circ$ 。

巨型喷气机的翼展为  $80 \text{ m}$ ，机身全长为  $60 \text{ m}$ ，高度为  $8 \text{ m}$ 。当飞机以  $720 \text{ km/h}$  的速度在下列各处水平飞行时，估计一下在它表面所能测得的电势差：

- (i) 在北极上方；
- (ii) 在赤道上方朝北；
- (iii) 沿赤道向东；
- (iv) 伦敦上方朝向西北。

### 问题 167

一个磁感应强度为  $B$  的均匀磁场，垂直于一轨距为  $\ell$  的导轨，轨道与水平面有  $\alpha$  的倾角。一根无摩擦的导体棒，质量为  $m$ ，横跨在两根铁轨上，如图所示。



如果由导体棒和轨道组成的电路在以下几种不同情况下被闭合，当从静止开始放开导体棒后，棒将会如何运动呢？

- (i) 一个阻值为  $R$  的电阻；
- (ii) 一个电容为  $C$  的电容；
- (iii) 一个电感为  $L$  的线圈？

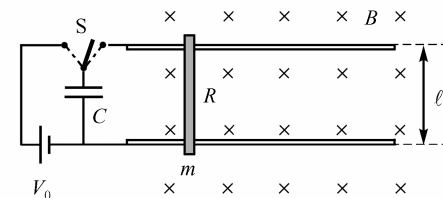
### 问题 168\*

一轨距为  $\ell$  的水平导轨，其电阻可以忽略，导轨一端与一个电容为  $C$ 、所充电压为  $V_0$  的电容相连接。该装置的电感可以忽略。整个系统放入均匀的竖直的磁感应强度为  $B$  的磁场中，如图所示。

一根无摩擦的质量为  $m$  电阻为  $R$  的导体棒垂直于轨道放在导轨上。电容的极性选择令导体棒当开关翻转时与电容相排斥。问

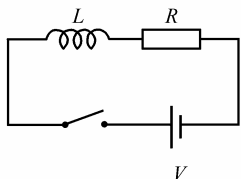
- (i) 导体棒的最大速度是多少？
- (ii) 在什么样的情况下，这个“电磁枪”

的效率达到最大？





**问题 169**



一个电阻和一个电感串联，并通过一个开关连接到一个电池上。

当开关闭合以后，问：

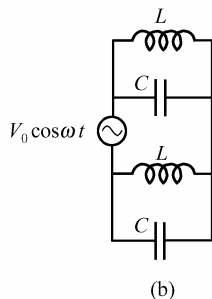
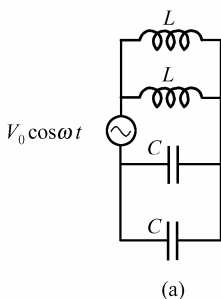
(i) 当线圈里所储存磁场能的增长率最大时，流过它的电流是多大？

(ii) 什么时候电阻损耗的焦耳热以最快速率变化？

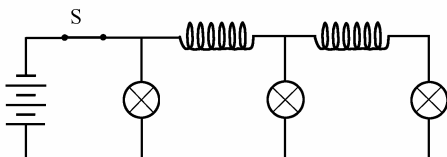
**问题 170\***

(i) 定性画出图中两个电路中从电源汲取的电流的大小作为  $x = \omega / \omega_0$  的函数，其中  $\omega_0 = (LC)^{-1/2}$ 。

(ii) 用图(a)中三个或更多的元件，组成 5 个新的电路，每个都表现为电流共振（在某个频率能从电源汲取的最大电流），振动频率不同。



**问题 171\***



图中所示的电路包括三个相同的灯泡和两个线圈，连接到一个直流电源。线圈的电阻可以忽略。

过了一段时间，开关 S 打开。问之后的瞬间三个灯的相对亮度如何？

**问题 172**

螺线管的圈数是为了提供一个给定的沿其轴线的磁感应强度而设计的，它充满了两个固定半径的同心圆筒之间的空间。如何选择所使用的直径  $d$  而使得线圈的热损耗最小？

**问题 173\***

一个固体金属圆柱体以角速度  $\omega$  绕它的对称轴转动。圆柱体处于与它的轴线平行的均匀磁场  $B$  中。圆柱体中的总的电荷分布是怎样的？是否存在一个角速度使得电荷分布处处为零？

## 问题 174\*

在固定在圆柱体上的转动参考系中，考虑前一个问题的结果。在这个转动参考系中描述电场和磁场。

(假定转动的角速度远远小于回旋频率 $\omega_0=eB/m$ ，其中 $e$ 和 $m$ 分别是基本电荷和电子质量。)

## 问题 175\*

杰克和吉尔被安排了与问题 173 类似的任务。他们要计算当在一个均匀磁场中转动时，在一根金属的自行车辐条上，而不是一个金属圆柱体中，形成的电荷分布。辐条绕垂直于它一端的轴转动。

吉尔知道问题 173 的解，她简单地运用了它。忽略了电子质量，她得到电荷密度为 $\rho = 2\epsilon_0 B\omega$ 。杰克的解则是基于一根自行车辐条是一根细长的金属棒的事实；因此他把这个问题考虑成一维的。在距离转动轴 $r$ 处的感生电场为 $E(r) = rB\omega$ 。

36

截取一段很短的长度为 $\Delta r$ 的自行车辐条，运用高斯定律，杰克得到电荷密度为： $(\rho/\epsilon_0)A \ r = EA = B\omega \ r \times A$ ，其中 $A$ 为辐条的横截面。从方程他得出： $\rho = \epsilon_0 B\omega$ ，这只有吉尔所得值的一半。

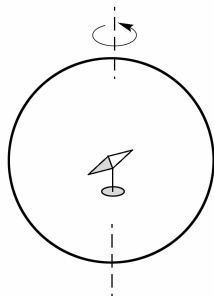
评论这两种不同的结果。

## 问题 176

一个半径为 $r = 0.1 \text{ m}$ 的金属圆环以恒定的角速度绕竖直的直径转动。如图所示，一个可自由地绕竖直轴转动的小磁针放置在圆环的中心。

当圆环静止时，磁针指向地球磁场的水平分量的方向。然而，当圆环以每秒 10 转的速度转动时，磁针从它原先的位置平均偏离了 $2^\circ$ 。

问圆环的电阻 $R$ 是多少？



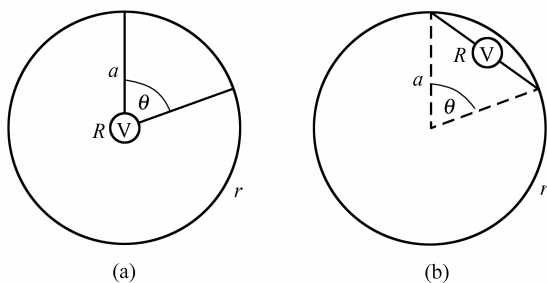
## 问题 177

把一根长度为 $2\pi a$ ，电阻为 $r$ 的均匀细导线的两端连接起来形成一个圆圈。一个小电阻为 $R$ 的电压表由电阻可以忽略的铅连接到导线圈的圆周上的两点，角间距为 $\theta$ ，如图所示。

