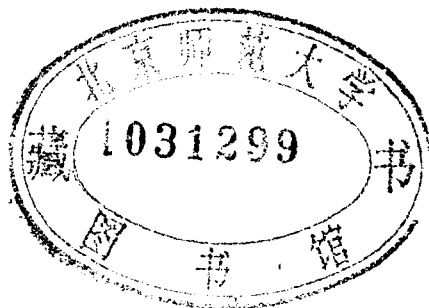


普通物理学思考题题解

华东师范大学物理系
普通物理教研组 编

70.1176/18



编写说明

近年来出版的各类普通物理教材,几乎都配有许多思考题,这对加深理解基本概念,启发学生的思维能力很有帮助。为了提供一本教学参考书,特选编了一些思考题,并对每题辅以解答,汇编成册,供大家参考。

本书以大专院校普通物理教师、中等学校物理教师以及自学普通物理课程的读者为主要对象,兼顾大学低年级学生、高中毕业生的需要。对中学生学习物理搞清概念也有帮助。在选编思考题过程中,我们参考了目前使用较广泛的各种国内外教材,同时适当加进我们在教学过程中所遇到的一些问题。选题尽量注意有典型性,解答也只提供了一种看法,并不一定全面。

本书包括力学、热学、电磁学、光学和原子物理等内容的思考题,其中力学部分由谭树杰编写,热学和静电场部分由万东辉编写,稳恒电流、磁场和电磁感应部分由徐家康编写,光学和原子物理部分由赵玲玲编写。全书由许国保教授主审。鉴于我们业务水平有限,教学经验不足,加上时间仓促,从选题到解答难免有不妥之处,恳请读者不吝指教。

编者

1981.4.

目 录

第一部分 力学	1
§ 1 运动学	1
§ 2 动力学	11
§ 3 功和能	32
§ 4 动量守恒定律	39
§ 5 刚体的转动	47
§ 6 机械振动	59
§ 7 机械波	68
第二部分 热学	74
§ 1 分子物理学	74
§ 2 热力学	87
第三部分 电磁学	106
§ 1 静电场	106
§ 2 静电场中的导体和电介质	116
§ 3 稳恒电流	128
§ 4 磁场与磁介质	151
§ 5 电磁感应与电磁波	172
第四部分 光学	195
§ 1 几何光学	195
§ 2 干涉	211
§ 3 衍射	217
§ 4 偏振	223
§ 5 光的量子性	231
第五部分 原子物理与原子核物理	236
§ 1 原子物理	236
§ 2 原子核物理	248

第一部分 力 学

§1 运 动 学

1 路程和位移有什么区别?矢径和位移有什么区别?

答:路程是标量,位移是矢量;路程是物体运动经历的实际路径,而位移是物体初末位置矢量之差,表示物体位置的改变,一般并不是物体所经历的实际路径。

例如一物体绕半径为 R 一周后回到原位置,其路程为 $2\pi R$,而位移却为零。

只有当物体作单向直线运动时,位移的数值才与路程相同。

矢径即位置矢量,是坐标原点到物体所在位置的一有向线段。位移是两位置矢量之差。若取物体运动起始点为坐标原点则两者一致。

2 一物体具有恒定的速率,但仍有变化的速度,是否可能?一物体具有恒定的速度,但仍有变化的速率,是否可能?

答:速度是矢量,既有大小又有方向,两者中有一变化,速度即有变化。当速度的大小不变而方向变化时,就是具有恒定速率,而仍有变化的速度的情形。例如匀速圆周运动就是一例。

物体具有“恒定的速度”,意味着速度的大小、方向均不变化,因此速率也不变。这种“速度恒定而速率变化”的情形是不可能的。

3 一物体具有加速度而其速度为零,是否可能?

答:根据定义,加速度是速度的变化率,与速度的增量有

关。在某一时刻物体的速度为零, 而经 Δt 时间间隔后速度为 v , 则这一时刻的加速度就不为零。所以“物体具有加速度而其速度为零”是可能的。例如单摆在偏离平衡位置最大值时, 速度为零, 但加速度不为零, 而等于 $a = g \sin \theta$ (这时 θ 为偏离平衡位置的最大夹角)。

4 分析以下三种说法是否正确?

