



O

罗维治 仝响 梁化武 编

精编物理竞赛题解

D

B

A



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

精编物理竞赛题解

罗维治 全 响 梁化武 编



机械工业出版社

全书共分五个部分，共计 859 题。其中：力学部分 285 题、热学部分 132 题、电磁学部分 284 题、光学部分 125 题、原子物理学部分 33 题。为便于读者独立思考和查找习题，全书分上下两篇，上篇为习题，下篇为题解。

图书在版编目 (CIP) 数据

精编物理竞赛题解 / 罗维治等编. —北京: 机械工业出版社, 2003.9

ISBN 7-111-01406-5

I. 精… II. 罗… III. 物理课 —高中—解题
IV. G634.75

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 083117 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 王春雨

封面设计: 鞠 杨 责任印制: 闫 焱

北京中加印刷有限公司印刷 · 新华书店北京发行所发行

2003 年 10 月第 1 版 · 第 1 次印刷

890mm × 1240mm A5 · 21.5 印张 · 857 千字

定价: 29.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 82685050、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是作者经多年的广泛收集和精心编写而成的，题目内容新颖、难度较大（但又不超出中学竞赛大纲）。题目的来源主要有以下几个方面：国外的《中学物理习题集》和竞赛题；国内的《中学物理习题集》和竞赛题；国内外的《普通物理习题集》和其他有关的大学用书；编者编创的部分习题及题解。

题目选择以代表性、系统性、典型性和启发性为标准，较为全面地收集了高中物理知识范围内的各种典型题目和较难题目，而又不超出竞赛大纲所规定的知识范围，并逐题给予规范的解答，可以说是对迄今为止出现的高中物理知识范围内优秀习题的总结。

全书内容系统全面，每一小部分习题的编排则以由浅入深、特点突出为原则，因而有明显的梯度和类聚性。

题解注重原理分析和关键步骤，尽量缩减繁琐的计算过程，以确保规范、简明和严密。由于考虑到高中学生使用，所以解题所涉猎的物理和数学知识，均不超出高中学生的知识范围，采取横向不拓宽（不超知识范围）、纵向可加深（难度加大）的办法。难度越大的习题，解答越详尽。

全书共分五个部分，共计 859 题。其中：力学部分 285 题、热学部分 132 题、电磁学部分 284 题、光学部分 125 题、原子物理学部分 33 题。为便于读者独立思考和查找习题，全书分上下两篇，上篇为习题，下篇为题解。

本书可供高中学生、中学物理教师和物理爱好者使用，也可供大学物理专业低年级学生和其他学习《普通物理》的人员参考。

书中题目较多，类型较全面，解题之法详细，加之编者水平有限，难免存在一些疏漏，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

上篇 习题

第一章 力学	1
第一节 静力学.....	1
一、力.....	1
二、在共点力作用下物体的平衡.....	1
三、在非共点力作用下物体的平衡.....	4
第二节 运动学.....	9
一、匀速和匀变速直线运动.....	9
二、落体运动和抛体运动.....	11
三、匀速圆周运动.....	15
第三节 动力学.....	17
一、匀变速直线运动定律.....	17
二、匀速圆周运动定律.....	22
第四节 万有引力.....	23
第五节 非惯性参照系.....	25
第六节 功和能.....	26
第七节 动量.....	33
第八节 机械振动.....	46
第九节 流体力学.....	50
第二章 热学	55
第一节 热量 热传递.....	55
第二节 热膨胀.....	56
第三节 气体定律和气态方程.....	58
第四节 热和功 热学定律.....	69
第五节 表面张力.....	78
第三章 电磁学	81
第一节 静电场.....	81
一、库仑定律.....	81

二、电场强度	82
三、电势和电势能	83
四、电容	87
五、电介质	91
第二节 稳恒电流	92
一、电阻	92
二、电路	96
三、带电容的电路	103
四、电流的热效应 电功率	106
第三节 磁场	110
一、永磁体	110
二、电流的磁场	111
三、安培力	113
四、洛伦磁力	116
第四节 电磁感应	122
第五节 交流电	140
第四章 光学	145
第一节 几何光学	145
一、平面的反射	145
二、平面的折射和全反射	146
三、球面镜	150
四、透镜	152
五、透镜组	157
第二节 物理光学	160
第五章 原子物理学	164
第一节 原子结构	164
第二节 原子核	165
下篇 解答	
第一章 力学	169
第一节 静力学	169
一、力	169
二、在共点力作用下物体的平衡	170
三、在非共点力作用下物体的平衡	183
第二节 运动学	200