一垂直于导线圈平面的均匀的磁场流密度，以速率 $\dot{B}$ 变化。问如果电压表放在下面的位置，电压表上的示数将会是多少？



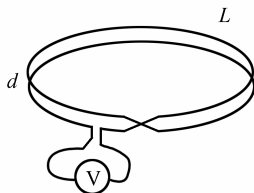
- (a) 在导线圈的中心；
- (b) 在连接两个接点的弦上。



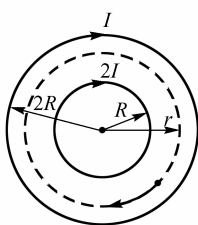
**问题 178\***

一个“扭转”的环状带子（称为莫比乌斯带）是由长度为  $L$ ，宽度为  $d$  的纸条制成。一根导线沿纸带的边缘绕了一圈，并连接到一个电压表上，如图所示。

当把纸带放入一个均匀的垂直于纸带所在面的磁场中，且磁场随时间均匀变化，即  $B(t) = kt$ ，电压表记录的数据为多少？



**问题 179**



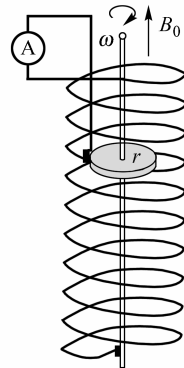
一个长的螺线管包括了另一个同轴的螺线管（它的半径  $R$  是外面螺线管的一半）。它们的线圈单位长度具有相同的圈数，且初始时都没有电流。在同一瞬间，电流开始在这两个螺线管中线性增长。在任意时刻，里边的螺线管中的电流为外边螺线管中的两倍，它们的方向相同。由于增长的电流，一个初始静止的处于两个螺线管中间的带电粒子，开始沿着一根圆形的轨道运动（见图）。问圆的半径  $r$  为多少？

**问题 180**

电荷  $Q$  均匀分布在一个质量为  $m$  的细绝缘圆环上，圆环初始处于静止状态。当打开一个垂直于圆环平面的磁场  $B$  时，圆环的角速度会加速到多大？

**问题 181\***

一个半径为  $r$  的金属圆盘可以近似无摩擦地在一个长而直的线圈中，绕一根平行



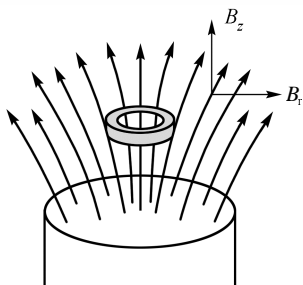
于线圈对称轴的杆转动。构成线圈的导线的一端连接到圆盘的边缘，另一端连接到杆上。线圈的电阻为  $R$ ，每单位长度有  $n$  圈。它被恰当地放置使得它的对称轴和地球磁场矢量  $B_0$  平行。

如果圆盘以角速度  $\omega$  转动，那么流过图中电流表的电流为多少？对两个转动方向，画出电流作为  $\omega$  的函数关系。

证明使圆盘转动所需要的功率等于线圈的电阻焦耳热的产生率。

### 问题 182\*

一个细的超导（零电阻）圆环放在竖直的圆柱形磁棒上面，如图所示。圆环的对称轴与棒的对称轴相同。在圆环周围的圆柱形对称的磁场可以近似地用磁场矢量的竖直和径向分量  $B_z = B_0(1 - \alpha z)$  和  $B_r = B_0 \beta r$  表示，其中  $B_0$ ， $\alpha$  和  $\beta$  是常数，而  $z$  和  $r$  分别是竖直和径向的位置坐标。



初始时，圆环中没有电流。当它被放开开始向下运动时，保持它的轴仍为竖直。从下面的数据确定，圆环随后如何运动？圆环中的电流是多少？

数据：

圆环的性质：

$$\begin{aligned} \text{质量} \quad m &= 50 \text{ mg} \\ \text{半径} \quad r_0 &= 0.5 \text{ cm} \\ \text{电感} \quad L &= 1.3 \times 10^{-8} \text{ H} \end{aligned}$$

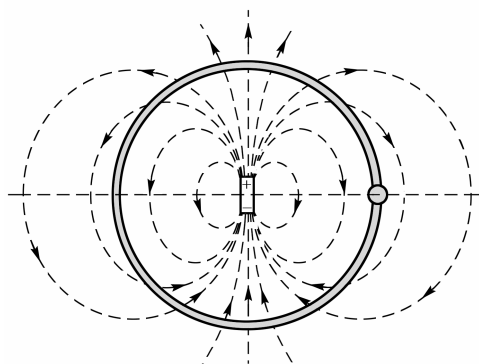
圆环中心的初始坐标：

$$\begin{aligned} z &= 0 \\ r &= 0 \end{aligned}$$

磁场常数：

$$\begin{aligned} B_0 &= 0.01 \text{ T} \\ \alpha &= 2 \text{ m}^{-1} \\ \beta &= 32 \text{ m}^{-1} \end{aligned}$$

### 问题 183\*



一个带电的小珠子可以在一个无摩擦的绝缘的圆环上滑动。一个近似点的电偶极子固定在圆环的中心，电偶极子的轴处于圆的平面内。初始时，珠子位于电偶极子的对称面上，如图所示。

珠子被释放后会如何运动？找出作用于珠子上的支持力。珠子在释放后的第一次停



止会在哪里？如果没有环，珠子会如何运动？忽略重力效应，假定电场力远远大于重力。

### 问题 184\*

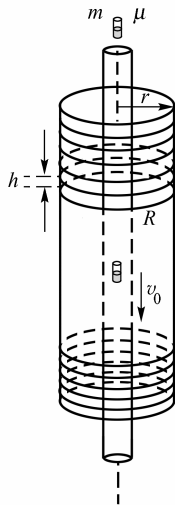
一个质量为  $m$  电量为  $Q$  的点状物体，初始静止，在一个均匀的重力场中被释放。如果它同时也被一个均匀的水平磁场所作用，问它会沿什么样的路径运动？

