(2) 如果大厅容积为 $60\times100\times20$ 米^3，则又如何？

(3) 在(1)中，如果 $\alpha=0.30$，则又如何？

由上可以得出什么结论？

9-49 有一个两端封闭的细管长 1.7 米，管里面是 20°C 的空气，求其发声的频率。

9-50 有一个一端封闭的细管长 1.7 米，可能引起的共振频率是那些？设在 20°C 的空气中振动。

9-51 在两端开口的管中发生第三谐音(频率为基频的三倍)的振动，试以图示此管各处质点的位移、速度和压强最大幅值的分布。并指出位能、动能最大值处。

9-52 一根弦线，当长度减少 10 厘米时其振动频率增加为 1.5 倍。设长度减少时弦线中的张力不变，而且都在基频振动。求原来的弦长。

9-53 两弦的张力，长度和材料都相同，但截面积 $S_1=2S_2$，求它们的固有振动周期之比 $T_1:T_2$。

9-54 一钢丝以频率 $\nu=60$ 赫兹振动。设钢丝两端的固定点之间距离为 1.00 米，可认为不变。并设杨氏模量 E 也不随温度变化。已知钢丝的线膨胀系数为 12×10^{-6} °C^{-1}，$E=2.0\times10^{12}$ 达因/厘米^2。问当温度增加 $\Delta t=10$°C 后，其频率改变了多少？

9-55 两根完全相同的琴弦，它们的基频都是 400 秒$^{-1}$。若将一弦中的张力逐渐增加，问需增加百分之几才可产生每秒 4 拍的拍频？

9-56 两根相同的闭管各长 60 厘米，都在基频振动发声。由于管内空气温度不同而产生每秒一次的拍频，如果发较低音的管内空气是 16°C，问另一管温度是多少？［注：闭管是指一端封闭的管。］

9-57 两根相同的弦，长均为 1.00 米，并发出同一频率的声

音。如果把其中一根振动部分的长度缩短 0.5 厘米，则两弦同时发声时产生 2 秒$^{-1}$ 的拍频。求原来的频率。

9-58 一个人在大而光滑的墙前，手里拿着一个频率 $\nu=500$ 秒$^{-1}$ 的音叉，以速度 $u=1.0$ 米/秒向墙壁前进，他同时听到直接由音叉发出的声音和由墙壁反射回来的声音。如空气中声速为 $v=334$ 米/秒，问他听到的拍频是多少？

9-59 在空气温度是 $-17°C$ 时，一辆以 72 公里/小时的速度前进的机车鸣笛 2.0 秒。站在铁轨上的人(1)有的看到机车迎面而来，(2)有的看到机车背离而去，问他们听到的声音分别比鸣笛时间延长或缩短了多久？

9-60 一个很重的音叉以速度 $u=25$ 厘米/秒向墙壁接近，音叉在静止的观察者与墙壁之间。观察者听得拍频为 $\nu=3$ 秒$^{-1}$。设声速 $v=340$ 米/秒，求音叉振动频率。

9-61 运动会上，面对主席台有一笔直的跑道，跑道远离主席台的终点有一高音喇叭，主席台后有一水泥的大墙。一运动员在跑道上骑摩托车向主席台奔驰，听到从喇叭中广播的乐曲从 C 调变为 D 调，即频率升高为 $\sqrt[6]{2}$ 倍。设空气中声速为 340 米/秒，求车速。

9-62 子弹的激波成 30° 圆锥角(图 9-63)，求这子弹在空气中前进的速度。

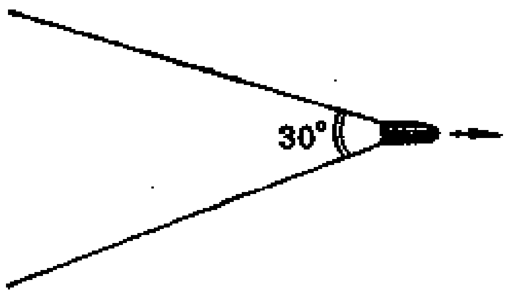


图 9-63

第十章 固体的弹性

10-1 一直径为 0.10 毫米、长 1.00 米的铁丝在 1.0 公斤力作用下伸长 5.9 毫米，求它的杨氏模量。

10-2 一铁棒长为 $L=1.00$米，横截面积为$S=2.0$厘米^2，用 $P=2.0$ 吨的力拉它，问棒中应力为每平方毫米多少公斤？设铁的杨氏模量为 $E=2.0\times10^6$ 公斤/厘米^2，分别求伸长 ΔL 和相对伸长 $\Delta L/L$。

10-3 如图 10-3 所示，一质量为 2.0 公斤的小球与一长为 1.00 米、横截面积为 0.10 厘米^2 的棒的一端相连接，问棒绕水平轴 O 从水平位置下落到竖直位置时，棒的长度增加多少？设不计摩擦，忽略棒的质量，已知棒的杨氏模量 $E=2.0\times10^{12}$ 达因/厘米^2。

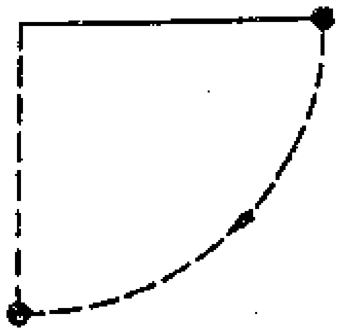


图 10-3

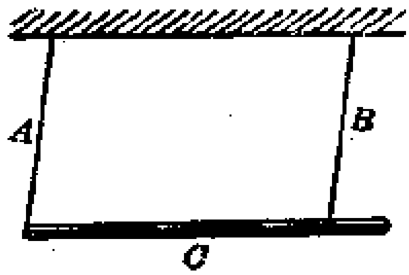


图 10-4

10-4 用长为 1.00 米的两根线 A 和 B（其上端等高），吊着长为 1.20 米、重为 4.5 公斤的均匀横杆 C，如图 10-4 所示。A 是半径为 $r_A=0.50$ 毫米的铜丝，吊住杆 C 的一端，B 是半径为 $r_B=1.00$ 毫米的铜丝。

(1) 问两线之间距离应为多大时才能使横杆保持水平？

(2) 求这时两线中的张力 T_A 和 T_B。

10-5 用三根弹性绳吊起来的一均匀重物，如图 10-5 所示，三根绳用同样材料做成，且边上两根绳的状态完全一样。若中间垂直的一根绳承受了一半重量，要使三根绳中应力相等，旁边的绳的截面积应为中间的几倍？

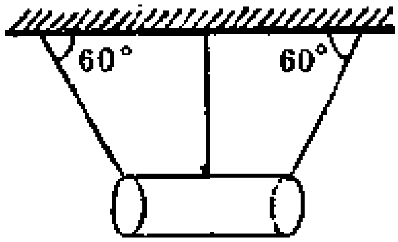


图 10-5

10-6 单摆由一直径为 $d_1=0.10$ 毫米的铜丝和直径为 $d_2=3.0$ 厘米的铜球做成，铜丝长 1.00 米。设摆幅极小。试问：

（1）若以同样大小的铅球代替铜球，仍以铜丝为摆线，则周期将改变多少？

（2）若以同样粗细的铅丝代替铜丝，下悬仍为铜球，周期又将改变多少？

已知铜和铅的密度与杨氏模量分别为 $\rho_{Cu}=8.9$ 克/厘米^3，$\rho_{Pb}=11.3$ 克/厘米^3，$E_{Cu}=1.2\times10^{12}$ 达因/厘米^2，$E_{Pb}=1.7\times10^{11}$ 达因/厘米^2。

10-7 一金属棒的线胀系数为 $\alpha=12\times10^{-6}{}^\circ C^{-1}$，杨氏模量 $E=2.0\times10^{12}$ 达因/厘米^2，若要在温度升高 100°C 时使其长度保持不变，问两端要加多大的压力？

10-8 铁轨是在 10°C 温度下铺设的，每根轨道长 12.5 米。如果要保持在 −40°C 时两根轨道的接缝处空隙最多不超过 1.0 厘米，则当夏天温度升高到 60°C 时，铁轨中的应力至少有多大？已知钢的杨氏模量为 2.0×10^{12} 达因/厘米^2，线胀系数为 1.2×10^{-5} $^\circ C^{-1}$。

10-9 一块钢的尺寸为 $100\times15\times20$ 厘米^3，放在材料试验机上沿纵向加以 2000 吨的压力。已知杨氏模量为 $E=2.0\times10^{12}$ 达因/厘米^2，泊松比为 $\sigma=0.28$。试求：

（1）纵向应力；

（2）每边的应变；

（3）长度的改变；

（4）体积变化的百分比。

10-10 一均匀棒的长为 l、宽为 m、厚为 n，有 0.1% 的拉伸应变，泊松比为 0.30。试求：

（1）该棒横截面积的改变率；

（2）原来面积为 lm 一面的面积改变率。

10-11 一长为 l 的均匀弹性圆棒竖直挂起，在其重量 P 的作用下，

（1）伸长多少？

（2）体积改变多少？

已知其杨氏模量为 E，泊松比为 σ，密度为 ρ。

10-12 一均匀黄铜板长、宽均为 $a=10.0$ 厘米，厚为 $d=1.0$ 厘米。一金属丝 AB 焊在这板的顶部并与一边相切，板的底边固定，如图 10-12 所示。欲使顶端产生一切向位移 $\Delta a=0.0050$ 厘米，问加在金属丝上的切向力 F 至少为多少？已知切变模量为 4.0×10^{11} 达因/厘米^2。

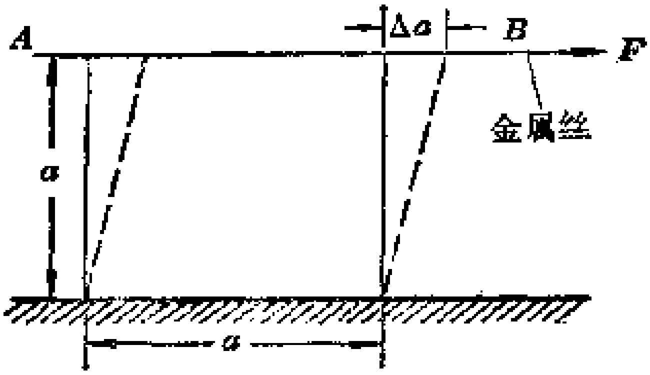


图 10-12

10-13 证明：各向同性的物体在均匀静压下，其杨氏模量 E、压缩系数 k 和泊松比 σ 之间的关系为

$$k=\frac{3(1-2\sigma)}{E}。$$

10-14 一长为L、质量为M、杨氏模量为E的均匀弹性棒，以角速度ω绕轴作匀角速转动，轴通过棒的一端并与棒垂直。试求：

(1) 棒内张力F的分布；

(2) 棒长的增长量ΔL。假设在计算F时忽略形变；计算ΔL时忽略截面S的改变，不计重力。

10-15 如图 10-15 所示，光滑水平面上放一木条AB，其质量为m，横截面为S，长为L；一端抵住一固定的突出物，另一端受恒力F，应力均匀分布在整个横截面上，木条长度减小$\Delta L=\frac{1}{E}\ \frac{L}{S}F$。

(1) 求木条内应力分布；

(2) 如木条不抵在突出物上，其它条件不变，则长度为多少？木条内应力分布情形又如何？

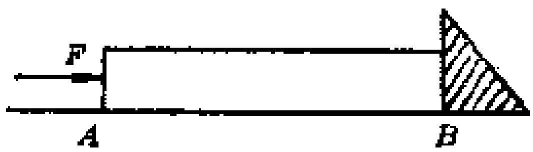


图 10-15

10-16 上题中，若木条自由下落，则其内部应力如何？

10-17 如图 10-17 所示，一质量为M、半径为R的均匀圆盘从静止开始以匀角加速度β绕它的轴线转动，使圆盘加速的力均匀分布在圆盘边上。今在盘中划出一部分，半径为r，求作用在这部分边界的圆周上单位长度上的作用力。