一、匀速和匀变速直线运动	200
二、落体运动和抛体运动	211
三、匀速圆周运动	229
第三节 动力学	233
一、匀变速直线运动定律	233
二、匀速圆周运动定律	255
第四节 万有引力	259
第五节 非惯性参照系	267
第六节 功和能	275
第七节 动量	299
第八节 机械振动	348
第九节 流体力学	366
第二章 热学	377
第一节 热量 热传递	377
第二节 热膨胀	381
第三节 气体定律和气态方程	385
第四节 热和功 热学定律	416
第五节 表面张力	437
第三章 电磁学	443
第一节 静电场	443
一、库仑定律	443
二、电场强度	449
三、电势和电势能	454
四、电容	466
五、电介质	478
第二节 稳恒电流	483
一、电阻	483
二、电路	492
三、带电容的电路	510
四、电流的热效应 电功率	517
第三节 磁场	526
一、永磁体	526
二、电流的磁场	527
三、安培力	530

四、洛伦兹力	537
第四节 电磁感应	551
第五节 交流电	594
第四章 光学	605
第一节 几何光学	605
一、平面的反射	605
二、平面的折射和全反射	607
三、球面镜	617
四、透镜	625
五、透镜组	641
第二节 物理光学	651
第五章 原子物理学	664
第一节 原子结构	664
第二节 原子核	670

上篇 习 题

第一章 力 学

第一节 静 力 学

一、力

1. 如图 1-1 所示。将两本书 A 、 B 逐页交叉地叠放一起，置于水平桌面上。设每页书的质量为 $m=5\text{g}$ ，每本书各有 200 页，纸与纸之间的静摩擦因数为 $\mu=0.3$ ，且 A 固定不动。今用向右的水平力 F 把书 B 抽出，试求出 F 的最小值。



图 1-1

2. 有一个半径为 R 的圆柱体水平地横架在空中，有质量为 m_1 与 m_2 ($m_1=2m_2$) 的两个质点，用长为 $\frac{1}{2}\pi R$ 的轻质细线相连，如图 1-2 所示，细线与圆柱间无摩擦，质点与圆柱间摩擦因数为 $\mu<1$ ，试求质点向左滑落的条件。

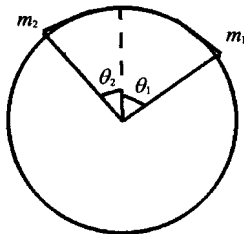


图 1-2

二、在共点力作用下物体的平衡

3. 一小虫在半径为 R 的半球形碗内可以爬多高？假定小虫和碗之间的摩擦因数 $\mu=0.25$ 。若使小虫能爬出，则碗应如何倾倒？

4. 一个架子的透视图如图 1-3 所示，它是由三根杆子 AB 、 AC 及 AD 组成的。 B 、 C 及 D 这三个端点用铰链固结在墙上，另外的端点则铰接于 A 点。 AB 和 AC 二杆位于水平面内，其间的夹角是 2γ ，通过 AD 杆的竖直平面将角 $\angle BAC$ 平分。 AD 杆与墙壁所成的角为 β ，现有一力 F 作用于 A 点，此力位于和墙壁平行的平面内，且与竖直线成 α 角。(1) 求 AB 、 AC 及 AD 杆上的张力。(2) 欲使 AC 杆中不受到任何力的作用，求其条件。

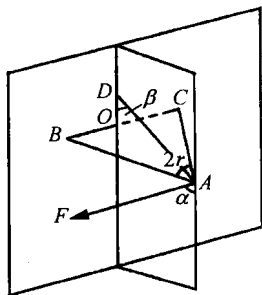


图 1-3



5. 一根长绳系于 A 、 D 两点, 绳上 B 、 C 两点各自悬挂一重量为 $G=10\text{N}$ 的物体, 如图 1-4 所示, AB 、 CD 段绳和竖直线分别成 $\alpha=30^\circ$ 和 $\beta=60^\circ$ 的角, 试求三段绳中张力 T_1 、 T_2 和 T_3 , 并求出 BC 段绳与竖直线间的夹角 θ 。