### 问题 185\*

一个细而长的竖直玻璃管被一个远远比它粗的外径为  $r$  的同轴玻璃管所包围。有许多离散的圆形导体环绕在粗玻璃管的外边，每个圆环电阻为  $R$ ，离散的距离为  $h$ 。

如果一个质量为  $m$ ，磁距为  $\mu$  的小磁棒掉入了细玻璃管，在相对较短的时间后，它到达了一个恒定的最终速度  $v_0$  后，以这个速度匀速下落。

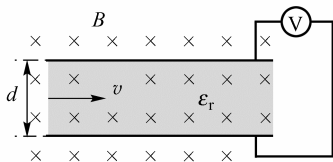
在接下来的研究中，五个提到的量 ( $m, \mu, h, R, r$ ) 中只有一个加倍，而其他四个保持原来的值。在每种情况下，磁棒的最终速度以什么因子改变呢？忽略力学摩擦和空气阻力，以及导体环的自感和互感效应。



### 问题 186\*

在一个真空箱中，10 A 的电流流過一根具有很高电导率的长的直导线。初始速度为  $v_0$  的电子垂直于导线从距导线的径向距离为  $r_0$  的一点开始运动。已知电子不能比  $r_0/2$  更靠近导线，试确定  $v_0$ 。忽略地球磁场的影响。

### 问题 187\*



一个初始时未充电的电容的两个极板之间的距离为  $d$ 。有一个磁感应强度为  $B$  的磁场，平行于电容的极板，如图所示。

当一电中性的相对介电系数为  $\epsilon_r$  的液体以速度  $v$  流过两个极板之间时，连接到电容的两个极板间的电压表的读数是多少？

### 问题 188

如果铀核分裂成三块而不是两块的话，铀核裂变所释放的能量会更高。尽管是这

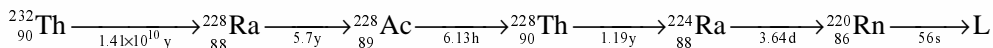
样，铀核的分裂只会分成两个核。为什么会这样呢？

### 问题 189\*

${}^7\text{Be}$  是放射性元素，半衰期为 53.37 天。当铍的同位素  ${}^7\text{Be}$  加热到几千度的高温时，它的半衰期改变了。如何解释这个现象？

### 问题 190\*

由钍-232 的衰变产生的部分同位素序列，以及相应的半衰期，在下面给出：



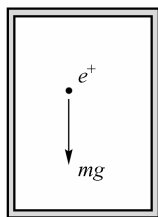
从矿石中提取出平衡态的钍-232 和钍-228，并通过化学过程来提纯。画出在  $10^{-3} \text{ kg}$  的这种材料中，氡-220 的原子个数在从  $10^{-3}$  到  $10^3$  年的范围（对数的）中，你所预期的变化趋势简图。

### 问题 191

如果质子撞击静止的质子时能够产生质子-反质子对，那么质子要通过多大的电压来加速？一个质子的静止质量的能量近似为  $1 \text{ GeV}$ 。

### 问题 192\*

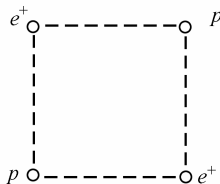
如果一个正电子在法拉第电笼中无初速地“落下”，那么它会如何运动呢？把正电子看做是经典粒子，受到电场力和地球重力，如图所示。



### 问题 193\*

两个正电子放在边长为  $a = 1 \text{ cm}$  的正方形的相对的角上。正方形的另两个角各放了一个质子，如图所示。

初始时，粒子保持在这些位置，所有四个粒子同时释放。当它们相互分开得非常远时，它们的速度为多少？粒子可以看做是在其他粒子的电场中运动的经典质点。重力可忽略。



### 问题 194

在开普顿散射实验中，静止的电子被能量等于一个电子静止质量的光子轰击。对于散射的光子和反冲的电子有相同大小的动量情形，找到它们之间的夹角。此时反冲





电子的速度是多少？

### 问题 195

X 射线光子被初始静止的电子以  $90^\circ$  散射。光子的波长变化了多少？

### 问题 196

想象一个“经典的电子”为一个小圆球。如果它的静电能不大于总的静止能量  $mc^2$ ，它的最小半径为多少？如果它的角动量为  $h/(4\pi)$ ，它的角速度为多少？如果总的电子的静止能量由静电场提供，那么对应的它的“赤道速度”要到达多少？

### 问题 197\*

一个电子被装在大的长方形的箱子中。估计由重力效应产生的被电子所占据的层（在箱子的底部）的厚度的数量级。

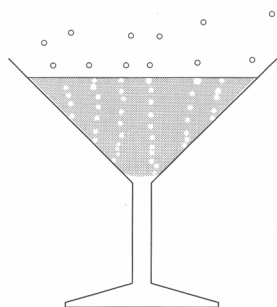
### 问题 198\*

经典地，一个原子核的库仑场可以把一个电子束缚在核周围。然而，海森伯不确定原理预言对一个电子如此高的动能限制在这么小的空间里，以至于它可以在任何情况下逃离原子核。对一种超铀元素，把一个电子限制在核周围并维持相当长的时间，若元素自身足够稳定，需要多大的原子序数？

### 问题 199\*

如何用水的表面（毛细）波的速度和水中声波的速度来估计水分子的大小？波长为 1 cm 的表面波的传播速度近似为水中同样波长的声波速度的  $1/10000$ 。

### 问题 200



祝贺你，亲爱的读者！你已经到达了本书的最后一个问题，祝贺你们的最佳方法就是为你的健康喝一杯香槟。很遗憾，这种赞赏无法实现——不过我们至少可以在最后选一个关于香槟的问题