- (a) “运动物体的加速度越大, 物体的速度也越大”;
- (b) “物体在直线上向前运动时, 若物体向前的加速度减小了, 则物体前进的速度也随之减小”;
- (c) “物体加速度的值很大, 而物体速度的值可以不变, 这是不可能的。”

答: (a) 加速度是速度随时间的变化率, 只有当速度随时间的变化率越大时, 加速度才越大。速度与加速度是两个不同的物理量。加速度大, 速度不一定大; 速度大时加速度也不一定大, 甚至加速度可能为零。

(b) 判断物体是加速运动还是减速运动, 不能仅仅根据加速度的正负, 而要根据加速度与速度的方向是否一致。若两者方向一致, 则是加速运动; 若两者方向相反, 则是减速运动。当加速度减小时, 只要与速度的方向仍然相同, 物体仍然是加速运动, 物体运动的速度还是在加快, 只是加快的程度较前小了。

(c) 当加速度的方向与速度的方向垂直时, 加速度只改变速度的方向, 而不改变速度的数值(即速率), 因此物体加速度值很大, 而物体速度的数值不变是可能的。例如匀速圆周运动就是如此。

所以这三种说法都不正确。

5 平均速率的意思可以是平均速度矢量的大小, 另一个意思是所经路径的总长度除以所经的总时间, 这两个意思是否

相同?

答: 一般而言平均速率的定义是物体所经过的路径长度与所经的时间之比, 即

$$\text{平均速率} = \frac{\text{路程长度}}{\text{所经时间}}$$

在直线运动中, 若物体始终朝着一个方向运动, 则平均速度矢量的大小就等于平均速率了。

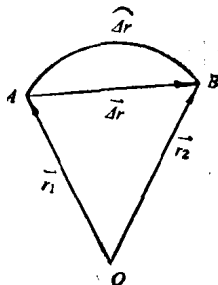
但若物体作曲线运动, 如附图 1 所示从 A 至 B,

$$\text{平均速度} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

$$\text{平均速度大小} = \frac{|\Delta \vec{r}|}{\Delta t}$$

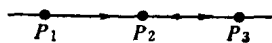
但
$$\text{平均速率} = \frac{\widehat{\Delta r}}{\Delta t}$$

显然 $\widehat{\Delta r} \neq |\Delta \vec{r}|$, 因此平均速率不等于平均速度的大小。



题 5 图 1

还需指出, 物体即使作直线运动, 但运动并不始终朝同一方向时, 平均速率也不等于平均速度的大小。例如物体从 P_1 经 P_2 到 P_3 , 又回到 P_2 点。如附图 2 其



题 5 图 2

平均速度为 $\frac{\overrightarrow{P_1 P_2}}{\Delta t}$, 平均速度的大

小为 $\frac{\overline{P_1 P_2}}{\Delta t}$, 而平均速率应为

$$\frac{\overline{P_1 P_2} + \overline{P_2 P_3} + \overline{P_3 P_2}}{\Delta t} = \frac{\overline{P_1 P_2} + 2\overline{P_1 P_3}}{\Delta t}$$

由此看出, 在往复的直线运动中平均速率也不等于平均速度的大小。

6 质点的运动方程为 $x=x(t)$, $y=y(t)$, 在计算质点的速

度和加速度时,有人先求出 $r = \sqrt{x^2 + y^2}$,然后根据

$$v = \frac{dr}{dt} \text{ 和 } a = \frac{d^2r}{dt^2}$$

求得 v 和 a 的值。也有人先计算出速度和加速度的分量,再合成求得 v 和 a 的值。即

$$v = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} \text{ 和 } a = \sqrt{\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)^2}$$

这两种方法哪一种正确?差别何在?