6. 如图 1-5 所示, 一线系于正方形均匀平板的一顶点, 线和板的一边等长, 其一端系在光滑竖直墙面, 求证在平衡时, 除跟墙接触的 A 点外, B 、 C 、 D 各点距离墙的比为 $1:4:3$ 。

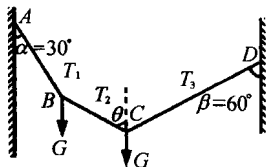


图 1-4

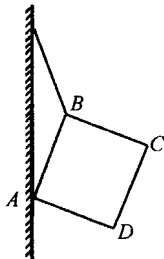


图 1-5

7. 一辘轳包括两个滚子, 直径各为 $R=50\text{cm}$, 以相反的方向旋转, 如图 1-6 所示, 滚子间的距离 $a=0.5\text{cm}$, 若滚子与热钢间的摩擦系数为 $\mu=0.1$, 试求钢板的厚度 b 。

8. 如图 1-7 所示, 重量分别为 P 和 Q 的两个小环, 套在一光滑的均匀大圆环上。长为 l 的细绳(质量可略去不计)的两端分别拴住 P 和 Q , 然后挂在光滑的钉子 O' 上, 静止时 O' 在圆环中心的正上方, P 和 Q 到钉子的距离分别为 r 和 r' 。证明 r 和 r' 满足下式: $\frac{r}{Q} = \frac{r'}{P} = \frac{l}{Q+P}$ 。

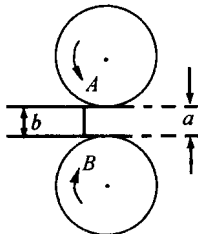


图 1-6

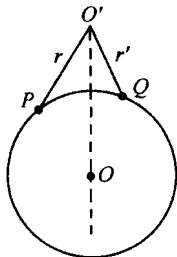


图 1-7

9. 一根长为 l 的细杆, 质量可略去不计, 两端固定着重量分别为 W_1 和 W_2 的两个小球, 杆和球一起放在一半径为 $R > \frac{l}{2}$ 的光滑的半球面内, 静止不动, 如图



1-8 所示。试求：

- (1) 两小球对半球面的压力；
- (2) 杆所受的压力；
- (3) 杆与水平面的夹角。

10. 两个表面光滑的均匀球，半径分别为 r_1 和 r_2 ，质量分别为 m_1 和 m_2 ，用两根细绳 AB 和 AC 挂在同一点 A 上，如图 1-9 所示。其中 AB 长 l_1 ， AC 长 l_2 ，又 $l_1+r_1=l_2+r_2$ ， $\angle BAC=\alpha$ 。试求：

- (1) 绳子 AC 与水平面之间的夹角 θ ；
- (2) 绳中的张力 T_1 ；
- (3) 两球之间的压力 N 。

11. 用细绳把半径为 R ，重为 W_1 的均匀球体和重量为 W_2 的物体挂在一钉子 O 上，设球心到 O 的距离为 l 。如图 1-10 所示。若绳子质量以及绳子和球面间的摩擦均略去不计，求 l 与竖直方向间的夹角 φ 。

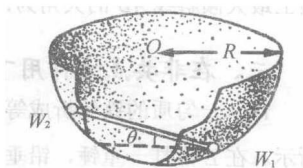


图 1-8

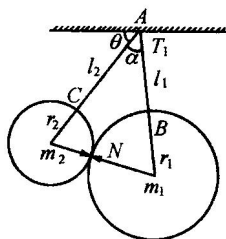


图 1-9

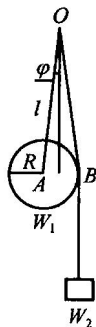


图 1-10

12. 三个半径为 r ，质量相等的球放在一个半球形碗内，现把第四个半径也为 r 、质量也相等的球放在这三个球的正上方，要使四个球能静止，大的半球形碗的半径应满足什么条件？（不考虑各处摩擦）。

13. 两个重量相等而粗糙程度不同的物体 m_1 和 m_2 ，分别固定在一细棒的两端，放在一倾角为 α 的斜面上，设 m_1 和 m_2 与斜面的摩擦系数为 μ_1 和 μ_2 ，并满足 $\tan \alpha = \sqrt{\mu_1 \mu_2}$ 。细棒的质量可略去不计，细棒不与斜面接触，如图 1-11 所示。证明：系统静止时，棒与斜