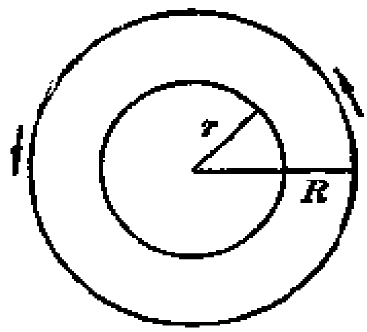


图 10-17

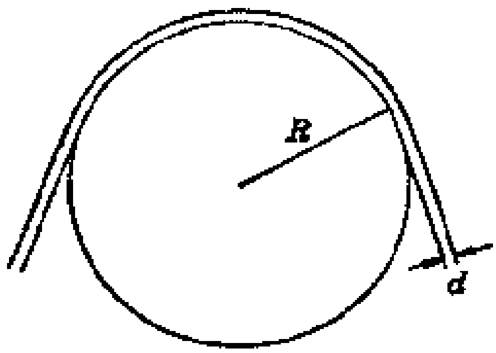


图 10-18

10-18 一直径$d=1$毫米的钢丝围在半径$R=1$米的鼓轮上，如图 10-18所示。已知这钢丝的杨氏模量为$E=2\times10^6$公斤/厘米^2，

并假定钢丝的中心部分应力为零，试求：

（1）钢丝中由于弯曲变形而产生的最大附加应力；

（2）钢丝形变压缩部分的平均应力。

10-19 证明：中间悬挂重物 P 的方梁的挠度（弛垂量）为

$$\lambda=\frac{Pl^3}{4a^4E},$$

式中 l 为梁长，a^2 为横截面积，E 为杨氏模量。

10-20 证明：一端固定另一端悬挂重物的圆梁的挠度为

$$\lambda=\frac{4Pl^3}{3\pi R^4E},$$

式中 l 为梁长，R 为圆梁直径，P 为荷重，E 为杨氏模量。

10-21 证明：圆棒在扭力矩 $2PR$ 作用下的扭转角为

$$\varphi=\frac{4PRl}{\pi r^4N},$$

式中 N 为切变模量，r 和 l 分别为悬丝的半径和长度。（见图 10-21。）

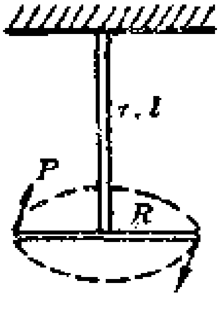


图 10-21

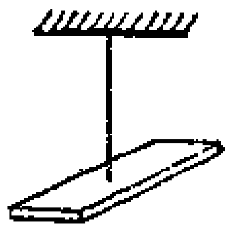


图 10-22

10-22 一矩形铜块的大小为 $10.0\times2.0\times0.50$ 厘米^3，密度为 8.6 克/厘米^3，其 10×2 面的中心与一金属丝固定并吊起，如图 10-22 所示，保持该面在水平面内作扭转振动。设在这种情况下该扭摆作简谐振动。已知在一个力偶矩 $M=8.2$ 克力·厘米作用下金属丝转过 0.50 弧度，求其振动周期。

10-23 一 1.00 米长的空心圆管，其内半径为 2.00 厘米，管壁

厚 1.0 毫米，材料的切变模量为 6.0×10^{11} 达因/厘米^2。问要加一个多大的力矩才能使它绕中心轴扭转 1°？设转矩的轴与管轴重合。

10-24 一弹性细线长为 $2l$、横截面积为 S，两端固定。当其中点悬重为 P_1 时下垂 λ_1，如图 10-24所示，悬重为 P_2 时下垂为 λ_2，已知 λ_1 和 λ_2 都很小。求这线的杨氏模量。

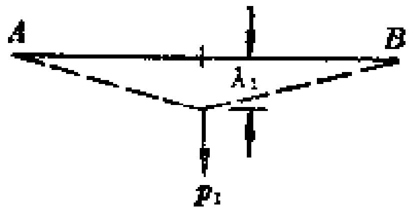


图 10-24

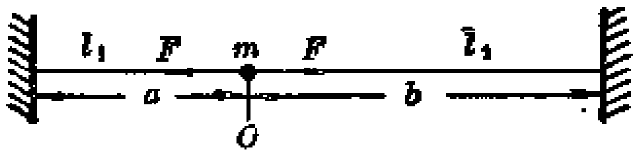


图 10-25

10-25 一质量为 m 的质点被两条原长为 l_1 和 l_2 的轻弦线拴住。弦的另一端固定，使弦绷紧并保持水平。这时两弦的长度分别为 a 和 b（如图 10-25 所示），弦中张应力为 F。设弦的杨氏模量为 E，证明：质点 m 沿弦长方向作纵振动的周期为

$$T=2\pi\sqrt{\frac{mab}{(F+E)(a+b)}}。$$

10-26 光滑水平轨道上放一条橡皮筋，长为 a、横截面积为 S，一端 O 固定，另一端系一质量为 m 的质点。橡皮筋被拉长 b 后撒手，求质点往返一次所需的时间。设橡皮筋的杨氏模量为 E，质点只沿轨道作直线运动，不计橡皮筋质量，不考虑 S 的变化。

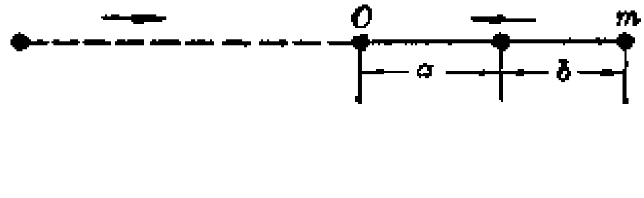


图 10-26

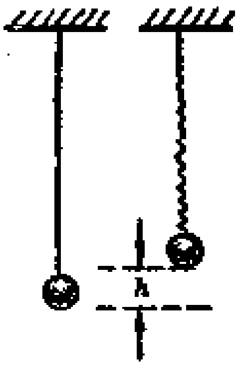


图 10-27

10-27 在一长为 $l=8.00$ 米、横截面积为 $S=0.50$ 毫米^2 的钢丝下面悬挂一质量为 $m=2.0$ 公斤的金属球，今将小球竖直向上抬一高度 h (见图 10-27) 然后放手，已知钢的杨氏模量 $E=2.0\times10^9$ 克/厘米^2。试问:

(1) 在什么条件下小球作简谐振动?

(2) 其周期等于多少?

10-28 一圆钢棒长 $l=1.00$ 米，半径 $r=0.20$ 厘米，维持水平，一端固定，另一端与一半径 $R=20$ 厘米且可自由转动的圆盘中心相连；当圆盘的边上挂一 $P=500$ 克力的物体时，此物体由于盘的旋转而下降 $h=10$ 厘米，如图 10-28 所示。试问:

(1) 钢的切变模量等于多少?

(2) 扭转后的钢棒，具有的弹性势能等于多少? 是不是等于 Ph? 为什么?

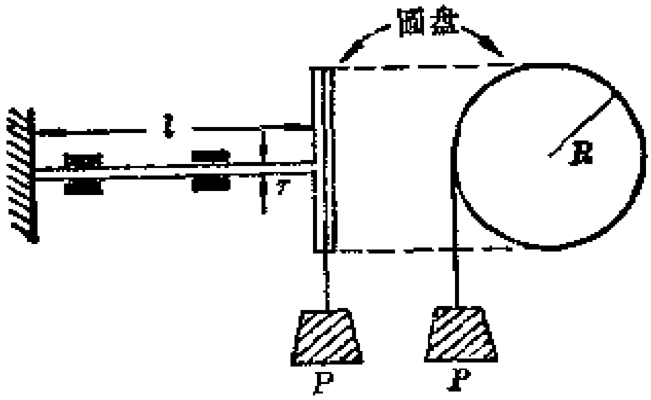


图 10-28

10-29 一铜丝长 5.00 米、直径 0.20 厘米，一端固定，受到 100 公斤的拉力，试问：这时它具有的弹性势能 $E_{P_1}=$? 如果又有一个 1.0 公斤力·厘米的力矩将它扭转，这时，其弹性势能 $E_{P_2}=$? 已知铜的杨氏模量为 1.2×10^{12} 达因/厘米^2，切变模量为 4.2×10^{11} 达因/厘米^2。

第十一章 流体力学

11-1 一烧杯水放在台秤的秤盘上，台秤的指针指出烧杯和水的总重量。现将一体积为 100 厘米^3 的铁块用绳子吊起，浸没在水中静止不动(如图 11-1)。问台秤指针的指数变不变？变大还是变小？变多少？（$\rho_水=1$。）

11-2 铁块在水中会沉下去，为什么铁造的轮船能不沉下去？

11-3 质量相等的铜块和铝块挂在天平两端，天平平衡；今将铜块和铝块分别浸没水中，问天平是否仍保持平衡？若不是，将向哪一边倾斜？

质量相等的两铁块挂在天平两端，天平平衡；今将两铁块分别浸没在水和汽油中，问天平向哪一边倾斜？

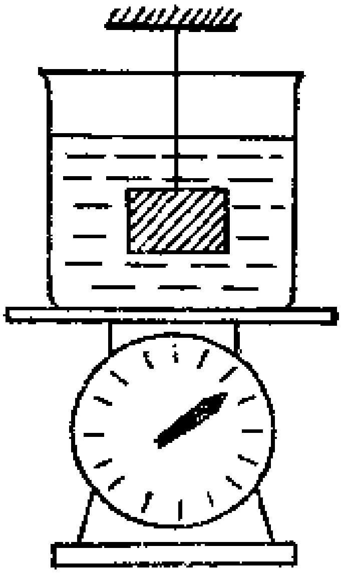


图 11-1

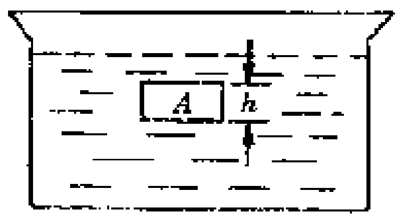


图 11-4

11-4 (1) 在静止的液体内的小液块 A (见图 11-4) 共受到几个力作用？上下两面所受的压力差等于多少？

(2) 若整个容器以加速度 a 向上运动；这时液块上下两面的压力差是否与容器静止时相同？为什么？

11-5 修建南京长江大桥时，潜水员潜入水下 45 米深处，问该处水的压强等于多少吨/米^2？

11-6 一轮船浸在水中的部分平均长150米，宽30米，载货6.00×10^3吨后，设船下沉时排水的横截面不变。试问：

(1) 在海水中比空载时下沉几米？(海水密度为$\rho=1.03$克/厘米^3。)

(2) 在淡水中比空载时下沉几米？

11-7 一个铜球在空气里重178克，在水里重142克(已知铜的密度为8.9克/厘米^3)，问这个铜球是实心的还是空心的？

11-8 某钢材重5.0吨，沉于海底，问未出水面前至少要用多大的拉力才能把它拉起？已知钢材密度是7.8克/厘米^3，海水密度是1.03克/厘米^3。

11-9 有一盛满水的圆柱形封闭桶，其中放有一个木块，一个铅块及一个密度和水相同的物块，今使桶和水一起绕圆柱的轴作快速转动(如图11-9)。问桶内三个物体相对转轴的位置怎样？哪一个离轴最远？哪一个最近？

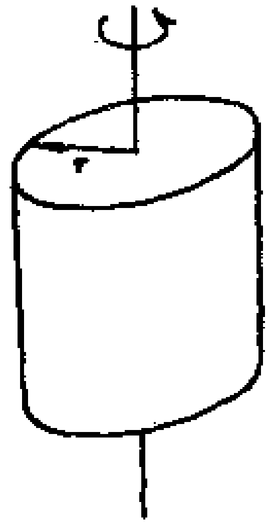


图 11-9

11-10 在标准状态下，空气、氦和氢的密度各是$\rho=1.29\times10^{-3}$克/厘米^3，$\rho_{He}=1.78\times10^{-4}$克/厘米^3，$\rho_{H_2}=8.99\times10^{-5}$克/厘米^3。

今设计一飞艇，要能载重10吨，在标准状态下，使用氢时，飞艇的容积至少是多少立方米？使用氦时，飞艇的容积至少是多少立方米？(飞艇外壳重量忽略不计。)

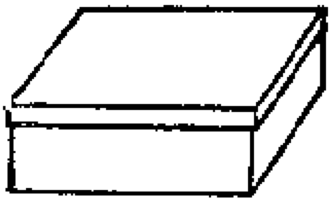
11-11 (1) 旋风会把东西卷向中心，杯子里或桶里的水旋转也有这个现象。说明产生这种现象的原因。

(2) 当游泳碰到旋涡时，为什么采取直立的踩水姿式容易被卷下去，而采取平卧的蛙泳或仰泳则容易脱险？

11-12 距今一千七百多年前的三国时，一只大象从外国运到当时的首都洛阳，人们纷纷猜测它的重量，但无法用秤去称它；曹

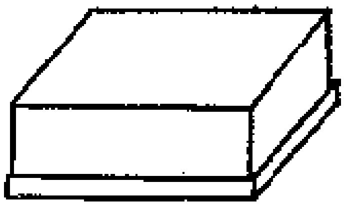
冲想出一个好办法，用船称出了它的重量。你能想出怎样用船来称的办法吗？

11-13 有人在野外用饭盒运水，他把饭盒装满水，盖上盖子，端着走较长一段路后，由于难免的晃荡，到目的地时饭盒基本上是空的，水几乎跑光了。但是，如果用同一饭盒装满水，盖上盖子，然后把饭盒倒过来，端着走同样的一段路，虽也同样晃荡，但到目的地时，饭盒几乎是满的，跑掉的水很少，你能解释其原因吗？



正放

(1)



倒放

(2)