答:位移、速度、加速度均是矢量,因此求速度和加速度时应根据矢量求导法则:

$$\begin{aligned}\vec{v} &= \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d}{dt}(x\vec{i} + y\vec{j}) = \frac{dx}{dt}\vec{i} + \frac{dy}{dt}\vec{j} \\ \vec{a} &= \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \frac{d^2}{dt^2}(x\vec{i} + y\vec{j}) = \frac{d^2x}{dt^2}\vec{i} + \frac{d^2y}{dt^2}\vec{j}\end{aligned}$$

在上式求导中,因为 $\vec{i}$ 、 $\vec{j}$ 是单位矢量,且是恒向量,

$$\frac{d\vec{i}}{dt} = 0, \quad \frac{d\vec{j}}{dt} = 0$$

$$\text{由此速度的大小 } v = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}$$

$$\text{加速度的大小 } a = \sqrt{\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)^2}$$

因此第二种方法是正确的,第一种方法是不正确的。

7 匀加速运动是否一定是直线运动?匀速圆周运动是不是匀加速运动?

答:匀加速运动不一定是直线运动,这取决于初速度方向与加速度方向是否一致。若两者一致就是直线运动,如竖直下抛运动;若两者不一致就是曲线运动,如斜抛体运动。

匀速圆周运动不是匀加速运动。因为匀加速运动一般理解为加速度为常值的运动，这要求加速度的大小和方向均不变。而匀速圆周运动速率不变，但方向时刻在变，其加速度数值不变，但其方向时刻在变，故不是匀加速运动。

8 “物体作曲线运动时，速度方向一定在运动轨道的切线方向，法向分速度恒为零，因此其法向加速度也一定为零”，此种说法对吗？

答：物体作曲线运动时速度方向一定沿轨道的切线方向，法向分速度恒为零，此话是对的。但法向分速度为零，并不一定法向加速度必为零。如匀速圆周运动，法向分速度恒为零，但法向加速度不为零，其大小为 $\frac{v^2}{R}$ ，方向处处与速度的方向垂直。

9 质点在作匀加速圆周运动（如定轴匀加速转动中不在轴线上的质点的运动）的过程中：

(a) 切向加速度的大小、方向是否改变？

(b) 法向加速度的大小、方向是否改变？

(c) 总加速度的大小、方向是否改变？

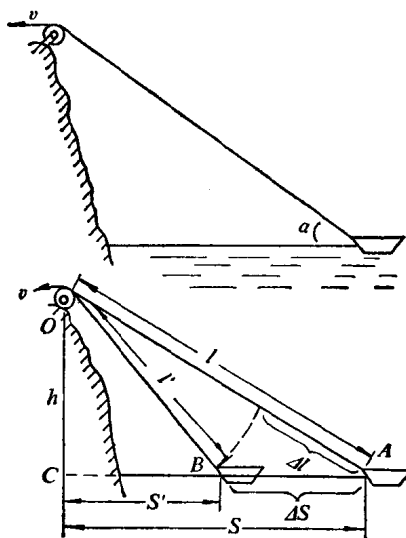
答：(a) 匀加速圆周运动的特征是切向加速度的大小不变， a_t 为常值；但方向时刻在变，恒沿轨道切向。

(b) 匀加速圆周运动过程中，速率越来越大，根据 $a_n = \frac{v^2}{R}$ ， v 不断增大，故法向加速度的值也不断增大，方向时刻在变，恒指向圆心。

(c) 总加速度的方向、大小显然也在变。因为 $a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2}$ ， a_n 、 a_t 方向时刻在变，所以 a 的方向也在变， a_n 不断增大， a 也不断增大。

10 在湖中有一小船，岸边有一人用绳子跨过一定滑轮用

恒定的速率 v 拉船靠岸，试分析船运动的速率，比 v 大还是比 v 小？船是否作匀速运动？



题 10 图

答：设船的速率为 u ，人拉船时绳头的速率为 v 在 t 时刻船位于 A 处，绳长为 l ，船离岸的距离为 S ；

经过 Δt 时间后，船运动至 B 处，此时绳长为 l' ，船离岸的距离 S' ，根据速率的定义

$$\text{绳速 } v = \frac{l - l'}{\Delta t} = \frac{\Delta l}{\Delta t}$$

$$\text{船速 } u = \frac{S - S'}{\Delta t} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