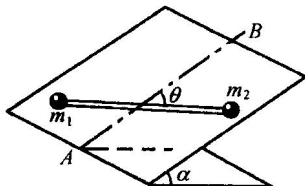


图 1-11



面上最大倾斜线 AB 的夹角为: $\theta = \arccos\left(\frac{\mu_1 + \mu_2}{2\sqrt{2\mu_1\mu_2}}\right)$; 求细杆的压力。

三、在非共点力作用下物体的平衡

14. 一匀质的铁丝折成等臂的“V”形, 其悬点 E 可以自由转动, 如图 1-12 所示。在 E 点挂一重锤, 铅垂线交下臂 AF 于 D 。试证: $AD = \frac{1}{3} AF$ 。

15. 如图 1-13 所示, 有一根均匀木板, 长为 1.2m, 重为 4kg, 用两根绳子系住, 一根与水平方向成 45° , 另一根与水平方向成 60° 。木板上放一物体, 重 10kg, 这时木板正好在水平面上保持平衡。求物体的位置 ($g = 10\text{N/s}^2$)。

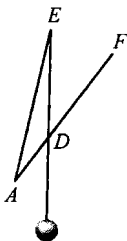


图 1-12

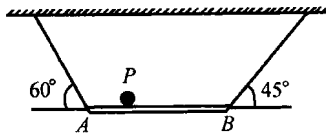


图 1-13

16. 有一个人站在天平的一个盘子上, 他跟放在另一个盘子上的重物相平衡。在天平右臂的中点 C 系一根绳子, 如图 1-14 所示。假如站在天平右盘上的人开始用力 F 来拉绳子, 绳子跟竖直方向成 α 角, 那么天平还能保持平衡吗? 人的体重是 P , 横梁的长度 $AB = l$, 天平的两臂相等, 绳子的重量和横梁的重量均不计。

17. 如图 1-15 所示, 滑轮及绳子的质量和摩擦都不计, 人和平板的重量分别为 G_1 和 G_2 , 若使平板处于平衡状态, 试问:

- (1) 人需要用多大的力拉绳子?
- (2) 人应站在何处?
- (3) 人对平板的压力多大?

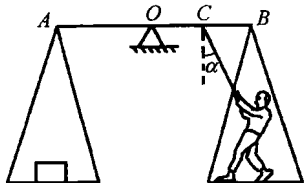


图 1-14

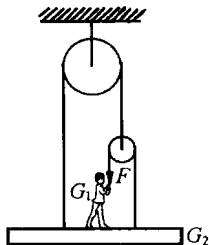


图 1-15



18. 一把长度为 l , 重量为 P 的均匀梯子靠在光滑的墙上, 梯子与墙面成 α 角。若梯子和地面之间的摩擦因数为 μ 。一个重量为 G 的人爬上梯子, 试求人所能达到的最大高度 h 。

19. 有一均质梯子, 长为 l , 重为 P , 一端 A 抵在水平面上, 一端 B 斜靠在墙面上, 假定梯子与地面之间及梯子与墙面之间的摩擦因数分别为 μ_1 、 μ_2 。求梯子能放置的最大倾斜度。

20. 在质量为 M 的一个圆板边缘上, 固定一个质量为 m 的小物体, 设圆板静止在倾角为 α 的斜面上, 连接小物体和圆板中心与竖直方向间的夹角为 θ , 求 $\sin \alpha$, 如图 1-16 所示。

21. 一个圆球半径为 r , 置于两块互相垂直的板间, 球和板的摩擦因数为 $\frac{1}{3}$ 。

如果在球上加一垂直向下的力 F , 其大小为球重的两倍, 如图 1-17 所示。试问 F 力加于离球中心距离多远, 才能使球作逆时针转动?