图 11-13

11-14 一装水的圆柱形桶，以匀角速度 ω 绕几何对称轴旋转。求当液体相对于容器静止时水面形状的方程。

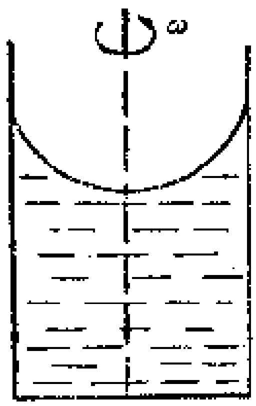


图 11-14

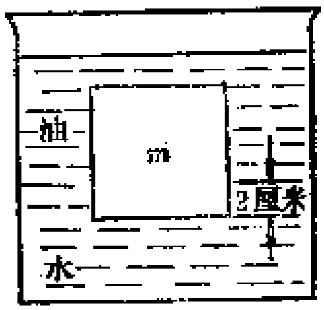


图 11-15

11-15 一密度均匀的立方形物体 m，边长为 10 厘米，浮在油和水的分界面上，水和油各深 10 厘米，底面在界面下 2.0 厘米处，如图 11-15 所示，已知油的密度为 0.6 克/厘米^3，试问：

(1) m 的质量是多少？

(2) 在 m 底面上的压强是多少？

11-16 一边长为 l 的一立方形钢块（$\rho_{Fe}=7.8$ 克/厘米^3）浮在水银（$\rho_{Hg}=13.6$ 克/厘米^3）面上，试问：

（1）钢块有几分之几高出水银面？

（2）若把水倒在水银面上，使水面恰与钢块的顶面平齐，问水层有多厚？

11-17 一直径为 20 厘米的圆柱形容器，下悬质量为 10 公斤的铁块，漂浮于水面，容器露出水面高度为 10 厘米。现将铁块放入容器中，容器可露出水面多少厘米？（铁的密度为 7.8 克/厘米^3，忽略容器质量。）

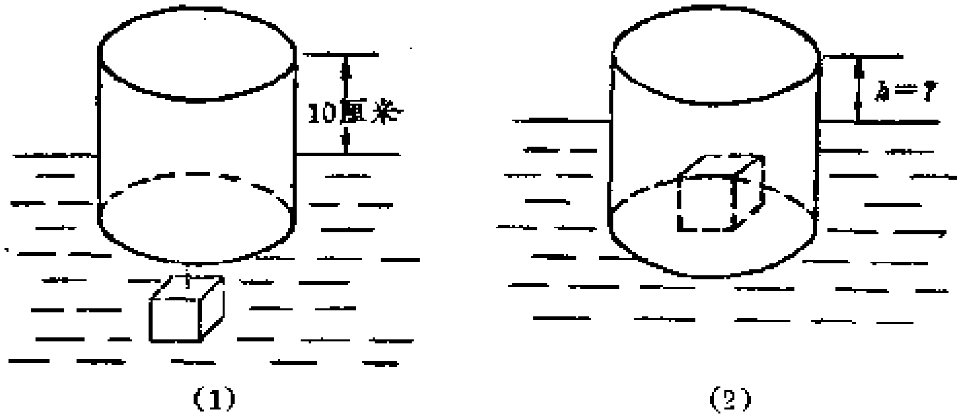


图 11-17

11-18 一均匀细杆，长为 3.0 米，比重为 0.50，质量为 6.0 公斤，一端 A 在水面下 1.5 米处，用通过 A 点的水平枢轴支住，使整个杆可绕此水平枢轴无摩擦地转动，如图 11-18 所示。

（1）若使杆没入水中 2.5 米，问 B 端应加的重量 W 为多少？

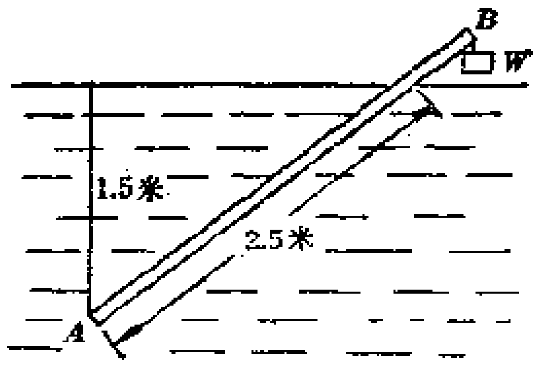


图 11-18

（2）求此时枢轴作用于杆端 A 的力的大小和方向。

11-19 一游泳池长 50 米，宽 30 米，深 2.5 米。设池中灌满水，求水作用于池壁和池底的力。

11-20 在水坝上，一个竖直的闸门，其上缘恰与水面平齐，闸门宽 2.0 米，高 4.0 米。试问：

（1）若在闸门底边上用铰链支承，如图 11-20(1)，问水作用在闸门上的力对铰链的力矩是多少？

（2）若在闸门的中部以铰链支承于过闸门中心的水平轴上，如图 11-20(2)，那么此时水平轴受的力矩是多少？

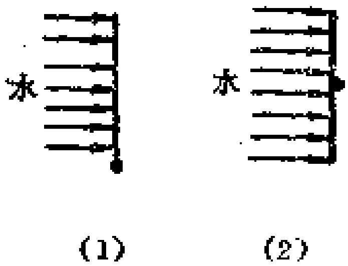


图 11-20

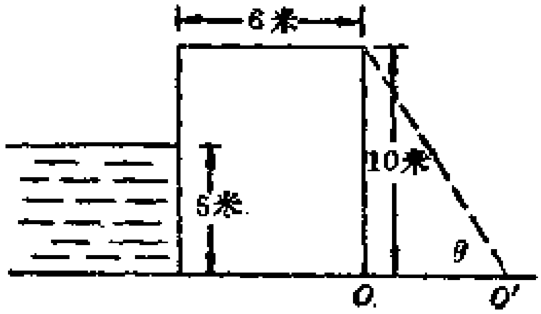


图 11-21

11-21 一水坝长 100米，截面是高 10 米、宽 6.0 米的矩形，水深 5.0 米，如图 11-21 所示，

（1）求水作用于坝的力对坝的下缘（过 O 点沿坝基线的轴线）的力矩；

（2）若坝身材料的密度是 5.5 吨/米^3，求坝自重对过 O 的轴的力矩，与(1)的结果进行比较；

（3）若坝身截面如图中虚线所示，$\theta=60°$，分别对轴 O' 进行(1)和(2)的计算。

11-22 一立方形木块，边长为 10 厘米，重心位置如图 11-22(1)所示，距左边 5.0 厘米，距底边 3.0 厘米，浮在水中时，有一半体

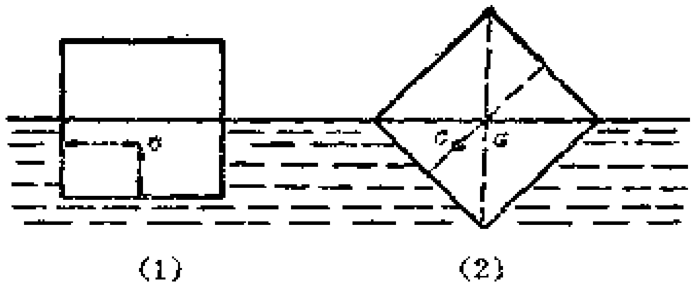


图 11-22

积沉于水面下，当木块倾斜 45°时，如图 11-22(2)所示，试求：

(1) 此时木块受到的力矩？

(2) 定倾中心 a(平衡时重力作用线与倾斜时浮力作用线的交点)到重心的距离 ca。

11-23 试问：

(1) 没有动力，水能自动向上流吗？虹吸管的 AB 段中(图 11-23)，水不是自动向上流吗？

(2) 水能自动从压强小的地方往压强大的地方流吗？

(3) 虹吸管能把水从低处吸到高处吗？为什么？

(4) 一架抽水机用管子伸到水里抽水，问抽水机在水面上多高时便抽不上水来？

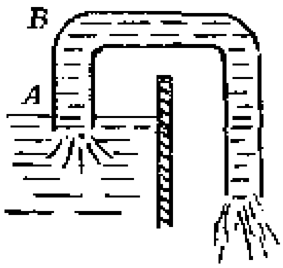
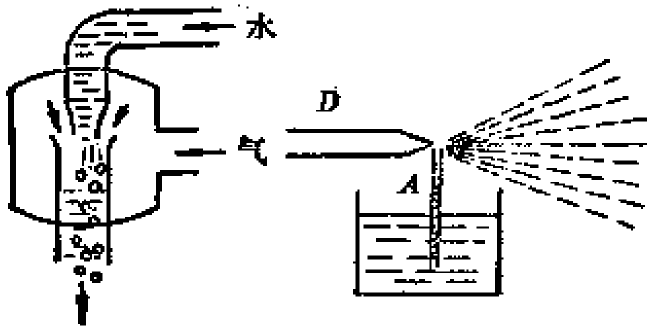


图 11-23



(1) (2)

图 11-25

11-24 在同一条河里，河窄的地方水流得快些，宽的地方流得慢些，为什么？

两船平行前进时，若靠得较近，为什么极易碰撞？

11-25 (1) 水流抽气机如图 11-25(1)，当水由上面的细管口流出，再进入下面的粗管时，带走周围的气体达到抽气的目的。说明其理由。

(2) 喷雾器如图 11-25(2)，从 D 管吹气，气体经小口 A 出来后，便将容器中的液体吸出并吹成雾状飞散。说明其理由。

11-26 一个以匀角速度ω绕水平轴自旋的乒乓球自由下落的轨道是直的还是弯的？若是弯的，弯向哪边？

11-27 如图 11-27 所示的装置，水由大池A中经水平管以速度v流出，水平管各处直径分别为d及d'，且$d>d'$。连通管B、C、D及E的上端都与大气相通，按伯努利原理判断下列问题：

(1) h_1, h_2, h_3, h_4哪个大？哪个小？

与图示实际情况是否一致？为什么？

(2) 若$v=0$，则h_1, h_2, h_3, h_4哪个大？哪个小？

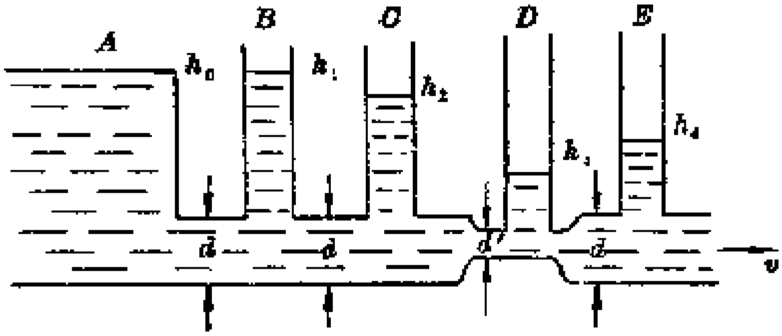


图 11-27

11-28 图 11-28(1)所示Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ都是装满水的虹吸管，管口分别用活塞A、B、C堵住，B与湖面相平，A比湖面高h，C比湖面低h，已知$h=20$厘米，试问：

(1) 活塞A、B、C上的压强各是多少？

(2) 若把活塞都去掉，则三管中的水将怎样运动？

(3) 图 11-28 (2)所示为打开活塞C之后的Ⅲ管，水从

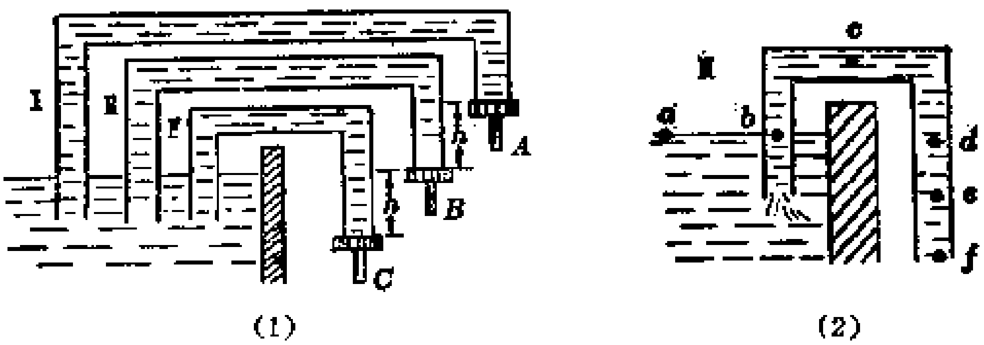


图 11-28

湖里经过Ⅱ管(管内各处粗细相同)流出来，图中 a、b、d 三点在同一水平面(湖面)，c 点在湖面以上，e 点在湖面以下，f 点是出口。用等于(=)、大于(>)和小于(<)符号表示 a、b、c、d、e、及 f 各点压强的关系。

11-29 一虹吸管如图 11-29 所示，水池和虹吸管(管道均匀)截面分别为 S_A 和 S_B，虹吸管出水口在水面下 h 处。求从虹吸管中每单位时间流出的水的体积。