在 $\triangle ABO$ 中可以看出

$$\overline{OB} + \overline{AB} > \overline{OA}$$

即
而

$$l' + \Delta S > l$$

$$l = l' + \Delta l$$

$$\therefore \Delta S > \Delta l$$

两边除以 Δt 后

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} > \frac{\Delta l}{\Delta t}$$

即

$$u > v, \text{ 船速大于绳速。}$$

设定滑轮至水面的距离为 h 。在 $\triangle AOC$ 中

$$l^2 = h^2 + S^2$$

两边求导后

$$2l \frac{dl}{dt} = 2S \frac{dS}{dt}$$

再次求导后

$$\left(\frac{dl}{dt}\right)^2 + l \frac{d^2 l}{dt^2} = \left(\frac{dS}{dt}\right)^2 + S \frac{d^2 S}{dt^2}$$

因为 $\frac{dl}{dt} = v$, $\frac{dS}{dt} = u$, $\frac{d^2l}{dt^2} = 0$ (绳速恒定)

$$\frac{d^2S}{dt^2} = a \text{ (船的加速度)}$$

$$v^2 = u^2 + S^2 a$$

$$a = \frac{v^2 - u^2}{S^2}$$

因为 u 不等于 v , a 不为零, 所以不是匀速运动。

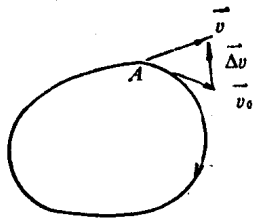
那么为何不可用 $u = v \cos \alpha$ 来求船速呢? 这是因为虽然绳头的速率为 v , 但由于角 α 也在变化, 所以通过定滑轮后绳的速率并不是 v , 从定滑轮到船头的这段绳上各点速率均不相同, 它既有平动又有绕定滑轮的转动, 是这两种运动的合运动, 因此与船相连处绳尾的速率不是 v , 故不能用 $u = v \cos \alpha$ 的式子来求船速。绳自定滑轮至船的各段速率越来越大, 绳尾的速率比 v 大, 所以船的速率就会大于绳头的速率 v 了。

11 物体在某一时刻开始运动, 在 Δt 时间后, 经任一路径回到出发点, 此时速度的大小和开始时相同, 但方向不同, 试问在 Δt 时间内平均速度是否为零? 平均加速度是否为零?

答: 平均速度是 Δt 时间内物体的位移与时间 Δt 比值。而在这一段时间内位移为零, 所以平均速度为零。

平均加速度是 Δt 时间内物体速度的增量 $\Delta \vec{v}$ 与 Δt 之比值, 由于初末速度方向不同, 所以 $\Delta \vec{v}$ 不为零 (见图), 平均加速度也不为零。

若初、末速度的大小和方向都相同, 则 $\Delta \vec{v}$ 为零, 平均加速度也为零。



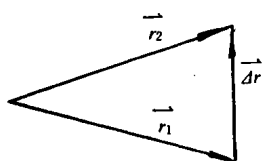
题 11 图

12 物体的合速度的数值是否可以等于分速度的值, 或者甚至小于分速度的值?

答：若物体的合速度由两个分速度合成，只要这两个分速度之间的夹角在 $\frac{2\pi}{3}$ 和 π 之间，则合成速度的值，就可能等于分速度的值，甚至小于分速度的值。

13 在曲线运动中， $|\Delta \vec{r}|$ 与 Δr 是否相同？ $|\Delta \vec{v}|$ 与 Δv 是否相同？

答： $|\Delta \vec{r}|$ 是两位置矢量之差的绝对值，而 Δr 是两位置矢量绝对值之差。当物体作曲线运动时，若初、末位置矢量大小相



题 13 图

等，方向不同时，即 $|\vec{r}_1| = |\vec{r}_2|$ ，但 $\vec{r}_1 \neq \vec{r}_2$ ，则 $|\Delta \vec{r}| \neq 0$ ，而 $\Delta r = 0$ ，两者不相同。只有当物体作曲线运动时，初、末位置矢量大小相等，方向也相同时，则 $|\Delta \vec{r}| = 0$ ， $\Delta r = 0$ 。