香槟中的气泡大家很熟悉。它们几乎都是在香槟杯中的一些特定点形成的，并会从这些点越来越快地上升。为什么香槟中的气泡会加速呢？

**提示 1**

将蜗牛的速度矢量在适当的坐标系内分解,有多种分解的途径,从而会导致不同的解法,各种解法最终都得到相同的答案。路径的方程可以通过极坐标中速度的表达式得出。

**提示 2**

计算能让物体不停留在桌面上的最大摩擦系数。

**提示 3**

情况(i)很简单,因为船速大于水流的速度。对情况(ii),选择合适的辅助矢量可以帮助决定船夫可以划向哪个方向,但是对应最短路径的方向仍需选择。

**提示 4**

虽然地毯被拉动的部分具有恒定的速度,但是质心的速度却要小一些。这是因为被拉动部分的质量在不断地增加。

**提示 5**

画出蜗牛的“时空”界线。利用不同惯性参考系中的等效性也可以得到结果。

**提示 6**

比较两条虫子质心升高的多少。

**提示 7**

可在能量守恒和静态平衡条件的基础上求解。

**提示 8**


先确定,如果冰山下沉一小段距离 $x$ 后,浸没部分增加的体积。使用漂浮条件来联系冰山的质量和整体大小。

**提示 9**

停在人行道上时,弹簧承受的合力不变,同时相对任意轴的净力矩一定为零。

**提示 10**

题解中最迷人的地方在于:摩擦力怎样同时平衡冉阿让的重力和墙的反作用力。

**提示 11**

从粘合球的几何中心到质心的距离不能超过一个固定长度，找出这个长度。

**提示 12**

将球的运动分解在平行于斜面和垂直于斜面两个方向。

**提示 13**

因为运动有加速度，仓鼠将作用于平台一个力，这个力的力矩将与仓鼠的体重在中轴上形成的力矩平衡。

**提示 14**

找一辆自行车试一下。

**提示 15**

根据牛顿万有引力定律，使用太阳的密度来表示它的质量。

**提示 16**

比较一颗星在另一颗星的位置上产生的场，并与地球在太阳引力场中的情况相比较。

**提示 17**

空间探测器应该在赤道上向东方发射。

**提示 18**

考察不同情况下提供的能量。

**提示 19**

系统（即蜂蜜加钢球）的质心在稳定地下降，系统的总动量可以通过质心下降的速度求得。减去钢球的动量即得到蜂蜜的动量。

**提示 20**

当容器壁的温度与气体的温度不同时，气体分子与容器壁碰撞时，是得到了能量，还是将能量传给了容器壁？

**提示 21**

两个铁环温度的不同在于铁环质心的移动方向不同。

**提示 22**

读这本书的人不需要提示。

**提示 23**

这种情况是可能的——而且只需用到两个电阻！

**提示 24**

考察当水漏走时，水和水桶共同的重心如何变化。

**提示 25**

在何种情况下加入一点水就会不可避免地使整体的重心升高？

**提示 26**

我们断言水不会流进碗里。为了证明这一点，作用在链子上的力以及该力产生的力矩都要考虑在内。

**提示 27**

题解中惟一不同寻常的地方在于浮力的计算。

**提示 28**


因为泡泡漂浮在空气中，泡泡的平均密度应该和空气的密度相同。

**提示 29**

在毛细管的另一端，曲面的压力平衡了液体内部的压力和大气压力之间的差别。

**提示 30**

整个系统（包括电流分布和电场）是球形对称的，因此磁场也应该是球形对称的。考虑什么样的球形对称磁场与（实验观察到的）并不存在的磁单极子的磁场相同。

**提示 31**

利用电荷分布的对称性。

**提示 32**

仅仅比较重力加速度是不够的，因为并不清楚跳高运动员离开地面时是否会有相同的初速度。需要分析在起跳过程中跳高运动员质心的运动。

**提示 33**

不需要精确求出时间间隔和路径的长度；只需要确定与他们相关联的不等式。

**提示 34**

将绳子的张力分解在半径方向和切线方向，绳子的方向可以通过均匀圆周运动的动力学条件求得。

**提示 35**

证明在任意瞬间，从同一点同时从无摩擦的金属丝上向不同方向滑下的物体，在一个共同的（想像中的）球面上。

**提示 36**

本题使用固定在分针臂上的转动参考系，可以用很基本的方法解答。

**提示 37**

石头远离抛石者，直到平行于位置矢量的速度分量为零。如果这一点不会发生，则题目中给出的条件将得到满足。

**提示 38**

假设蚱蜢的轨迹（在最小的离地速度下）最高点就是树干的高度是错误的。

**提示 39**

很明显它们直接跳向对方是不可能没有灾祸发生的，因此考虑其他的方向同时保留该情况下的对称性。注意题目给出了毛发的质量。



## 提示 40

必须要确定喷射出的水流的共同形状以及他们的包络层。它们从相同的地方以相同的初速度喷出，遵循抛物线的轨迹。考察决定喷出水流是否通过空间给定点的条件。

## 提示 41

说明

$$R = \frac{v^2}{g} \left[ \sin 2\theta + \frac{EQ}{mg} (1 - \cos 2\theta) \right]$$

最大值对应的  $\theta$ 。

## 提示 42

通常两个食指作用在棍子上的支持力是不同的，因而最大静摩擦力一端比另一端要小，滑动就会发生在小的这一端。然而，因为滑动端的支持力在滑动的过程中是不断增加的，动摩擦力也会不断增加，到了大于另一端的静摩擦力的时刻，滑动会在第一个手指处停止而在第二个手指处开始。在全过程中两个手指会交替滑动和固定。做的功可以由各个阶段的长度计算得出。

## 提示 43

滑动的过程应该从上面开始！正确的策略是将最上面的砖滑动得尽可能远，然后对上面的两块砖作为一个整体做同样的事，并依此向下类推。

## 提示 44

由作用在板上的力和力矩平衡可以得到摩擦力之间的关系。建议采用图解的方法来处理导出的线性方程。

## 提示 45

必须作为一系列连续的碰撞过程来考虑。

## 提示 46

说明在第一次碰撞时，初始动能传递给中间球的份数为  $4\mu M / (\mu + M)^2$ 。

## 提示 47

在碰撞过程中，系统的动能、动量、角动量均守恒。

## 提示 48

将运动分解为质心的运动和质心参考系内的运动。说明考虑能量和角动量守恒定律，当绳子第一次被拉紧时，两个粒子质心速度的大小不变，但是方向转动  $\pi/2$ 。按此结果，它们其后沿平行  $x$  轴的方向运动。

## 提示 49

通常的推理会假设水池 1 min 会注入  $1/3$  的水，而同时  $1/2$  的水会从池中流走（因此每分钟  $\frac{1}{2} - \frac{1}{3} = \frac{1}{6}$  的水会从池中流走），这是错误的。从水龙头中注入水池的水流是均匀的，但是（按照托里拆利的流体定律）水池中的水位越高时，水流走的也越快。

## 提示 50

说明自由液面是旋转抛物面  $z = \omega^2 r^2 / 2g$  的一部分，其中  $z$  由自由液面的最低点量起， $r$  是从中轴量起的半径。考虑液面上但仍在容器中的空气体积。