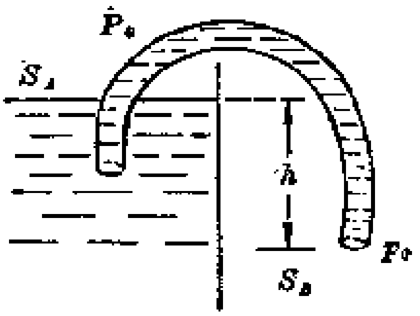


图 11-29

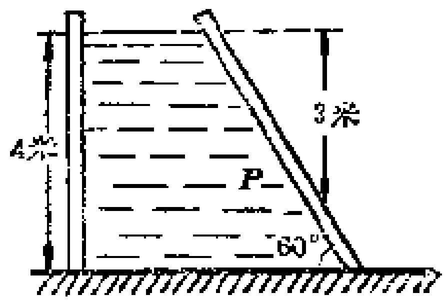


图 11-31

11-30 何谓稳定流动？在稳定流动中，液体是否可能加速运动？何谓连续性原理？在什么条件下成立？

11-31 一开口水槽中水高 $h=4.0$ 米，一边的壁与水平面成 60° 角，若在水面下 3.0 米处的斜壁上一点 P 开一与壁垂直的小孔(如图 11-31)，问孔中射出的水流在地平面上的射程多远？(略去空气阻力。)

11-32 一贮水的封闭大水箱，箱的上部是气压为 8.0 个标准大气压的压缩空气。箱的侧壁上距水面 5.0 米处有一小孔，求水从此孔流出的速率。

11-33 一贮水的、深 2.0 米的直立封闭水箱，水面上气压为 $P=2.0$ 个标准大气压，水箱放在距地面 4.0 米高的平台上。在水箱侧面最低点开一面积为 1.0 厘米^2 的小孔(如图 11-33)，略去空气阻力，试问：

(1) 水的落地点到小孔的水平距离 x 为多少？

(2) 若水射到地面不溅起，水对地面的竖直压力是多大？

(3) 水从水箱流出时作用于水箱的水平力是多少？

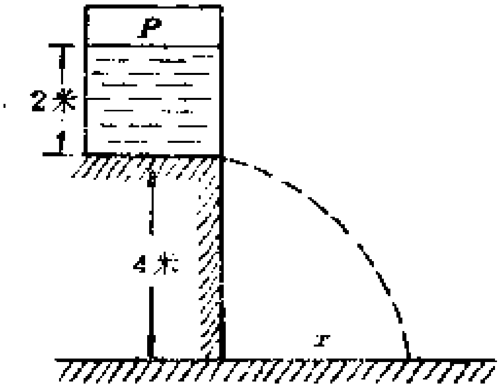


图 11-33

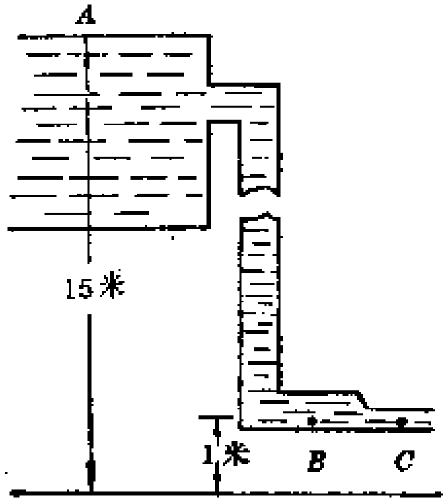


图 11-36

11-34 要使消防水龙头中的水射出的高度最多能比龙头高20米，若不计摩擦阻力，问龙头中水的压强应为多大？

11-35 一横截面积为 A_2 的圆柱形水槽，槽内水面下 h 处的侧面上有一面积为 A_1 的小孔，求孔中水流射出的速度公式，并证明：当 $A_2 \gg A_1$ 时，此公式化简为托里拆利定理，即：

$$v=\sqrt{2gh}。$$

11-36 如图 11-36 所示，水从池中稳定地从 C 流出，池中水面 A 高出地面 15 米，B 点和 C 点的高度都是 1.0 米，B、C 处的管道横截面积各为 $S_B=4.0$ 厘米^2 和 $S_C=2.0$ 厘米^2，水池面积远大于管的截面积，

(1) 求 B 点的压强；

(2) 放流率是多少升/秒？

11-37 一水平玻璃水管由截面均匀而各不相同的 A、B、C 三段串连而成。水流从 A 进入，从 C 流出，在 A、B 和 C 段的管壁上各有一小孔，A 段上小孔中有水射出，B 段上的小孔内水中有气泡

出现，C段上的小孔中无气泡也无水射出。问三段管子中哪个直径最大？哪个最小？

11-38 在自来水管中，A处的流速为v_A、压强为P_A，若B处的横截面积为A处的$\frac{1}{2}$，B比A处低h，求B处的压强。

11-39 试定性地分析飞机上机翼的升力是怎样获得的。

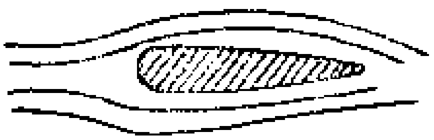


图 11-39

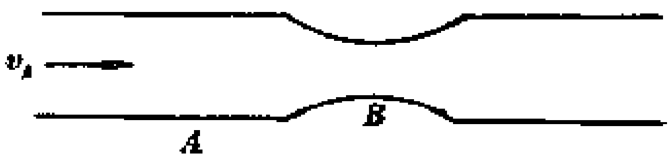


图 11-41

11-40 一水平安置的自来水管，管子粗处的直径是细处的两倍，如果水在粗处的流速是10厘米/秒，求细处水流的速度。

11-41 如图11-41所示，水流过水平管子，管子在B处的横截面积是A处的一半。已知B处的流速是6.0米/秒，求A、B两处的压强差。

11-42 一自来水管的干线埋于地下，其内水压为4.0公斤/厘米^2，水由干线经水管送到楼上，问比干线高$h=10$米处的水管里，水压为多少？在此处打开龙头，求水流出的速度。

11-43 应用伯努利方程的条件是什么？

11-44 图11-44所示的装置为大容器下面接细管，内装无粘性、不可压缩的流体，流体密度为ρ。讨论：

(1) 在什么条件下，A、B两处的压强分别满足下式：

$$P_A=P_B,$$

$$P_A<P_B,$$

$$P_A>P_B;$$

(2) B，C两点的压强之间有什么关系？

11-45 图11-45为一流量计(又称汾丘里流量计)，水沿水平

方向流动，水平管两处横截面积不同，分别为 S_1 和 S_2，在这两处有两个敞口的连通管，其中水面高度差为 h，如图 11-45 所示。求水的流量。

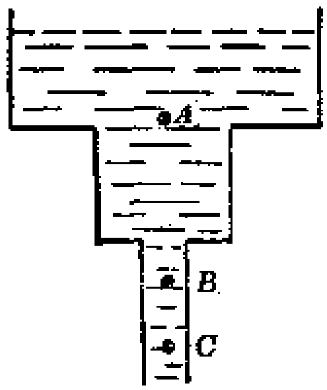


图 11-44

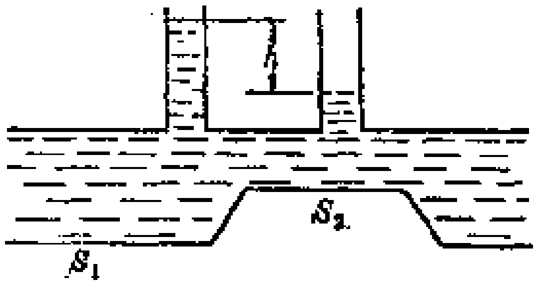


图 11-45

11-46 风洞本质上就是汾丘里计(即流速计)，进入洞中的空气是用一大风扇引入。设某一风洞的细狭部分的空气流速是 150 厘米/秒，求该处的压强。

11-47 如图 11-47 所示，一水平水管的横截面积在粗处为 $S_a=40$ 厘米^2，在细处为 $S_b=10$ 厘米^2。一分钟内流过此管的水为 2.0×10^5 厘米^3。这水平管下面装有一个 U 形管，管内下部盛有水银，已知水银的密度为 13.6 克/厘米^3。试求：

(1) a、b 两处的流速；

(2) U 形管中水银面的高度差 h。

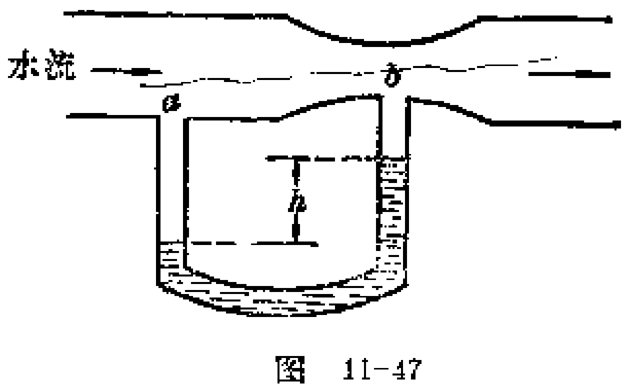


图 11-47

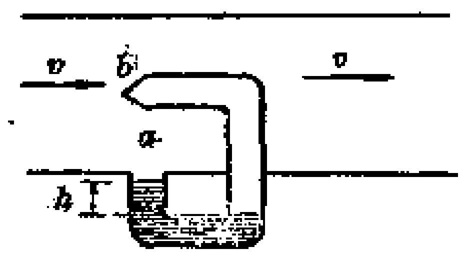


图 11-48

11-48 在一水平管中有流速为 v 的气体，在管中插入一个 U 形的细管，如图 11-48 所示，U 形管中水银面高度差为 h。若已知

流体的密度为 ρ，水银的密度为 ρ_0，证明：气体的流速 v 满足下式：

$$v=\sqrt{\frac{2g\rho_0 h}{\rho}}。$$

11-49 孔板是化工中常用到的一种流量计，它的装置如图 11-49 所示，在一个待测的管道中装一个中间有圆孔的板，板两边装有测量压强差的 U 形管。设管道水平，管内横截面积为 S_1，孔的面积为 S_2，板两边压强差为 $P_1-P_2=\Delta P$，假定流体流过挡板的圆孔后，在 U 形管上方的流速即等于圆孔流速，流管的横截面积亦即圆孔面积，证明：流体的体积流量为：

$$Q=\frac{S_1S_2}{\sqrt{S_1^2-S_2^2}}\sqrt{\frac{2g}{\gamma}\Delta P},$$

式中 γ 为单位体积管道中流体的重量。

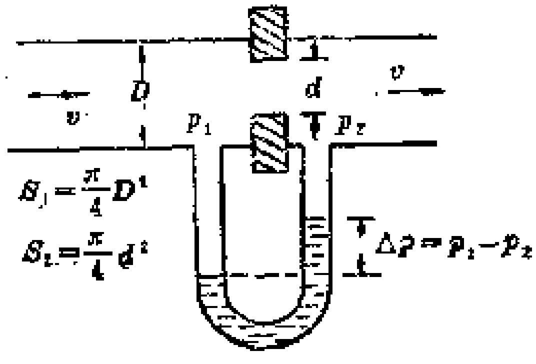


图 11-49

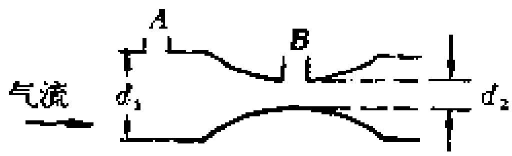


图 11-50

11-50 测量气体在导管中的流量，可用图 11-50 所示的装置。导管水平，气体流动的速度可由 A 和 B 处的压强算出。已知管的内直径分别为 $d_1=50$ 毫米和 $d_2=40$ 毫米，A 和 B 间的压强差为 $\Delta P=12$ 毫米水柱，气体的密度为 $\rho=0.0014$ 克/厘米^3。设阻力和气体密度的变化可以略去，求气体每小时流过的质量。

11-51 一消防引擎唧筒，每分钟由湖中抽出 1000 公斤的水，从离湖面高 $h=10$ 米的管口以 10 米/秒的速率射出。不计摩擦阻力，问引擎的输出功率为多少？