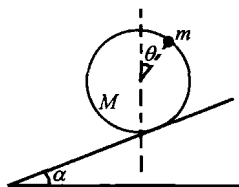


图 1-16

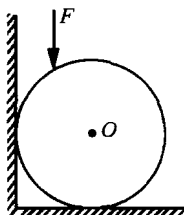


图 1-17

22. 两根完全一样的梁木各以其一端支持于光滑的尖棱上, 如图 1-18 所示。在两根梁木之间靠摩擦力而夹住一圆柱体 A , 在梁木的下面用一根绳子 B 把它们连起来, 绳的两端系在钉入梁木的钉子上。设

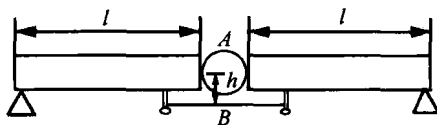


图 1-18

已知圆柱体 A 的轴心和绳之间的距离 $h=20\text{cm}$, 每一根梁木的长为 $l=1.5\text{m}$, 重量为 $P_1=220\text{N}$, 圆柱体的重量 $P_2=20\text{N}$, 求绳中张力 T 以及圆柱体给两梁木的压力 F 。

23. 如图 1-19 所示, 重量为 G 的箱子 M , 被钳形工具提起, 完全依靠接触面 D 和 E 处的摩擦力维持平衡。已知 $DE=2a$, $AB=BC=2a$, $H=4a$, $\angle OAB=\angle OCB=90^\circ$, $\angle ABC=60^\circ$, 钳形工具重量忽略不计, 求钳形工具在 D 和 E 处对箱子的压力 N 和使箱子维持平衡所需的最小摩擦因数 μ 。

24. 如图 1-20 所示, A 、 B 两球的质量都为 m , 直径为 d , 用一个质量为 M 的



圆罩罩在光滑的水平桌上，圆罩直径为 D 。已知， $d < D < 2d$ 。求证要使圆罩对桌面无直接压力，且圆罩和小球都保持平衡的条件为 $M = \frac{2(D-d)}{D} m$ 。

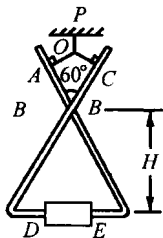


图 1-19

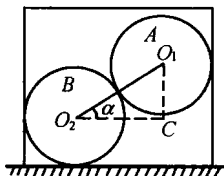


图 1-20

25. 今用一均匀的，长为 l_2 ，重为 G_2 的撬棒把一块长为 l_1 重为 G_1 的均匀预制板支起达平衡位置，如图 1-21 所示。试问垂直作用于撬棒上端点的作用力 F 是多少？假定预制板与撬棒的接触处是光滑的，地面是粗糙的，角 α 和 β 是已知的。

26. 内表面光滑的半球形碗半径为 R ，一根重为 G 、长为 $l = \frac{4}{\sqrt{3}} R$ 的均匀直棒 AB ， B 端搁在碗里， A 端露出碗外，如图 1-22 所示，求碗对棒的作用力及棒和水平面间的夹角 θ 。

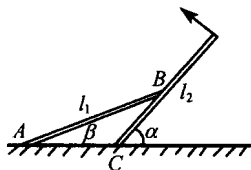


图 1-21

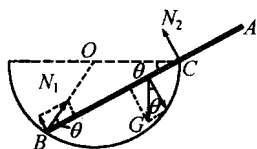


图 1-22

27. 粗细均匀的直棒 AB 放在一固定的空心圆柱体内，圆柱体轴线和水平面平行，棒所对的圆心角为 2α ，棒和圆柱体间静摩擦因数为 μ ，如图 1-23 所示。试求棒平衡时和水平方向的夹角(设这时棒两端的静摩擦都达最大值)。

28. 有一水平放置的半径为 R 的圆柱形光滑槽面，其上放着两个半径均为 r 的光滑圆柱体 A 和 B ，如图 1-24 所示为其横截面， O 为圆柱槽面轴线所通过的点， A 、 B 的重量分别为 G_1 、 G_2 ，且 $G_1 < G_2$ 。求圆柱体平衡时， OA 线与竖直线 OQ 间的夹角 α 是多少？圆柱形光滑槽面对圆柱体 A 、 B 的正压力各为多少？

29. 如图 1-25 所示，质量为 M 的圆柱体位于可动的平板车和倾角为 α 的斜面之间，圆柱体与小车之间的动摩擦因数为 μ_1 ，与斜面之间的动摩擦因数为 μ_2 ，要使小车向左匀速运动，必须对小车施加多大的水平推力？(地面与小车之间摩擦不