## 提示 51

在力学中，汽车本身并不构成封闭系统，它与周围环境相关联。在本题中，和它关联的对象是地球。

## 提示 52

焦距可以由透镜成像公式和给定的放大率计算出来，亮度值之比不但与像的大小有关，而且和到达透镜的光线总量有关。

## 提示 53

题目中的观察者所看到虚像的大小并不是成像本身的大小，而是与此成像对眼睛所成的角度有关。



## 提示 54

(由折射定律和全反射定律) 我们有  $n_g \sin(\theta + \phi) = n_w$ , 其中  $\phi$  为光线入射进棱镜处, 棱镜内部光线和表面法线之间的夹角〔折射角〕。

## 提示 55

在紧邻棱镜和距离棱镜非常远处都不会出现光斑。光斑的最近位置由棱镜内部的全反射决定; 而光斑最远的位置可以通过把棱镜接近桌面的部分看做一个平凸透镜来计算。

## 提示 56

假设照射在月亮表面的太阳光线被月亮以给定的反射率散射开来, 计算在地球表面单位面积接收到的光能量。

## 提示 57

最自然、最舒适的行走频率与把人的腿看做自由摆动的钟摆的周期相关; 而跑步可以视为腿在做受迫振动, 其振荡的周期与腿的惯性及肌肉施于其上的拉力有关。

## 提示 58

选择合适的单摆长度, 可以使单摆的角速度在任何位置均与摆动细杆的速度相等, 然后再比较这样的单摆和题目中满足给定要求的单摆的周期。相同摆动角度但长度不同的两个单摆周期的比值可以通过量纲分析得到。


## 提示 59

〔解决本题的关键是〕找出盘旋所需要的动力都与哪些物理量有关。

## 提示 60

使用能量守恒定律来确定木棒的角速度  $\omega$  随其倾斜角度  $\theta$  的变化, 再把木棒与桌子之间的相互作用和它们产生的加速度联系起来。对情况 (i), 小槽的光滑水平和竖直面只能分别产生作用于棒端的水平和竖直作用力。对情况 (ii), 桌子的边缘是一个非常小的圆弧, 因此其支持力总是沿棒的轴向。



**提示 61**

当摩擦系数较小时，笔尖“向后”移动。当摩擦系数大于某个特定的临界值（计算得出约为 0.37）时，笔尖将“向前”移动。考虑到滑动摩擦使机械能减少的事实，可以看到铅笔尖将一直保持与桌面的接触。

**提示 62**

利用理想气体状态方程来表达空气的质量守恒。同时注意，在相当长的一个时间段内，系统的温度将保持不变。

**提示 63**

由于存在水的表面张力（曲率张力），玻璃板间水的压强比大气压强低。

**提示 64**

计算丝线上的点在每一给定时刻的速度。

**提示 65**

考虑固定在丝线上的“弹性”参考系。

**提示 66**

寻找数学上简单容易处理的运动轨迹，通过这个轨迹，小球可以达到尽可能高的速度，并因此赢得时间以抵消路径的增长。

**提示 67**

从图中你可以得到题目中没有给出的角度，它们可以作为题目的已知条件。

**提示 68**

圆规的质心位于悬挂点的正下方。当圆规两臂的张角改变时，虽然每一条圆规臂的质心位置会发生变化，但其总质心的水平相对位置应保持不变。利用这样的分析结果，可以通过简单的计算解决此问题。

**提示 69**

用矢量表示平衡条件。

**提示 70**

注意到整个系统没有受到任何水平外力的作用，因此质心的水平位置应保持不变，同时可以应用线动量守恒定律。基于以上分析可得，罐车开始时向前运动，但后来会向后运动。令人不解的是罐车竟然可以改变它的运动方向，为了更好地理解这个结果，先分析以下的问题会有所帮助。

质量均为  $m$  的一个未购票乘客和一个认真的售票员同处于一个质量为  $M$  的，静止、与轨道无摩擦的火车车厢内。当售票员发现该乘客没票时，售票员以速度  $v$  追赶着他一并来到车厢尾部。无票乘客在车厢尾部停下来并跳了出去，请分析售票员在跑向尾部敞开的车门，停在那里看着无票乘客逃走的情况下车厢的运动速度。

**提示 71**

在两个小珠子的质心参考系中考虑它们的运动。

**提示 72**

在完全非弹性碰撞情况下，经过足够长的一段时间，粘在一起的质量逐渐增长的珠子将达到一个恒定的速度，对这个粘在一起的簇使用牛顿定律。对于完全弹性碰撞，首先研究一下如果外力只在第一次碰撞之前起作用会发生什么情况。

**提示 73**

请考虑桌子、壶和啤酒共同的质心在整个过程中的变化。

**提示 74**

水的黏性可以认为很小，同时与其动能相比水柱的势能变化可以忽略。注意到水槽无法改变水流的水平动量，可以考虑利用伯努力方程（多次）。

**提示 75**

当液体开始以加速度  $a$  流动时，求出在很短的时间间隔  $\Delta t$  内，最初静止的液体其动能和势能变化的表达式。

**提示 76**

经验告诉我们，沙子流经沙漏中部小孔的速度与其上部沙子的数量无关。这可以解释为，由于沙粒之间的摩擦，沙子流出的平均速度只与其邻近的环境有关，主要取



决于孔径，而与沙体较远部分的作用无关（这和液体的规律不同，液体内部的压强可以传递很长的距离，见问题 49）。因而，沙子通过小孔的时间一定与初始时沙体高度的立方成正比。找出其他可能的相关量，然后使用量纲分析的方法解决问题。

#### 提示 77

对于小位移的情况，作用于小球上的合力为  $F(x) \approx -kx^3/l_0^2$ ，其中  $k$  为弹性系数。利用量纲分析可以推出周期基于弹性系数、小球的质量和运动的幅度的关系。

#### 提示 78

在给定的条件下，球体水平方向和竖直方向的运动均可近似看作简谐振动。

#### 提示 79

在减速运动的火车车厢参考系中描述小球的运动会比较方便。

#### 提示 80

在楔形木块参考系中考虑问题会比较方便。

#### 提示 81

在何种条件下一根长细线可以在赤道上方的同步轨道上稳定地运动，即角速度与地球转动的角速度相同。

#### 提示 82

小汽车加速度的法向分量是  $a_n = v^2/\rho$ ，其中  $v$  为汽车的速度， $\rho$  为桥梁的曲率半径。后者可以通过分析抛物运动得出，抛物线的轨迹正好与桥梁的表面形状是一致的。