11-52 某灭火唧筒每分钟喷出 60 升的水，假定喷口处水柱

的横截面积为 $S_0=1.5$ 厘米^2，略去空气阻力，问水柱喷至 2 米高时，横截面积 S_1 应有多大？

11-53 图 11-53 为一大容器 A，内装液体，底部接一竖直管 B，管傍装有压力计 C，管 B 的下端用软木塞塞住，试问：

(1) 此时压力计的液面在多高位置(与 A 中液面比)？

(2) 若拔去软木塞，让水流动，当达到稳定后，压力计中液面在什么高度？

(3) 若 B 管是下端渐细的管，有何变化？

(4) 如果液体的粘滞性不能忽略，问压力计中的液面高度受到怎样的影响？

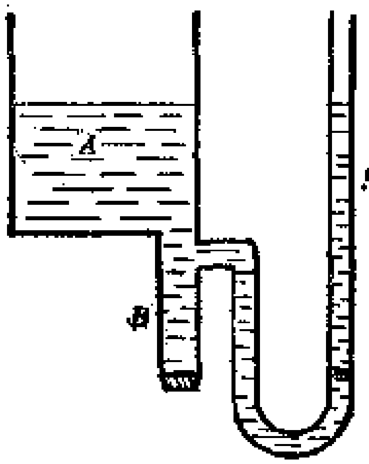


图 11-53

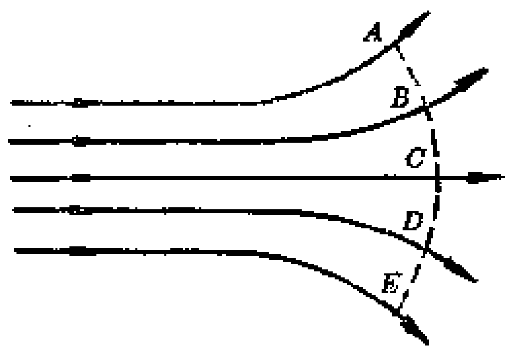


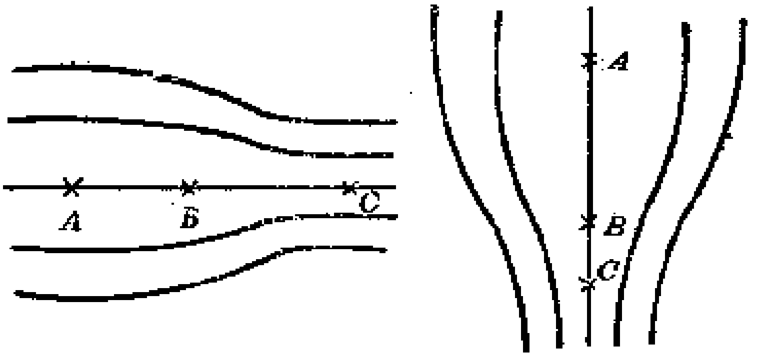
图 11-54

11-54 图 11-54 所示为水平面内流体中的流线，试问：

(1) 图中与流速方向正交的虚线上各点的压强是否相同？如不同，哪一点最大？

(2) 图中虚线上各点的流速是否相同？如不同，何处最大？

11-55 结合图 11-55(1)和图 11-55(2)所示两流管中 A、B、C 三点的压强论证：虽然理想流体在流动时仍然保持静止流体中压强的基本特点，但静止流体中关于两点压强差的关系不再普遍成立。



(1)　　　　(2)

图 11-55

11-56 为了使火车头不致停下来加水，有时可用下面的方法加水：在铁轨间装有长水槽，从火车上垂下一水管于水槽中，如图 11-56 所示，水就从这水管流入机车的水箱。

(1) 这是什么原因？

(2) 问火车的速度多大时，才能把水升高 $h=3.5$ 米？

(3) 要使火车在 1 公里的路程内有 3.0 米^3 的水进入水箱，问火车的速度应为多大(水管的内直径$d=10$厘米)？

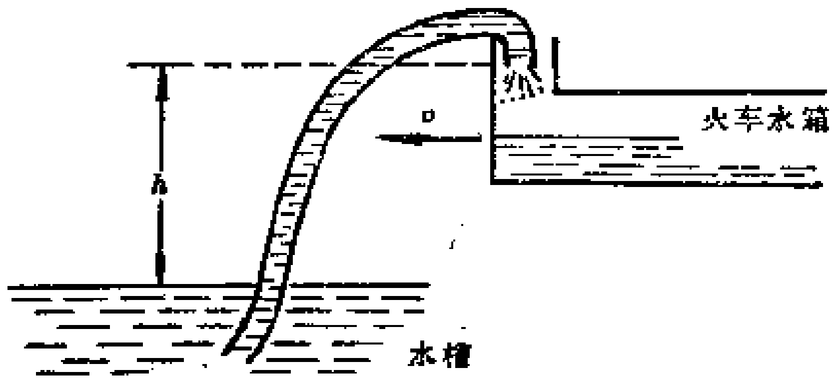


图 11-56

11-57 匀速地把水注入一大水盆内，注入的流量是 $Q=150$ 厘米^3/秒，盆底有一小孔，小孔面积是 $S=0.50$ 厘米^2，问水面将在盆中保持多高的高度？

11-58 一圆柱形桶，高为 $H=70$厘米，内部底面积为 $S=600$ 厘米^2，桶中注满了水。桶底有面积为 $S_1=1.0$ 厘米^2 的孔，试问：

(1) 桶中的水平面将怎样移动？

(2) 桶中的水全部流尽需要多少时间?

(3) 桶中的水漏去一半需多少时间?

11-59 一个大桶，盛水深为 $h=1.0$ 米，在底边开一小孔，孔的面积为 $S=1.0$ 厘米^2，试问:

(1) 水从小孔流出的速度是多大?

(2) 每秒有多少质量的水流出来?

(3) 每秒有多少动量流出来?

(4) 如果用姆指堵住小孔，使水不流出来，要用多大的力?

11-60 一大桶里装满深 h 的水，桶的侧面上开有一小孔，孔比水面低 h_1，比水底高 h_2，水从小孔流出，水到达底面时的水平射程是 x。若略去空气阻力，证明：当小孔位置在$h_1=h_2=\dfrac{h}{2}$处时，射程最大。

11-61 一水箱放在水平桌面上，箱的竖直壁上开若干小孔，一个在另一个的正上方。水箱中注满水后，水就从小孔中射出(略去空气阻力)。

(1) 证明：从各小孔中射出的水以相等的速率射到桌面上。

(2) 证明：若某小孔与箱中水面的距离等于另一小孔与箱底的距离，则由这两孔射出的水便落在桌面上同一点。

(3) 小孔开在哪里，它射在桌面上的距离为最远?

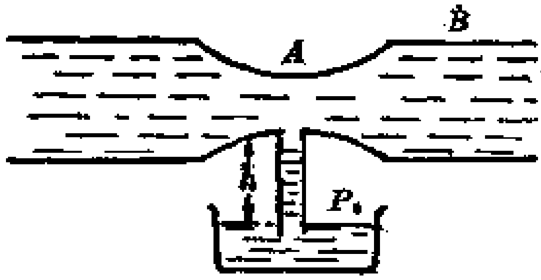


图 11-62

11-62 液体在一水平管道中流动，A处和B处的横截面分

别为 S_A 和 S_B，B 管口与大气相通，压强为 P_0。若在 A 处用一细管与容器相通，如图 11-62。证明：当 h 满足下式

$$h=\frac{Q^2}{2g}\left(\frac{1}{S_A{}^2}-\frac{1}{S_B{}^2}\right)$$

时，A 处的压强刚好能将从比管道低 h 处的同种液体吸上来。其中 Q 为体积流量。

11-63 一桶的底上有一小孔，水由孔中漏出。设水面距桶底 30 厘米，求下列各情况下水自孔中漏出的速度（相对水桶的速度）。

（1）桶固定不动；

（2）桶等速上升；

（3）桶以 120 厘米/秒^2 的加速度上升。

11-64 一接近底部的壁上有一小孔的圆桶，放在一小车上。桶中装满水后，水从小孔中射出，问在下面三种情况下，水流尽的时间是否相同？

（1）假定桶不动；

（2）假定桶因喷射水流的反作用使小车匀速运动；

（3）假定桶因喷射水流的反作用使小车加速运动。

11-65 一圆桶，内盛水深为 $h=1.0$ 米，在底边两侧有两喷嘴喷出水，两喷嘴至桶底中心 O 的距离都是 $d=10$ 厘米，如图 11-65 所示，试问：

（1）水从喷嘴出来的速度；

（2）如果喷嘴截面积 $S=1.0$ 厘米^2，水的喷出方向是以 O 为心，以 d 为半径的圆的切线方向。问由于水的喷出，桶所受的力矩是多少？

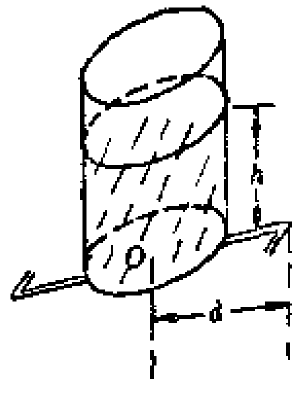


图 11-65

11-66 如图 11-66 所示的装置，可以表演

射出液体的反作用。证明：

（1）当容器以匀角速度ω旋转时，水喷出的速度（相对于喷嘴，沿喷嘴旋转的切线方向）为：

$$v=\sqrt{2gh+R^2\omega^2},$$

其中h为液体的喷嘴离容器水面的距离，R为转轴到喷嘴距离，ω为容器旋转的角速度；

（2）由于水喷出而产生的对容器的转动力矩为

$$M=2Sv\rho R(v-\omega R),$$

其中S为喷嘴的横截面积，ρ为水的密度。

（3）如果没有摩擦阻力，当水喷完时，转动力矩等于零。

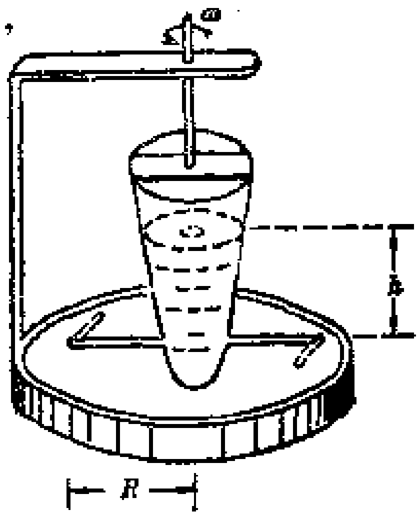


图 11-66

11-67 一大容器内储有压强恒为P的气体，器壁上有一小孔，容器外的压强为P'，$P'<P$。证明：气体流出的速度为：

$$v=\sqrt{\frac{2(P-P')}{\rho}}。$$

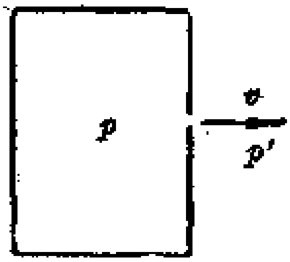


图 11-67

由上式可见，当压强差相等时，气体的流出速度与其密度的平方根成反比，可用此法测定气体的密度。

11-68 一种气体严密封闭于大铁桶中，压强为大气压的n倍，若突然将阀门开放，气体随即向大气中射出，假设此时压强与密度遵守绝热规律$P/\rho^{\kappa}=C$。忽略重力的影响，求出口处的速度。

［注：此时应当用伯努利积分$\frac{v^2}{2}+\int\frac{dP}{\rho}=C$。］

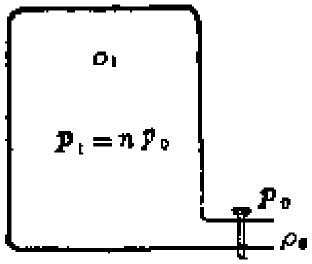


图 11-68

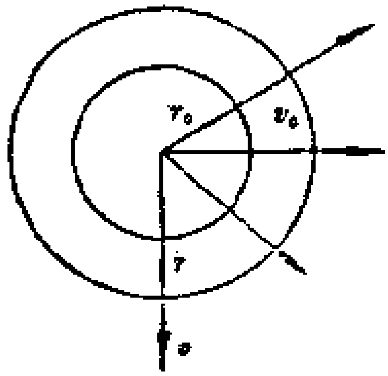


图 11-69

11-69 设在 O 点有一源，气体自 O 点球对称地辐射出来，单位时间流出的质量为 M，若气体作等温流动，即遵守 $P=c\rho$，证明：若忽略重力影响，则半径为 r 的球面上气体质点的速度为

$$v=\frac{M}{4\pi\rho_0 r^2}e^{\frac{v^2-v_0^2}{2c}},$$

其中 ρ_0，v_0 分别为 $r=r_0$ 处气体的密度和速度。［注：此时应当用伯努利积分。］

11-70 一玻璃瓶中盛水深为 h，瓶口用软木塞塞紧，通过软木塞插入一玻璃管，管上端敞开与大气相通。如果管中水面比瓶内水面低 $\frac{h}{2}$（如图 11-70），试问：

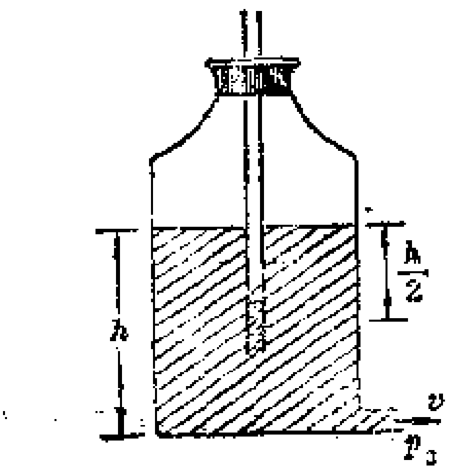


图 11-70

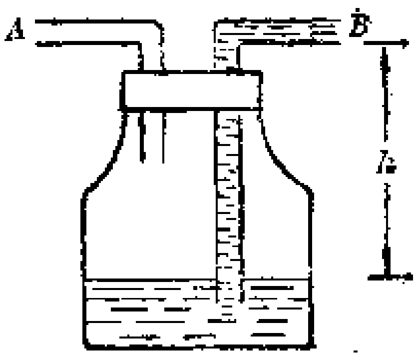


图 11-71

（1）瓶内液面上的气压是多少？

（2）若在瓶底开一小孔如图，水流出的速度v是多少？

11-71 化学上采用如图 11-71所示的方法洗瓶，已知 $h=20$ 厘米，问从 A 管吹进气体使瓶内压强为多大时，才能使水从管口 B 以 $v=60$ 厘米/秒的速度喷出？