计)。

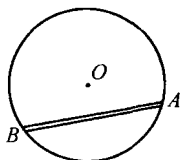


图 1-23

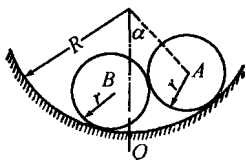


图 1-24

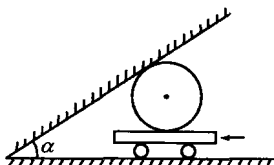


图 1-25

30. 有一木板可绕其下端的水平轴转动, 转轴位于一竖直墙上, 如图 1-26 所示, 开始时木板与墙面的夹角为 15° , 在夹角中放一圆形木棍, 截面半径为 r , 在木板外侧加一力 F 使其保持平衡, 在木棍端面上画一竖直向上的箭头, 已知木棍与墙面之间和木棍与木板之间的动摩擦因数分别为 $\mu_1 = 1.00$, $\mu_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.577$, 若板缓慢地减小所加的力 F , 使夹角慢慢张开, 木棍下落, 问当夹角张到 60° 时, 木棍端面上的箭头指向什么方向?

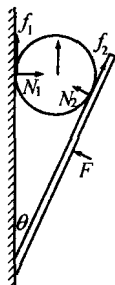


图 1-26

31. 如图 1-27 所示, 将三个完全相同的圆柱体堆放在水平面上。要使它们处于平衡状态, 问圆柱体与地面之间以及圆柱体相互之间的静摩擦因数 μ_1 和 μ_2 的最小值应为多少?

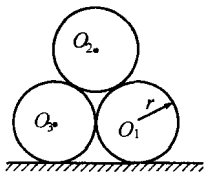


图 1-27

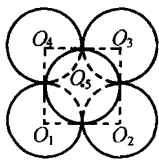


图 1-28

32. 四个相同的光滑圆球, 同放在一光滑的球形碗底, 它们的中心在一个水平面内, 另一相同的圆球放在四球之上, 它们之间刚好接触而不散开, 如图 1-28 所示。若小球的半径为 r , 试求球形碗底的半径 R , 并讨论小球的平衡状况。

33. 半径为 r , 质量为 m 的三个相同的球放在水平桌面上, 两两互相接触, 用一个高为 $1.5r$ 的圆柱形筒(上下均无底)将这些三球套在筒内, 圆筒的内半径取适当值, 使得各球间以及球与筒壁之间均保持无变形接触, 现取一质量亦为 m 、半径为 R 的第四个球, 放在三球的上方正中。设四个球的表面、圆筒的内壁表面均由相同物质构成, 其相互间的最大静摩擦因数均为 $\mu = \frac{3}{\sqrt{15}}$ (均等于 0.775)。试问 R 取何



值时,用手轻轻竖直向上提起圆筒即能将四个球一起提起来,如图 1-29 所示。

34. 如图 1-30 所示,有一块水平放置的等边三角形的均匀钢板,重量为 P ,甲、乙、丙三人各提一顶端抬起钢板,问他们各需用多大的力?

35. 如图 1-31 所示,等腰直角三角形的斜边长为 $2a$,如切去等边三角形 ABP 后,剩余的重心在 P 点,试求 PD 的长。

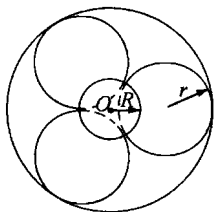


图 1-29

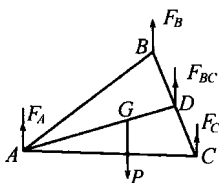


图 1-30

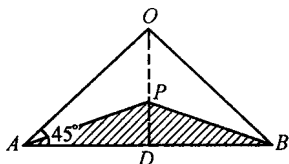


图 1-31

36. 在一块半径是 R 的均匀圆板上挖出一个半径为 r 的圆孔,如图 1-32 所示。求这块板的重心的位置。圆孔的圆心离板的中心是 $\frac{R}{2}$ 。