#### 提示 83

在求解过程中，核心问题是求出轨道相应点的曲率半径（见提示 82）。

#### 提示 84

在任何时间段内，船和目标位置之间距离的减少与船被水冲下的距离相等。

#### 提示 85

计算被推小孩的速度和其速度沿斜坡向下的分量在单位时间内的变化，找出这两个量的变化率之间的关系。



## 提示 86

注意比较一下走私船与警卫队快艇之间距离的减少率和海岸警卫队快艇离开海岸的速度之间的关系。

## 提示 87

由于这个问题的对称性，所以每一个质点将一直保持位于不断减小的正  $n$  边形的各个顶点上，它们都好像只受到位于中心位置的物体（其质量为某个合适的  $M_n$ ）的万有引力作用一样。整个系统塌缩进中心位置所需要的时间，可以通过开普勒第三定律来求解。

## 提示 88

求解过程中需要利用所有的三个描述行星运动规律的开普勒定律。

## 提示 89

利用磁偶极子产生磁场的大小和方向公式，在极轴（高斯位置  $A$ ）上磁场为  $B_{\parallel} = 2\kappa\mu/L^3$ ，在赤道（高斯位置  $B$ ）上磁场为  $B_{\perp} = \kappa\mu/L^3$ ，其中  $\kappa$  表示  $\mu_0/4\pi$ 。

## 提示 90

点电荷所受到的力可以通过所谓的镜像电荷的办法得到。这个力类似于万有引力，与距离的平方成反比，因此点电荷的运动可以利用开普勒定律把它当成沿退化椭圆轨道的运动来研究。

## 提示 91

利用镜像电荷法可以求出电场强度，以及塑料球下水面的电荷密度。由于作用在小球下水面上的静电力而产生的“负压”，应该与其由于水面隆起而产生的流体静压力相互平衡。

## 提示 92

可以利用球形镜像电荷法解决问题。这个方法的基本思想为，两个异号、带电量不同的点电荷能够产生一个球对称的零等势面。

## 提示 93

解决这个问题，实验室参考系和质心参考系都需要用到。

## 提示 94

如果把题中所述的物理过程用慢镜头回放，可以看到在碰撞之后，第一个台球停止下来并在原地转动，而第二个球则运动起来但无转动。因此，在整个碰撞过程中，第一个台球只是把动量传递给第二个球，角动量却保留了下来。碰撞之后，摩擦使得第一个球向前运动，但转动越来越慢。同时，摩擦使得第二球平移运动越来越慢，同时增加了转动。然而，每一个小球相对于其与桌面的接触点的角动量保持不变。

## 提示 95

考虑能量守恒，但是别忘记耗散的能量，如热能。

## 提示 96

考虑小球相对于桌面上、其运动轨迹上一点的角动量，这个参考点是固定的。

## 提示 97

说服你自己，这个问题只和东西方向的动量分量有关。

## 提示 98

解决问题的关键，一是动力学方程，二是直线加速度和角加速度的关系。

## 提示 99

从能量和动量的角度看，系统不是封闭的，因此这些量不守恒。题中所描述的有关现象，可以通过角动量守恒来解释。

## 提示 100

考虑对中心转轴成  $\Delta\theta$  角度的一小段圆环所受到的力。

## 提示 101

先计算绳子位于圆柱夹角为  $\Delta\alpha$  的任意两点之间的受力差  $\Delta F$ 。它与作用在圆柱上的正压力成正比，即正比于  $F$ 。考虑一个等效的现象，一个量的变化正比于它自己（例如辐射衰减，电容放电等）。通过类比就可以求得绳子上的摩擦力。

## 提示 102

詹妮建议查理考虑一个以固定角速度围绕垂直通过质心的轴转动的圆环。然后确



定哪些力作用在圆环上，并且进一步考虑从圆环上切下来的任何一部分的质心是怎样满足牛顿第二定律的。

### 提示 103

万有引力同时加速运动部分和紧密相连的静止部分，这意味着移动链的质量变化必须要被考虑在内。

### 提示 104

在随链条质心运动的参考系中，可以不考虑重力，在这个参考系中，链条只有质量而不受重力。考察链条上一个微元的运动与受力情况，微元具有曲率半径  $R$  和不变的运动速度  $v$ ，就可以发现它的形状将如何改变（参见问题 100，问题 101 和问题 102）。会发现，弗兰克的猜想是正确的，链条将维持原来的形状。

### 提示 105

计算链条离开滑轮时的张力。使用能量守恒定律（参见问题 104）。

### 提示 106

采用环的圆心与环运动速度相同的参考系。在此参考系中，任何一个圆环微元都以速度  $v$  做匀速圆周运动。这些条件决定了圆周运动的动力学，并由此导出关于  $v$  的等式。