同样， $|\Delta \vec{v}|$ 是两速度之差的绝对值， Δv 是两速度绝对值之差。物体作曲线运动时，若两不同时刻的速率相同，而方向不同时， $|\Delta \vec{v}| \neq 0$ ，但 $\Delta v = 0$ ，只有当两不同时刻的速率相同，方向也相同时， $|\Delta \vec{v}| = 0$ ， $\Delta v = 0$ 。

14 在平稳的、作匀速直线运动的火车车厢中，有人铅直地向上抛出一石块，试分析下面现象：

- 石块能否仍然落到出发点？
- 在车上静止的观察者看到石块运动的轨迹是怎样的？
- 在路基上的观察者看到石块运动的轨迹又是怎样的？

答：(a) 由于火车相对于地面作匀速直线运动，故是一个较好的惯性参考系，车厢中的运动规律应与地面上一样，所以石块向上铅直抛出后仍能回到出发点。

(b) 在车上静止的观察者看到石块运动的轨迹是垂直线。

(c) 在路基上的观察者看到石块运动的轨迹是抛物线。

15 下雨时,有人坐在车内观察车外雨点的运动,试说明在下列情形中他所观察到的结果。设雨点相对于地面是匀速直线落下的。

- (a) 车是静止的;
- (b) 车以匀速沿水平轨道运动;
- (c) 车以匀加速沿水平轨道运动;
- (d) 车以匀速率作圆周运动。

答: (a) 车是静止的, 车内观察者看到雨点垂直匀速落下。

(b) 若车以 v 匀速率水平运动, 雨点以 u 匀速率垂直落下, 则车内观察者看到的是两者的合运动。其运动方程是 $x=vt$, $y=ut$, 轨迹为 $\frac{x}{y}=\frac{v}{u}$, 为斜直线。

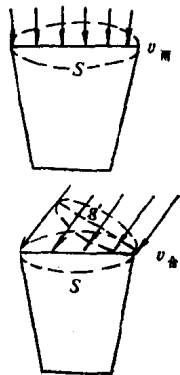
(c) 若车以匀加速 a 沿水平方向运动, 其运动方程为 $x=\frac{1}{2}at^2$, $y=ut$, 轨迹为

$$x=\frac{1}{2}a\frac{y^2}{v^2}$$

是一抛物线。

(d) 若车以匀速率 v 作圆周运动时, 其运动方程是 $y=ut$, $x^2+y^2=R$, 轨迹为螺旋线。

16 用桶装雨, 假定雨相对地面的速率为 $v_{雨}$, 垂直落下, 试问刮风和不刮风时哪一种情形能较快些盛满雨水?(设风的方向与地面平行)



题 16 图

答: 只要雨的速率恒定, 方向不变, 不论刮风与否, 盛满雨水的时间相同。因为虽然刮风时雨相对地的速度增大了, 变为

$$v_{\text{合}} = \frac{v_{\text{雨}}}{\cos \theta}$$

但此时桶相对雨的垂直面积变小了,

$$S' = S \cos \theta$$

进入桶的雨量少。两者的影响相互抵消,所以两种情况下,盛满雨水的时间一样。

17 以初速 $2v_0$ 竖直上抛一物后,又以 v_0 初速竖直上抛另一物,若要在高度为 h 处相碰,试分析这两个上抛物体相碰的可能性。

答:要能使两物在 h 处相碰,则必须要求 v_0 不能小于 $\sqrt{2gh}$ 。

当 v_0 等于 $\sqrt{2gh}$ 时,则在第二物抛到最高点时才能相碰。

当 v_0 大于 $\sqrt{2gh}$ 时,在高度 h 处相碰的机会会有两个。一个是以 $2v_0$ 初速抛出后经最高点向下运动与以 v_0 初速向上运动时在 h 处相遇;另一个是以 $2v_0$ 初速抛出后经最高点向下运动与以 v_0 初速抛出后经最高点向下运动时在 h 处相碰。前者从后面追上后者,与后者相碰。