11-72 一注射器水平放置(图 11-72)，它的活塞的横截面积为 $S_1=1.2$厘米^2，喷口的面积为 $S_2=1.0$ 毫米^2。如用 $F=0.5$ 公斤的力推活塞，使活塞移动 $l=4.0$ 厘米，则注射器中液体流尽，问液体从注射器中流尽所需的时间是多少？（略去活塞与管壁的摩擦。）

图 11-72

图 11-73

11-73 粘滞液体在两平行板间作稳定流动，各层速度如图 11-73 所示，

（1）比较小液片 $ABCD$ 的上下两面(AB, CD) 所受的粘滞力的大小和方向；

（2）小液片 $ABCD$ 前后两面(BD, AC) 受力的大小和方向。

11-74 一种粘滞液体，在重力作用下，在一半径为 R 的竖直管中作稳定片流。证明：液体距管轴为 r 处的流速是

$$v=\frac{\rho g}{4\eta}(R^2-r^2),$$

式中 ρ 为液体密度，η 为液体的粘滞系数，单位为泊(达因·秒/厘米^2)，g 为重力加速度。

11-75 一粘滞系数为η，密度为ρ的液体，在重力作用下，在两平行的竖直大板间自上向下作稳定片流。

(1)若两板相距是$2a$，证明距两板的中线为x处的流速是

$$v=\frac{\rho g}{2\eta}(a^2-x^2);$$

(2)求每单位时间流过一长为L，宽为$2a$的水平横截面的体积流量公式。

11-76 一盛有25厘米深的甘油的大液槽，槽底接一长为25厘米、内半径为0.3厘米的竖直管，管下端连通大气。考虑与该管同轴的一个液柱，半径为r、高为25厘米，设由于甘油的粘滞性及管口很细、液槽整体的流速很小，计算作用于此液柱顶面的力、本身的重量及其侧表面所受的粘滞力，并应用此三力的和等于零的稳定流动条件，求管心的流速。(甘油密度是1.32克/厘米^3，粘滞系数为$\eta=830$厘泊。)

11-77 一直径为0.01毫米的水滴在速度为2.0厘米/秒的上升气流中，是否会向地面落下？已知空气的$\eta=18\times10^{-5}$泊，$\rho=1.29\times10^{-3}$克/厘米^3。

11-78 一水滴在粘滞系数为$\eta=2.0\times10^{-4}$泊的气体中以收尾速度（气体阻力与水滴所受重力平衡时的速度）980厘米/秒下降，气体密度为1.0×10^{-3}克/厘米^3，求水滴的半径。

11-79 一密度为8.5克/厘米^{3}的钢球，和一密度为6.5克/厘米^{3}的玻璃球，在密度为0.9克/厘米^{3}的油中以相等的收尾速度下降，这油的粘滞系数是200厘泊，求两球半径的比值。

11-80 一直径为1.0毫米的气泡在一粘滞系数为150厘泊、密度为0.90克/厘米^{3}的液体中上升，问其收尾速度是多少？又若此气泡在水中上升时($\eta=1.0\times10^{-2}$泊)，其收尾速度是多少？

11-81 一半径为 1.0 毫米的钢球落入甘油槽中，甘油的粘滞系数为 830 厘泊。在某一时刻，钢球的加速度恰为自由落体加速度的一半，求此时钢球的速度 v_1。又已知钢球密度为 8.5 克/厘米^3，甘油密度为 1.32 克/厘米^3，求收尾速度 v。

11-82 牛奶的分离，可用自动凝乳法和离心分离法，其原理都是利用奶油与奶液密度不同，以达到分离的目的。

(1) 自动凝乳时，设小油滴直径为 $d=2.0$ 微米，它在牛奶中的粘滞系数 $\eta=1.1\times10^{-2}$ 泊，奶液密度 $\rho'=1.034$ 克/厘米^3，油滴密度 $\rho=0.94$ 克/厘米^3，小油滴在奶液中运动所受阻力为 $F=6\pi\eta\left(\frac{d}{2}\right)v$，其中 v 为油滴速率，求油滴上升的收尾速度 v_1。

(2) 牛奶在离心分离器中旋转，离心机转数为 $n=6000$ 转/分，求在距转轴 $R=5.0$ 厘米处油滴向旋转中心集中的收尾速度 v_2（不计竖直运动分量）。

11-83 一直径为 $d=5.0$ 厘米的小球在 15°C 的水中作周期振动，振幅为 $A=2.0$ 厘米，周期为 $T=0.3$ 秒，设水对小球的阻力为 $F=3\pi\eta dv$，式中 v 为小球速率，$\eta=1.1\times10^{-2}$ 泊是水的粘滞系数。求小球消耗的平均功率。

第十二章 狭义相对论的基本概念

12-1 甲乙两人相距L做投球游戏。如果光的传播速度与光源运动速度有关，可以用伽里略速度合成公式，则甲持球准备投出的动作要等$\frac{L}{c}$时间之后才传到乙处，球投出的动作只要等$\frac{L}{c+v}$时间后就能传到乙处，按这样推理，将得出什么结论？

12-2 双星是一种天体，两颗星绕它们的质量中心在一封闭的轨道上绕行，如果这轨道平面正好穿过我们的视线，如图 12-2 所示，则双星中任何一颗星有时向着我们运动，有时离开我们运动。假使光速与光源速度有关，可用伽利略的速度合成公式。问我们会发现什么情况？

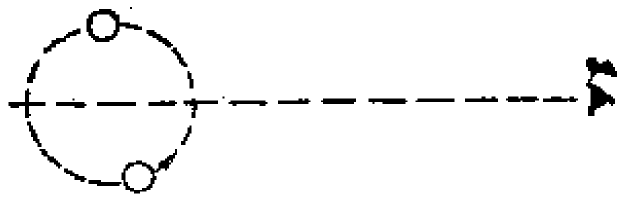


图 12-2

12-3 我国北宋至和元年（公元 1054 年）观测到一颗超新星爆发。当时的记录指出：客星（即超新星爆发）肉眼白日可见，2个月后光度减半，约一年多之后，用肉眼就完全看不见了（有关资料之一——宋史志卷九：至和元年五月巳丑出天关东南可数寸岁余稍没）。这颗超新星的遗迹就是今天可用大型望远镜或射电方法观察到的金牛座中的蟹状星云。根据现代的观测资料，这蟹状星云到地球的距离为$L\simeq5000$光年，向外膨胀的平均速率为$|v|\cong5\times10^{-3}$光年/年（如图 12-3）。

（1）设爆发是匀速球状膨胀，如果光速与光源运动速

度有关，则在刚爆发后，在地球上观察，有多长时间白天能用肉眼看到它？

（2）从你的计算与实际观测记录对比，你得出什么推论？

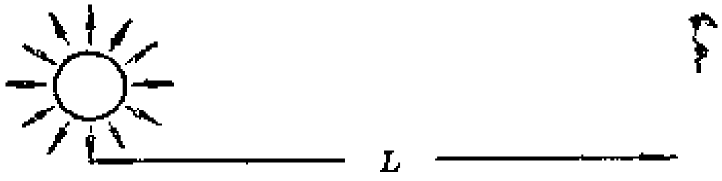


图 12-3

12-4 根据现代天文观测发现，超新星爆发是经常发生的，与地球距离不同的天际，都会有超新星爆发发生。

（1）设某一爆发的星到地球的距离 $L \geqslant 10^6$ 光年，爆发是匀速球状膨胀，膨胀速率 $|\boldsymbol{v}| \approx 5 \times 10^{-3}$ 光年/年。如果光速与光源运动速度有关，问在刚爆发后，在地球上观察，有多长时间可以观测到它的最大光度？

（2）观测指出，超新星爆发的光度变化，一般都在"月"的时间内减半，与距离 L 的值无关。从这事实你可得出什么推论？

12-5 在某一惯性参照系 S 里看来，物体 A 以匀速 v_A 沿 x 轴运动，物体 B 以匀速 v_B 沿 x 轴运动，但方向与 A 相反。

（1）在参照系 S 看来，A 与 B 之间相对运动的速度 v 是多大？

（2）以 c 代表真空中的光速，当 $v_A=0.8\,c$，$v_B=0.6\,c$ 时，v 是多少？

（3）在同一惯性参照系 S 中看来，两个物体 A 和 B 之间相对运动的速度 $v>c$，是否违反狭义相对论？为什么？

（4）在 A 看来（即在随 A 一起运动的坐标系 S' 里看来），B 的速度 v'_B 是多少？

12-6 证明：在洛伦兹变换下，Δs^2 是不变量，即

$$\Delta s'^2 \equiv (x'_2-x'_1)^2+(y'_2-y'_1)^2+(z'_2-z'_1)^2-c^2(t'_2-t'_1)^2$$
$$=\Delta s^2 \equiv (x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2+(z_2-z_1)^2-c^2(t_2-t_1)^2。$$

12-7 证明：两个洛伦兹变换合起来还是洛伦兹变换（即如果 S 系到 S' 系是洛伦兹变换，S' 到 S'' 系是洛伦兹变换，则 S 系到 S'' 系也是洛伦兹变换）。

12-8 由洛伦兹变换

$$x'=\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}};$$

$$y'=y;$$

$$z'=z;$$

$$t'=\frac{t-\frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}},$$

求它的反变换，即从 S' 系到 S 系的变换。

12-9 由 S 系到 S' 系的速度变换公式是

$$v'_x=\frac{v_x-v}{1-\frac{v_x v}{c^2}};\quad v'_y=\frac{v_y\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{1-\frac{v_x v}{c^2}};\quad v'_z=\frac{v_z\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{1-\frac{v_x v}{c^2}},$$

求它的反变换式，即从 S' 系到 S 系的速度变换公式。

12-10 设有一车，以匀速率 $v_0=100$公里/秒作直线运动。

（1）在车上以速率 $v_1=60$ 公里/秒向前投一球，按伽利略变换计算，站在路边的观察者看来，球的速度是多少？

（2）在车上以速率 $v_1=60$ 公里/秒向后投一球，按伽利略变换计算，站在路边的观察者看来，球的速度是多少？

（3）对于上述两种情况，用狭义相对论的速度合成公

式，分别求出结果。

12-11 一根长杆与 x 轴平行，并以 x 轴为轴线作匀速转动。设 S' 为沿 x 轴作匀速 v 运动的坐标系，问在 S' 系中观测，这长杆将是什么样子？它怎样运动？

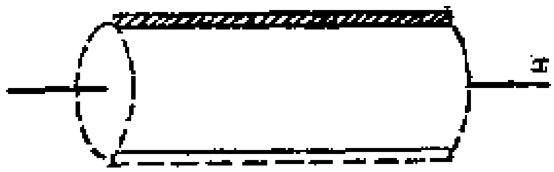


图 12-11

12-12 S 和 S' 是两个惯性坐标系，彼此匀速相对运动，因此，在 S 系的人观测得出，S' 系的钟(时间)慢了；在 S' 系的人观测得出，S 系的钟(时间)慢了。究竟是谁的钟(时间)慢了？你认为这个矛盾如何解决？

12-13 S 和 S' 是两个相互平行的惯性系，S' 对 S 沿 x 轴以 $\frac{1}{2}c$ 的速率运动。

(1) 在 S 系中静止放置一把尺子，长为 l，问在 S' 系来测量，此尺子的长度是多少？

(2) 在 S 系中的某点 A 发生一个事件，时间间隔为 Δt，问在 S' 系来看，这事件的时间间隔是多长？

12-14 在实验室中观测到一个运动着的 μ 子在实验室坐标系中的寿命等于在它自己坐标系中的寿命的 50 倍，求它对于实验室坐标系运动的速度 v。

12-15 爱因斯坦在他 1905 年创立狭义相对论的论文中说："一个在地球赤道上的钟，比起放在两极的一只在性能上完全一样的钟来，在别的条件都相同的情况下，它要走得慢些"。根据各种观测，地球从形成到现在约为 50 亿年，假定地球形成时，就有爱因斯坦所说的那样两个钟，问现在它们所指的时间相差多少？所得结果就是两极与赤道年龄之差。已知地球半径为 6378 公里。