37. 有许多大小、形状都相同且质量均匀的砖,重量为 P ,长度为 l 。一个叠一个,使上面的砖向前伸出一点来,这样越叠越高,求每块砖能伸出的最大长度 x 。

38. 有一根一端固定在 O 点的很轻的棒可以在竖直面移动,如图 1-33 所示。在棒的另一端 A 点上系一根绳子,绳子跨过一个定滑轮,在绳子的另一端挂上一个重物 P ,在棒的 B 点上挂一个重物 Q ,棒的长度是 l , $OB = \frac{1}{3}l$ 。当棒处于水平位置而绳子 AC 处在竖直位置时,这个系统呈平衡状态。假定 $P=3\text{N}$, $l=0.3\text{m}$,求重物 Q 的值。假如由于 A 端稍许向上移动而使棒离开了平衡位置,那么这时棒将怎样运动?棒、滑轮和绳子的质量以及摩擦力均不计。

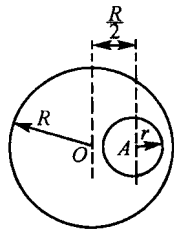


图 1-32

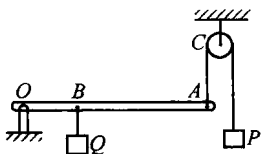


图 1-33

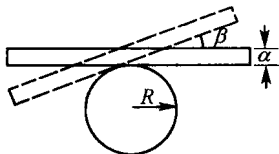


图 1-34

39. 如图 1-34 所示,一块厚度为 d 的平板放在一个半径为 R 的固定圆柱上。



板的重心刚好在圆柱竖直轴的上方，柱面与板之间的滑动摩擦因数为 μ 。证明：当板的倾角小于 β 时，板处在稳定平衡状态， β 满足两个条件：

$$\text{a. } \tan \beta < \mu; \quad \text{b. } \tan \frac{\beta}{2} < \sqrt{1 + \left(\frac{d}{2R\beta}\right)^2} - \frac{d}{2R\beta}.$$

第二节 运动学

一、匀速和匀变速直线运动

40. 某人划船逆流而上，当船经过一桥时，船上一小木块掉在河水里，但一直航行至上游某处时才发现，便立即返航追赶，当他返航经过一小时追上这木块时，发现小木块距桥有 6000m 远。若此人向上航行和向下航行时的划力一样，问河水流速是多少？

41. 以速度 v_0 水平飞行的飞机驾驶室的舱盖有两块面积相同的玻璃窗，顶窗是水平的，前窗和水平成 α 角，雨滴以速度 v 竖直落下。试求在单位面积上落在前窗和顶窗玻璃上水量的比。

42. 有一辆汽车以速度 v_1 在雨中行驶，雨滴落下的速度 v_2 与竖直方向偏前 α 角，问车后的行李是否会被雨淋湿？已知行李宽为 L ，前端紧靠驾驶室车楼，车楼高出行李为 h 。

43. 一个人坐船从 A 点出发横渡一条河，如图 1-35 所示。如果他保持与河岸垂直的方向，那么在他出发后 10min 到达 C 点， C 点在 B 点下游 $s=120\text{m}$ 处。如果他保持与直线 AB (AB 垂直于河岸) 成 α 角的方向逆流航行，那么经 12.5min 到达 B 点。是试求河宽 l 、船对水的速度 u 、水流速度 v 和在第二种情况下船航行的角度 α 。船对水的运动速度保持不变，而且在这两种情形中速度的量值是相等的。

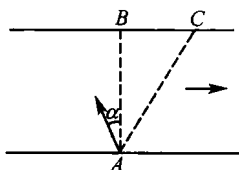


图 1-35

44. 有一汽艇在 A 、 B 两码头间来回航行， A 和 B 分别在河两岸。在航行中汽艇始终都在 AB 线上， AB 两码头间的距离 $s=1200\text{m}$ ，水流速度是 $v_1=1.9\text{m/s}$ ；而且整个河面的水流速度都相同， AB 线跟水流方向成 $\alpha=60^\circ$ 的角。要使汽艇用 $t=5\text{min}$ 的时间从 A 到 B 再从 B 回到 A ，那么汽艇应以多大的速度 v_2 航行？航行方向应跟 AB 线成多大的角度 β ？(汽艇从 A 到 B 和从 B 到 A 航行时， β 角始终保持不变)。

45. A 、 B 、 C 三个芭蕾舞演员同时从边长为 l 的三角形顶点 A 、 B 、 C 出发，以相同的速率 v 运动，运动中始终保持 A 朝着 B ， B 朝着 C ， C 朝着 A ，试问经多少时间三人相聚？每个演员跑了多少路程？