### 提示 107


考察在单位时间内落到传送带上的沙子的水平动量的变化。考虑有关的能量也是很有用的。

### 提示 108

应用能量守恒定律，然后通过计算滚动速度作为卷起的水龙带的位置的函数，求得动量的改变，从而求得作用力。

### 提示 109

质量均匀分布的薄球壳在其内部产生的重力场为零，而在球壳外部的重力场分布，同把球壳总质量认为集中在球心时的情况相同。

**提示 110**

均匀球体内部的重力场与球半径成正比（参见问题 109）。本题中内部被挖空的球体的重力场能够通过均匀球体和一个“负质量密度”的小球的重力场的叠加而求出来。

**提示 111**

将半球分成等厚的半球壳，证明这些球壳的每一个都在所求的位置上产生相同的重力场。

**提示 112**

计算一个“神秘巨人”要将小行星（已切开）等分成距离 1 m 的两半需要的作用力。

**提示 113**

58 电场施加了一个力，这个力的大小正比于切割后暴露出来的表面面积，方向与表面垂直。注意这个力与由于液体或气体压强产生的力是相似的。

**提示 114**

初看起来好像好几个参数都不见了。不用担心这个问题！先找到平衡态然后计算出在这种情况下系统的静电能。

**提示 115**

先找到初始时容器不会爆炸时所能容纳的最大的氢气量。容器的制造材料可以在实际材料中自由选取。

**提示 116**

引力定律和静电场定律是非常相似的，利用这种相似性并应用高斯定理。

**提示 117**

分析对着  $C$  点所张角为  $\Delta\alpha$  的一小段棒上的电荷元所产生的电场。

**提示 118**

考虑两个端对端地连接在一起的非常长的棒。

**提示 119**

在  $\rho$  接近  $p$  的情况下你可以辨别出正确和错误的公式。应用著名的长的通有直流电流的直导线所产生的磁场公式来寻找比例系数。

**提示 120**

设想另一个同样的线圈在  $P$  点与原始螺线管对称地连接在一起，在第二个线圈中允许流过与原始线圈同样的电流，然后应用叠加定律。

**提示 121**

如果假想将其中一个板上的正电荷换成相同大小的负电荷，那么很容易找出所求的力。另一方面正正电荷的平行板的电场线结构与正负电荷的装置所对应的电场线结构完全不同。

**提示 122**

切记单个盘上的总电量是不能改变的。

**提示 123**

如果认为点电荷  $Q$  均匀地分布在距下面的平板为  $x$  的一个平板上，那么每个平板上的总的感应电荷是不会改变的。

**提示 124**

板外的总电场必定为零。这条人们熟知的电荷分布的事实会产生什么样的结果呢？


**提示 125**

想象将介质沿着垂直于  $y$  的方向切成薄层。离散的那些薄层可以被看作折射率不同的平行板，每层折射率和光线入射角之间的关系可以被确定。

**提示 126**

应用最简单的几何学，你能够测量出一个 CD 的有效表面积。为了得到所需要的结果，用  $650 \text{ M}$  除这个面积，然后再用  $8$  除这个面积，因为一个字节等于  $8 \text{ bit}$ 。你可以将一个 CD 看作一个反射光栅，并用一束已知波长的激光来测量它的衍射花样。



**提示 127**

确定复合谱线的  $n$ ?, 并考虑  $n$  的可能值,  $n$  为衍射谱的序参数。


**提示 128**

在情况 (i) 中, 光程差由两部分组成: 一部分光程差在光栅的前面产生, 另一部分在光栅的后面产生。

在情况 (ii) 中, 研究单缝的衍射图而不是来考虑光栅的衍射, 并且单缝“向前”倾斜一个角度  $\phi$ 。

**提示 129**

画示意图来显示物体之间的液体高度及空间的压强, 并与另一边相比较。

**提示 130**

找出作用在凹透镜上的水平力。

**提示 131**

在蒸发的过程中, 水滴的表面积收缩, 表面能减少。比较这种能的减少和蒸发所需要的能量。

**提示 132**

较小的液滴表面附近的平衡饱和蒸汽压比较大一些的液滴表面附近的饱和气压稍微高一些。容器底部的气压是均匀的, 因此它的值比大液滴的平衡值要高, 比小液滴的要低。结果, 蒸汽从小液滴蒸发, 使它们变得更小, 同时聚集到大液滴上, 使它们变得更大。将一个毛细管插入容器中的一部分液体, 通过考虑此时的压强平衡, 就可以推出饱和气的平衡气压和液滴曲率之间的关系。

**提示 133**

封入容器的气体, 内能的增加等于悬挂在活塞上重物的势能的减少。

**提示 134**

如果山脉很高的话, 它的基底就会由于高压而熔化。比较熔化山脉底层所需要的能量和如果山脉下沉所释放出的重力能。



## 提示 135

如果在  $p$ - $V$  图上画出封闭气体的状态, 我们可以得到一条直线。当意识到在某些点, 这条直线正切于一条等温线或绝热线这个含义时, 这个问题隐含的美妙部分就被揭示出来了。

## 提示 136

你的解释应该基于熔化的岩浆与冰之间的作用。

## 提示 137

窄的管道中的静水压强增加了空穴中的水压, 所以空穴中的水通常在高于 100 的温度下沸腾。饱和水蒸气的温度和压强之间的关系可以通过查表或者使用近似的定律

$$p = Ae^{-L_m/(RT)}$$

其中,  $p$  是在沸点  $T$  的饱和水蒸气压,  $L_m$  是水的气化摩尔热,  $R$  是气体常数,  $A$  是与压强量纲有关的常数。当间歇喷泉喷发的时候, 空穴中过热的沸水直到冷却到 100 才又一次达到平衡。

## 提示 138

当形成的冰层的厚度为  $x$  时, 考虑这一层底部的热平衡。

## 提示 139

对于相似的物体, 设消耗的时间随着物体线度的平方变化。

## 提示 140


在这个问题中, 隐藏了一个与水的汽化热有关的“陷阱”。在 100 和一个大气压下, 水的汽化热 (可以查表得到标准值为 2 256 kJ/kg) 不但要考虑水蒸气具有更高的内能, 而且要考虑膨胀时克服大气压所作的功。

## 提示 141

当一种液体的饱和蒸汽压达到或超过液体上方的气体压强时, 它就开始沸腾了。

## 提示 142

考虑怎样把  $T$  包含进振幅的公式。

**提示 143**

比较一个长的水柱的表面能（假设蜘蛛网上均匀地覆盖着水）和周期性水滴的表面能。

**提示 144**

柱体保持加速直到接受到的由于粒子从柱体左侧和右侧与之碰撞产生的净动量为零。经过一段非常长的时间，柱体将停止运动，这与热力学第二定律相符。

**提示 145**

既要考虑空间探测器对热的发射和吸收，又要考虑接下来它的防护罩内表面和外表面对热的发射和吸收。

**提示 146**

在过程中系统的熵不能减少。

**提示 147**

从微观态数目的角度来考虑熵。

**提示 148**

计算充进容器中的气体熵的变化。

**提示 149**

太空飞船里面的电场强度是零，正如法拉第笼中的情况一样。检查在旅行过程中太空飞船的电势是否变化。

**提示 150**

当球形电容器带一组电荷时，检查它的能量变化。

**提示 151**

比较凹进和没有凹进的箔的静电场能。

**提示 152**

电容器的两个极板上异性电荷互相吸引，因此把两个极板拉开必需要做功。电容



器的电容下降，而且在给定的电压  $V_0$  下，电容器的静电能正比于它的电容  $C$ ，所以电容器的能量下降了！对于这种佯谬的解释是：不能把一个连接着电源的电容器看做一个封闭的系统。

### 提示 153

因为电流方向在每个小圈里都指向同一方向，弹簧会收缩。这种收缩的力是由电流产生的，这可以通过考虑一个超导的螺旋状弹簧（在非常低的温度下可以实现）来得到。电流可以通过这样的一个超导体线圈，即使它的两端被短路。检查这个闭合系统的能量对它长度的依赖关系。

### 提示 154

找到作用在磁铁  $A$  上的净作用力（磁力，重力和线的拉力的合力）作为一个函数和两个磁铁间距  $x$  的关系  $F(x)$ 。运用  $F(x)$  来确定磁铁平衡和稳定的条件。

### 提示 155

计算电池所做的总功。

### 提示 156

记住当油移出时电量并没有改变。

### 提示 157

电场的能量（每单位体积）是正比于电场强度的平方和介质的介电常数：
$$W_{\text{el}} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon_r E^2$$
。在电容器两极板之间电介质降低了电场（电介质极化的结果），因此系统的能量也减少了。作用在电介质上的力可以通过能量的变化计算出来（运用功能原理）。