12-16 按上题同样的道理，一个在地球上的钟，要比一个性质完全相同、所处条件也完全相同、假设放在太阳上的钟略为走得

慢些，设太阳年龄为 $\tau=50$ 亿年，已知地球公转的平均速率为 $v=29.76$ 公里/秒。求地球与太阳年龄之差。

12-17 按 12-15 题同样的道理，一个在月球上的钟，要比一个性质完全相同、所处条件也完全相同、放在地球上的钟略为走得慢些，设地球年龄为 $\tau=50$ 亿年，月球绕地球转动的平均速率为 $v=1.02\times10^5$ 厘米/秒。求月球年龄与地球年龄之差。

12-18 一个"光钟"由两个相距为 L_0 的平行平面镜 A 和 B 组成。对于这个光钟为静止的参照系来说，一个"滴答"的时间(即光从一镜面 A 到另一镜面 B 再回到原处的时间)是 $\tau_0=\dfrac{2L_0}{c}$。

(1) 假设这光钟安装在一个快速（速度为 v）运动的火车上，使两镜面都与 v 平行，而且两镜中心联线与 v 垂直，如图 12-18(1) 所示，对于铁路边站着的观察者来说，在光钟的一个"滴答"时间内，光线走的是一条比 $2L_0$ 长的曲折的路线，利用光速不变原理证明：在铁轨参照系中测出，一个"滴答"所需的时间为 $\tau=\dfrac{\tau_0}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}}$。

(2) 设光钟的安装改变 90°，即两镜面都与 v 垂直，而两镜中心联线则与 v 平行，如图12-18(2)所示。这时，对铁轨参照系来说，两镜间的距离仅为 $L_0\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}$。证明：

图 12-18

在铁轨参照系中测出，一个“滴答”时间仍为$\tau=\dfrac{\tau_0}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}}$。

12-19 铁路管理局经过严格检查，某条平直铁路上沿途各站的钟都对准了。但在飞快地奔驰的列车上的旅客们看来，却没有对准。他们经过测量，得出结论说：“看来沿途的钟不准，前边快了后边迟”。你认为旅客们的意见是否正确？为什么？

12-20 设S和S'都是惯性坐标系，S'相对于S沿x轴运动，S系的$A(x_1, 0, 0)$点在t_1时刻发生一件事，然后$B(x_2, 0, 0)$点在t_2时刻发生一件事，已知$x_2>x_1$，$t_2>t_1$。

(1) 证明：只要$(x_2-x_1)<\dfrac{c^2}{v}(t_2-t_1)$，（其中$c$是真空中光速）则在$S'$系中看来，也是$A$事件先发生，$B$事件后发生，先后次序决不会反过来。

(2) 如果不满足上述条件，则情况如何？

12-21 一高速列车以$0.6c$（c为真空中的光速）的速率沿平直轨道运行，车上A、B两人正在进行游戏，两人相距$L=10$米，B在车前，A在车后，他们用玩具手枪射击中间的玩具，并且都射中了这件玩具，车中的乘客说B先开枪，而A过了10纳秒之后才开枪，所以B胜，假如你站在列车经过的路边上看，你能同意车上乘客的评判吗？假如不同意，你的结论怎样？

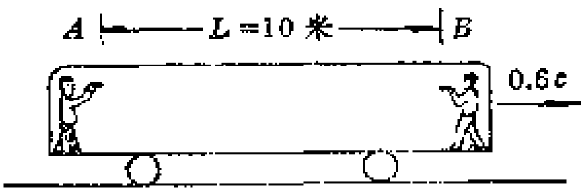


图 12-21

12-22 甲乙两汽车，静止时一样长，当它们在马路上迎面而过的时候，甲车上的人测得乙车比甲车短了；乙车上的人测得甲车比乙车短了。

（1）你觉得谁对？这个矛盾如何解决？

（2）如果你站在马路旁边观测，你将得出什么结论？

（3）如果你在任何一个车（例如甲车）上观测，你将得出什么结论？

12-23 有一根杆子，静止时它的长度超过门的宽度，因此横着拿不进门。但使它在门前沿长度方向运动，如图 12-23（2）所示，则在门的参照系看来，杆缩短了，因此可以横着拿进门来。但另一方面，在杆的参照系看来，门变窄了，因此横着更拿不进去。你认为这杆子能不能拿进门？为什么？

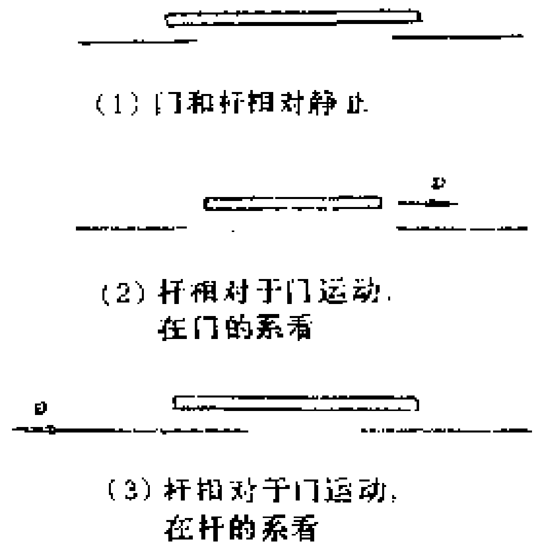


图 12-23

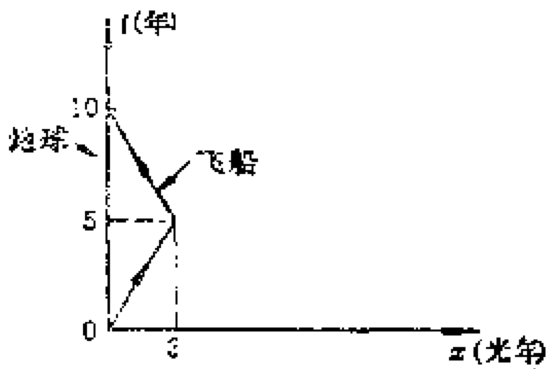


图 12-25

12-24 有一顽童，被花园中美丽的景致吸引，很想进去玩一玩，但栏杆的间距比他小，他钻不进去。但是他听说过一点相对论，又设想他能跑得飞快，几乎可以接近光速。所以他异想天开，想沿着栏杆跑，使自己在跑的方向上变得很薄，因而便可以从铁栏杆间钻进花园里去。你认为他能达到目的吗？

12-25 设地球在某个洛伦兹参照系中是静止的。在这个参照系中进行测量时，一个宇宙飞船以速度$\frac{3}{5}c$离开地球飞向离地球3光年的点，然后再反转其速度方向回到地球上（见图 12-25）。在

地球上有一个光钟，它每年发出一个光脉冲，船起飞时钟指着 $t=0$（这样一来，在飞船的整个旅行过程中，钟发出 11 个脉冲，依次在 $t=0, 1, 2, \cdots, 10$ 发出）。试问：

（1）在飞船上有一个同样结构的钟，飞船起飞时也指着 $t=0$，在旅行过程中，飞船内的钟发出了几个脉冲？

（2）用飞船上的钟来测量，在什么时刻收到从地球传来的相继的脉冲？

（3）用地球上的钟来测量，在什么时刻收到从飞船上传来的相继的脉冲？

（提示：用多普勒效应考虑这个问题）

请在下表中列出你的结果：

地球上的钟发出脉冲时的读数	飞船上的钟收到脉冲时的读数
0	0
1	…
2	…
…	…
…	…

飞船上的钟发出脉冲时的读数	地球上的钟收到脉冲时的读数
0	0
1	…
2	…
…	…
…	…

12-26 一列火车在一长直的铁道上匀速行驶，铁道穿过一个隧道。在静止时，火车恰好与隧道一样长；然而，现在火车以接近光速的速率运行。火车的司机说："隧道因为洛伦兹收缩，比火车短；因此，火车决不可能在任一时刻全部处在隧道之中。"隧道看守人说："火车因为洛伦兹收缩，比隧道短，所以有一个时刻，火车

是全部处在隧道之中"。他们由于谁都不能说服谁而愤怒了。

（1）司机决定用下述方法解决这个争论。他在火车头尾两端各安装一个定时火箭，使得当火车的中点到达隧道的中点时两个火箭同时沿竖直方向飞出。这将发生什么结果？画出这些事件的时——空图，分别用火车在其中静止的参照系和隧道在其中静止的参照系描述这些事件的先后次序。

（2）隧道看守人也试图解决这个争论。他在隧道两端都竖立巨大的定时铁门，使得当火车中点到达隧道中点时，两门同时关上。用两种参照系来描述事件的先后序次。

12-27 （1）由于地球自转引起的地球赤道上的光行差常数（天文上叫周日光行差常数）有多大？

（2）由于地球公转而引起的光行差常数（天文上叫周年光行差常数）有多大？

（3）上面两个常数之比是多大？

12-28 一个宇宙飞船沿正 x 方向飞行，接收到一颗恒星发出的光讯号，这星在 x-y 平面上。在恒星为静止的参照系中计算，讯号来的方向与飞船的轴成 θ 角。取 x 方向的洛伦兹变换，求出在飞船为静止的参照系里，讯号来的方向角 θ'。把 θ' 表示为 θ 和 ϕ 的函数，其中 $\phi = \tan^{-1}v$，v 是飞船相对恒星为静止的参照系的速度。飞船在其前端有一个半球形的观察室，所有 $\theta' < \frac{\pi}{2}$ 的恒星，在观察室里都可以看见。取 $c=1$。

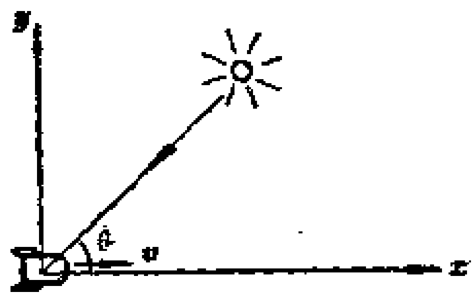


图 12-28

（1）证明：对于 $\cos\theta > -\tanh\phi$ 的恒星都可以看见。

(2) 当$v \to 1$的极限时，有什么情况发生？

12-29　一个质点，受力作用，力的方向和它的运动方向一致。

(1) 用动量关系$F=d(mv)/dt$证明

$$Fds=mvdv+v^2dm。$$

(2) 利用关系式$v^2=\left(1-\frac{m_0^2}{m^2}\right)c^2$证明

$$mvdv=\frac{m_0^2c^2}{m^2}dm。$$

(3) 利用上面两个结果证明：

$$W=\int Fds=(m-m_0)c^2。$$

12-30　一个电子（静止质量为9.11×10^{-31}公斤）以0.99 c的速率运动。试问：

(1) 它的总能量为多少？

(2) 按牛顿力学算出的动能和按相对论力学算出的动能各为多少？它们的比值是多少？

12-31　已知电子的静止质量为9.11×10^{-31}公斤，1.0电子伏特$=1.60\times10^{-19}$焦耳，问电子的动能为

(1) 100000电子伏特，

(2) 1000000电子伏特时，

它的速度各是多少？

12-32　(1) 一个物体的静止质量为10克。问当它相对于观察者以3.0×10^7米/秒的速率运动时，其质量是多少？以2.7×10^8米/秒的速率运动时，质量又是多少？

(2) 比较上述两种情况下牛顿力学和相对论力学的动能；

(3) 如果观察者或测量仪器随着物体一起运动，则结果如何？

12-33 假设一个火箭飞船的静质量为 8000 公斤，从地球飞向金星，速率为 30 公里/秒。估算一下，如果用非相对论公式 $E_k=\frac{1}{2}m_0v^2$ 计算它的动能，则少算了多少焦耳？（用 E 的二项式展开）。用这能量，能将飞船从地面升高多少？

12-34 一个质量数为 42 的静止粒子衰变成两个碎片，其中一个碎片的静质量数为 20，以速率 $\frac{3}{5}c$ 运动，c 是真空中光速。求另一碎片的动量 p、能量 E、静质量 m_0。（1 原子质量单位 $=1.66\times10^{-27}$ 千克。）

12-35 ^{235}U 原子核裂变时，约有千分之一的质量转化为能量，每公斤好煤燃烧时，约放出 7000 卡的能量。问 1 公斤 ^{235}U 裂变放出的能量，相当于燃烧多少吨好煤放出的能量？

12-36 （1）在铀的裂变中，裂变产物的静质量仅为裂变前静质量的 99.9%，设所失去的质量都转变为能量，设 1 公斤铀裂变产生的全部能量都能转变为电能，问可得多少度电？

（2）某工厂每年消耗的电能为 5.63×10^7 瓦·时，如果这些电量完全是由质量转化而成，问这工厂一年消耗了多少公斤的物质？

12-37 已知四个氢原子核（质子）结合成一个氦原子核（α 粒子）时，有 5.0×10^{-29}（公斤）的质量转化为能量。试计算一公斤水里的氢原子核都结合成氦原子核时所放出的能量。这些能量能把多少水从 0°C 加热到 100°C？（氢核质量为 1.0081 原子质量单位，1 原子质量单位 $=1.66\times10^{-27}$ 公斤。）

12-38 在某聚变过程中，四个氢核转变成一个氦核，同时以各种辐射形式放出能量。假设一个氢核的静止质量为 1.0081 原子

质量单位，而一个氦核的静止质量为 4.0039 原子质量单位。计算四个氢核聚变成一个氦核时所释放出来的能量。

12-39 二极真空管是由一个柱形阳极包围一个柱形阴极构成。一个电子带着 4.8×10^{-16} 焦耳的位能(相对于阳极而言)并以初速率 $v_0=0$ 离开阴极表面。设这电子不与任何空气分子碰撞，并且万有引力可以略去不计。

(1) 当电子撞击阳极时，它的动能为多大?