### 提示 158

应用基尔霍夫定律，从链中最后一个电阻入手。并寻找连续流过电阻单元的电流值和斐波那契数列内元〔一种整数数列，其中每数等于前面两数之和〕之间的关系。

### 提示 159

考虑两个不同的情形。在第一个中，电流  $I$  流入某一个格点。另一个中，电流  $I$  流出它的一个近邻点。在两种情形下，分别利用系统的对称性，然后叠加两个电流和



电压分布。

**提示 160**

应用前一个问题的叠加方法。要注意，对有限大小的格子，电流必须在某处流出电路使得电荷守恒。解决这个难点，并不破坏系统的对称性。

**提示 161**

解决这一问题的关键词是“并联”。

**提示 162**

跟前面的三个问题一样，叠加是很有帮助的。

**提示 163**

64 电池组连过安培表连接到电阻的两端。你需要用某种方法确保安培表测量的电流全部流过那个特定的电阻，而不是有部分电流经过了其他电学元件。

**提示 164**

当一电流  $I$  流入对角线的一端并从另一端流出时，建立立方体上的等势点的集合。通过抽象地连接所有的电势相同的点，电路可以被简化。

**提示 165**

应用高斯定理。

**提示 166**

使用夫累铭 (Fleming) 的右手定则。

**提示 167**

导体棒在重力作用下会沿斜面加速下滑。电磁感应使得棒中出现一个感生电流，并因楞次定律起到阻碍运动的作用。棒的运动方程（以电流表示）在三种情况下都是相同的。产生不同运动的原因是由于流过导体棒的电流和引发的感生电动势关系不同。

**提示 168**

速度的变化直接正比于电容上电荷的变化。导体棒一直加速直到感生电动势与电容上剩余的电压平衡。

**提示 169**

你可以不用解出电路的微分方程而回答问题 (i)。把磁场能量的增长率表示为电流的函数。

对 (ii), 注意到此电路中的电流对时间的依赖关系是众所周知的, 而焦耳热正比于电流的平方。如果你画出电流的平方作为时间的函数, 就可以定性地找到损耗在什么时候的变化率是最大的。用 (i) 的结果, 不用微积分就可以得到定性的答案。

**提示 170**

首先考虑只包含一个电感和一个电容相串联的电路, 并表明它在某个特定频率存在电流共振。

**提示 171**

根据电磁感应的规律, 一个线圈中的电流不能突变。

**提示 172**

螺线管单位长度上的圈数  $n$ , 正比于  $d^{-2}$ , 并考虑一圈的电阻。

**提示 173**

考查使得金属中的电荷做圆周运动的力。如果电场强度已知, 高斯定律可以用来确定对应的电荷分布。

**提示 174**

电场可由作用在单位电荷上的力确定, 而磁场可由分析作用在一个运动电荷上的洛伦兹力得到。

**提示 175**

吉尔的结果是正确的, 杰克的解是错误的。至关重要的一点是在一根旋转的辐条中的电力线并不平行。

**提示 176**

地球的磁场在圆环中感生出一个电流, 使得在圆环中心的平均磁场改变了。这导致了小磁针的移动。

## 提示 177

记流过电压表的电流为  $I$ ，而流过导线圈的大弧的电流为  $i$ 。然后对电流和回路的方向使用一致的约定，在两个不同的闭合回路中运用基尔霍夫定律。

## 提示 178

莫比乌斯带是一个与方向无关的表面，因此必须很小心地应用电磁感应的规律。想象一下标记着纸带边缘的导线没有自相交叉地放在同一平面上。确定由导线所围绕的区域并找到与莫比乌斯带的对应。

## 提示 179

不仅要考虑磁场和作用在带电粒子上的磁场力，还要考虑感生电场的影响。

## 提示 180

作为电磁感应的结果，带电圆环中产生一个电场，且它的切向分量使圆环受到一个力矩的作用。可以显示圆环的最终角速度只依赖于最终的场，而不依赖于它产生的过程。

## 提示 181

在转动的圆盘中感生出一个电场，并在线圈中感生出电流。总的磁场由地球产生，并由线圈根据转动方向的不同，使之增加或减少。

## 提示 182

通过超导圆环的总磁通量（由外场的和它自身的通量组成）在运动中必须保持不变。外场的通量在圆环运动中是变化的，但是这种变化被圆环中感生电流所产生的磁通量平衡了。如果电流已知，那么洛伦兹力可以算出，并可发现作用在圆环上的合力是它的位置的函数。结果的运动方程和大家熟悉的力学中的方程非常相似。

## 提示 183

电偶极子的静电场可以从它的势能  $\Phi = K (\cos^2 \theta / r^2)$  计算得到，其中  $K$  是一个常数正比于电偶极子的强度， $r$  是到电偶极子的距离， $\theta$  是在电偶极子的轴处量出的极角。先计算环作用在珠子上的支持力。

**提示 184**

以速度  $v_0$  垂直于大小为  $B$  的磁场运动，等效于在大小为  $v_0 B$  的电场中运动。如果  $v_0$  选择得合适，这个电场就可以抵消作用在粒子上的重力场。

**提示 185**

变化的磁场在圆环中感生出旋涡电流，阻碍了磁棒的下落。很清楚最终电流依赖于导体的电阻。运用量纲分析可以得到对其他参数的依赖关系。不要忘记包含磁现象的公式常常有真空磁导率  $\mu_0$ ，它的量纲为 1。

**提示 186**

虽然有可能在以真空箱为参照物的参考系中解出这个问题，但解是非常复杂的。而换在平行于导线以  $v_0$  运动的参考系中，问题会大大简化。在这个参考系，电子的运动同时受电场和磁场的影响。在另一方面，在这个参考系，当电子最接近导线时，它的速度为零，可以方便地使用功能原理来解决这个问题。

**提示 187**

在液体的参考系中描述现象。首先考虑电场和磁场的变换，当它们在两个不同参考系中看的时候，其中一个参考系相对于另一个以速度  $v_0$  运动。设  $v_0$  远远小于光速并忽略相对论效应。

**提示 188**

考虑分裂产物有三个而不是两个时所需要的初始（激活）能量。

**提示 189**

${}^7\text{Be}$  通过电子俘获进行放射性衰变。

**提示 190**

平衡态时，丰度正比于半衰期。用这个结论可推出氦-220 的原子个数的平衡值为  $3.3 \times 10^5$ 。接着考虑这种元素如何从纯净的样品中产生。

**提示 191**

应用能量动量守恒的相对论公式。