(2) 取电子静止质量为 9.11×10^{-31} 公斤，求它到达阳极时的速率。

(3) 如果用动能为 $\frac{1}{2}m_0v^2$ 计算，所得结果是否可以认为是正确的?

12-40 一个 α 粒子$\left(\text{质量为}\frac{2}{3}\times10^{-26}\text{公斤}\right)$以速率 $\frac{4}{5}c$ 进入水泥防护墙(c 为真空中光速)，墙厚 0.35米，这粒子从墙的另一面出来时速率减小为 $\frac{5}{13}c$。

(1) 求墙作用于粒子的减速力(设为常数) F_0 的大小。

(2) 粒子穿过墙需要多长时间?

12-41 静止的电子偶(即一个电子和一个正电子)淹没时产生两个光子，如果其中一个光子再与另一个静止电子碰撞，求它能给予这电子的最大速度。

12-42 康普顿散射(电子-光子散射)和其它碰撞过程一样，从零动量参照系来看特别简洁。假设一个光子与一个以速率为 $\frac{3}{5}c$ 的运动电子(c 为真空中光速)发生正碰撞，作为相互作用的结果，电子和光子两者都简单地反转其运动方向。

(1) 用电子的静质量 m_0 表出碰前光子的动量和能量。

(2) 用实验室坐标系（在其中电子原先是静止的）描述同一碰撞过程。

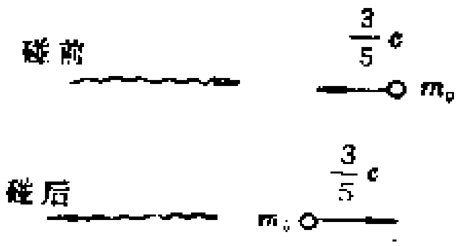


图 12-42

第一册 习题答案

力 学

第一章 质点运动学

1-1

时 间	t	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7
速 度	v	−	−	0	+	+	0	+	+
加速度	a	0	+	+	0	−	0	+	0

孤立体的运动即 $a=0$ 的运动。t_3时刻 a 只是短暂为零。所以 $t<t_0$和 $t>t_7$ 为孤立体的运动，t_5时刻 $a=0$，是否为孤立体要看这段的时间间隔。

1-2 （1）距离与时间关系图，略；

（2）加速度与时间关系图，略。

1-3 （1）距离与时间的关系图，略；

（2）速度与时间的关系图，略。

1-4 （1）$v=\dot{x}=10t$ 厘米/秒，$a=\ddot{x}=10$ 厘米/秒^2。

（2）$v_0=0$厘米/秒，$x_0=10$厘米。

（3）100厘米/秒。

（4）图略。

1-5 （1）$v=\dot{x}=(20t-5)$厘米/秒；$a=\ddot{x}=20$厘米/秒^2；

$|v_0|=5$ 厘米/秒，方向沿X轴的负方向。

（2）$-\frac{5}{8}$厘米。

（3）$t_1=0$秒，$v_1=-5$厘米/秒；$t_2=\frac{1}{2}$秒，$v_2=5$厘米/秒。

1-6 (1) $a=4t$; $x=8t+\frac{2}{3}t^3-\frac{1372}{3}$ 或 $3x=24t+2t^3-1372$。

(2) 8厘米/秒。

(3) $-\frac{1372}{3}=-457.3$ 厘米。

1-7 $\Delta s=5.02$ 米；方向东偏北 $28°40'$。

1-8 (1) 位移1.73米；路程4.19米；平均速度 $\bar{v}=0.41$ 厘米/秒，方向沿位移的方向；瞬时速度 $v=1.0$ 厘米/秒，方向沿圆周该点切线。

(2) 位移2.0米；路程3.14米；平均速度 $\bar{v}=0.64$ 厘米/秒，方向沿位移方向；瞬时速度 $v=1.0$ 厘米/秒，方向沿圆周该点切线。

1-9 61厘米/秒；60.1厘米/秒；60.01厘米/秒；60厘米/秒。

1-10 (1) -0.5米；-0.5米/秒。

(2) 3米/秒；-6米/秒。

(3) 2.25米。

(4) -9米/秒^2；3米/秒^2；-3米/秒^2。

1-11 (1) (*a*) 一点；(*b*) 一直线；(*c*) 一圆；(*d*) 阿基米德螺线；(*e*) 一竖直直线。

1-12 *A*点附近曲率最大处。

1-13 (1) $\begin{cases} x^2+y^2=R \\ z=\dfrac{h}{2\pi}\omega t \end{cases}$

运动轨迹是一旋进的螺线，旋进轴为 z 轴，在 x-y 平面上的投影是右旋的圆。

(2) 速度公式 $\begin{cases} \dot{x}=-R\omega\sin\omega t \\ \dot{y}=R\omega\cos\omega t \\ \dot{z}=\dfrac{h}{2\pi}\omega \end{cases}$

加速度公式 $\begin{cases}\ddot{x}=-R\omega^2\cos\omega t\\ \ddot{y}=-R\omega^2\sin\omega t\\ \ddot{z}=0\end{cases}$

1-14 (1) $\boldsymbol{v}=\dot{\boldsymbol{r}}=-a\omega\sin\omega t\boldsymbol{i}+b\omega\cos\omega t\boldsymbol{j}$;

$\boldsymbol{a}=\ddot{\boldsymbol{r}}=-a\omega^2\cos\omega t\boldsymbol{i}-b\omega^2\sin\omega t\boldsymbol{j}$。

(3) 图略。

1-15 在 50 米处。

1-16 正确的是 $v=\sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2+\left(\frac{dy}{dt}\right)^2}$,

$$a=\sqrt{\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)^2+\left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)^2},$$

因为 $\boldsymbol{r}$ 是矢量。

1-18 取 P 为坐标原点，L 为 x 轴，向右为正，在斜面内、过 P 点，垂直于 L 的直线为 y 轴，向上为正。

则得轨迹方程为

$$y=x\tan\alpha-\frac{g\sin\beta}{2u^2\cos^2\alpha}x^2,$$

此为一抛物线。

1-19 (1) $\omega=20$ 弧度/秒。

(2) $\begin{cases}x=r(\omega t-\sin\omega t)\\ y=r(1-\cos\omega t)\\ r=0.50\ 米\\ \omega=20\ 弧度/秒\end{cases}$

此为一摆线的参数方程。

1-20 (1) 球滚动角速度为 ω，球心的速度为

$$v=\omega\sqrt{r^2-\left(\frac{d}{2}\right)^2}。$$

(2) 小球面上任一点的轨迹均为摆线。

1-21 (1) 对。 (2) 不对。

1-22 法向加速度 $a_n=0.25$ 米/秒^2，方向指向圆心；总加速度 $a=0.32$ 米/秒^2，方向指向圆内并且与速度在半径的异侧，与半径的夹角 $\varphi=38°40'$。

1-23 不同。

1-24 不是。

1-25 （1）可以。 （2）不可以。

1-26 （1）可能。 （2）可以。

1-27 （1）速度可以愈来愈大，也可以愈来愈小，要看速度与加速度的方向如何。

（2）可以。

1-28 $\frac{5}{3}$米/秒^2=1.67 米/秒^2； 5.0 米/秒。

1-29 0 米/秒； 9.8米/秒^2。

1-30 980 厘米/秒； 490 厘米。

1-31 29.8 公里。

1-32 （1）100 米； 20 米/秒。 （2）图略。

1-33 （1）无穷多次。 （2）1.0 小时。 （3）60 公里。

1-34 （1）0.52 米/秒^2。 （2）10.4 米/秒； 14.6 米/秒。

1-35 （1）30 米。 （2）v-t 图下的面积就是上升高度，亦为 30 米，图略。 （3）2.14 米/秒。

1-36 （2）$V_M=\frac{h_1}{h_1-h_2}v_A$。

1-37 （1）$AB=114$ 米。 （2）因要考虑空气阻力及重力的影响。

1-39 12.8 米/秒。

1-40 （1）50 秒。 （2）64 米/秒。

1-41 $v=\sqrt{aL}$。

1-43 (1) $a_A/a_B=\frac{4}{3}$。

1-44 (1) $56.5°<\alpha<123.5°$。 (2) 2.5 米/秒。

1-45 不可以。

1-46 $a\sim-3.0$ 米/秒^2； $v_0\sim11$ 米/秒。

1-47 (1) 5.0米/秒。 (2) 1.67 米/秒^2。 (3)7.5 米。

1-48 9.85×10^2 米/秒^2。

1-49 40.6 公里/小时<48 公里/小时，未超过。

1-51 0.4 米/秒^2。

1-52 $\frac{40\pi}{3}$公里/分＝698 米/秒。

1-53 10.4 米/秒。

1-54 $v=h\omega\sec^2\theta$;

$a=2h\omega^2\sec^2\theta\tan\theta$。

1-55 4 个车身长度。

1-56 (1) 斜面与底边夹角 $\alpha=25°$。 (2) $\alpha=45°$。

1-59 12.5 厘米/秒^2； 7.84×10^3 厘米。

1-60 30 米； 90 米； 150 米。

1-61 58 米。

1-62 7.0秒； 240 米。

1-63 $v_0=\sqrt{\frac{3}{2}gs}$

1-64 78.4 米。

1-65 2.0 秒； 60.4 米。

1-66 15.3 米/秒。

1-67 (1) 2.25 秒。

(2) 两物不会相遇，或在地面上相遇。

1-68 $S=2v_0t$(落地之前)。

1-70 下降时间较长。

1-71 相同。

1-72 小孩扔球速度为 $v_0=16.4$ 米/秒，速度方向与地面夹角为 $\alpha=83°40'$。

1-74 (1)

时间 t	$\frac{1}{2}$秒	2 秒
高度 y	21.3 米	10.4 米
速度 v	0.1 米/秒	－14.6 米/秒

(2) 2.6 秒；－20.4 米/秒。 (3) 图略。

1-75 (1) 12 米/秒。 (2) 图略。

1-76 1.5×10^{-2} 米。

1-77 2.34 米。

1-78 (1) 27.4 公里。 (2) 166 秒。

1-79 (1) 0.37 秒。 (2) 小球反而上升 2.0 米。

1-80 92.0 米。

1-81 (1) 12.5 米/秒，方向向下。 (2) －8.45 米/秒，方向向上。

1-82 (1) 764 米。 (2) 理想射程为 100 公里，所以阻力使射程减少几成。 (3) 应当用有动力的炮弹，即导弹。

1-83 (1) 抛射角 $\alpha\sim76°$。 (2) $v=\frac{n}{2}\sqrt{2gh}$。

1-85 (1) $t=1.5$ 秒，$\alpha=14°41'$；$t=2.5$ 秒，$\alpha=-35°41'$。(2) 经过 0.75 秒；高度 $h=10$ 米。 (3) $R_1=10.2$ 米。 (4) $R_2=82$ 米。

1-86 $v=\Delta L\sqrt{g/2\Delta h}$。

1-87 （1）飞行时间 $t=7.0$ 秒；矿坑宽为 $x=420$ 米。

（2）速度与水平夹角 $\theta=37°$；速率 $v=75$ 米/秒。

1-88 $\theta=\frac{\pi}{4}+\frac{\phi}{2}$。

1-91 $\phi=16°42'$。

1-92 1.82 公里。

1-93 （1）169 米/秒。 （2）509 米。 （3）速率 $v=$ 210 米/秒；速度与水平的交角 $\alpha=61°$。

1-94 投球方向与水平的夹角 $\alpha=25°$ 或 $65°$。

1-95 7.28 米/秒。

1-96 $v_0=\sqrt{\frac{Lg\cos\alpha}{2\cos\beta\sin(\beta-\alpha)}}$。

1-97 $20°3'$ 或 $88°14'$。

1-98 83 米/秒。

1-99 以起始点为第零台阶，球首先撞在第 5 台阶上。

1-101 5.8 米/秒。

1-103 快的抛射角为 $26°34'$；慢的抛射角为$63°26'$。

1-104 96 厘米。

1-105 ～166 米。

1-106 （1）0.0 米。 （2）0.0 米；第 10 次碰撞时正好落地。

1-107 $(H-h)>\frac{v_0^2}{4g}$时，他们之间最远距离是$\frac{v_0^2}{g}$；

$(H-h)<\frac{v_0^2}{4g}$时，他们之间最远距离是

$$4\sqrt{(H-h)\left[\frac{v_0^2}{2g}-(H-h)\right]}。$$

1-108 （1）$4S$。 （2）同时到达地面。