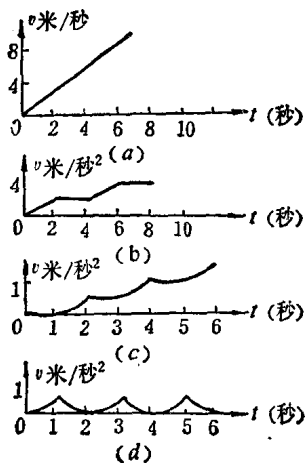
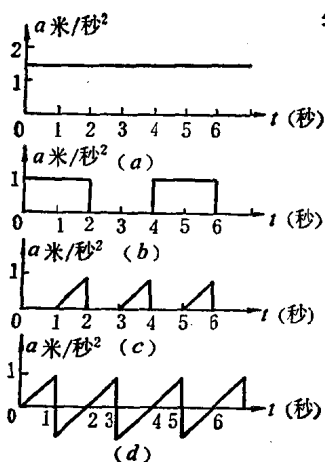
18 一只兔子向着一颗大白菜走去,它每秒钟所走的距离是从它的鼻尖到大白菜的剩余距离之半,问兔子可否到达大白菜?它的平均速度的极限值为多少?

答:兔子每秒钟走的距离是以等比级数衰减, $\frac{l}{2}, \frac{l}{4}, \frac{l}{8}, \dots$,

只有当 t 趋于无限大时其总和才等于 l ,也就是说只有时间为无限大才能走到大白菜处,所以兔子不能走到大白菜处。

它的平均速度的极限值为零。

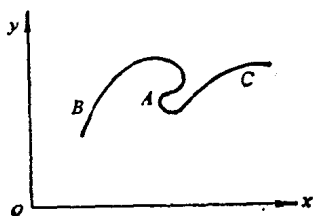
19 如下图所给出一物体的加速度与时间的关系图,试画出速率与时间的关系图。



题 19 图

20 一质点以匀速率在 $x-y$ 平面中运动, 其轨迹如图所示, 试问该质点在哪个位置的加速度最大?

答: 在 A 点附近曲率最大, 根据 $a_n = \frac{v^2}{\rho}$, v 一定, 曲率最大, 曲率半径最小, 所以 A 点附近加速度最大。

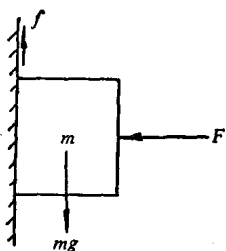


题 20 图

§2 动 力 学

21 用一外力 F 水平压在质量为 m 的物体上(如图), 由于物与墙之间有静摩擦力, 此时保持静止, 其静摩擦力为 f ; 若外力增加一倍为 $2F$, 则此时静摩擦力是否也增加一倍为 $2f$?

答: 此时静摩擦力仍为 f , 而不是 $2f$ 。当用外力 F 作用在



题 21 图

物上时,若保持静止,则墙对物的静摩擦力 f ,就是物的重量 mg ;若外力增至 $2F$,物仍保持静止,则在垂直方向上合力仍为零,所以静摩擦力 f 仍然等于物的重量 mg 。

那么这是否与 $f = \mu N$ 相矛盾呢?并不矛盾,该公式是物体受到最大静摩擦力的表式,而在本题条件下静摩擦力并未达到最大值,故不能应用该公式。

22 一个以恒定速率运动的物体,若受到的作用力始终与其运动方向垂直,试讨论当力的大小始终不变,力的大小不断增加以及力的大小不断减小时物体运动的轨迹。

答:当力的方向始终与运动方向垂直,且力的大小不变,则作匀速圆周运动。

当力的方向与运动方向垂直,而力的大小不断增加时,因运动速率 v 不变,由公式 $F = ma_n = m \frac{v^2}{R}$ 看出,轨迹的曲率半径 R 必须越来越小,轨迹是逐渐收缩的螺线。

反之当力的大小不断减小,则轨迹的曲率半径必须越来越大,轨迹是逐渐扩大的螺线。

23 把一块砖轻轻放在原来静止着的斜面体上,并使其放牢,如图所示。如果斜面与地面之间无摩擦,那么斜面体由于受到砖块的作用力是否会沿水平方向运动呢?

答:斜面体是否会沿水平方向运动,需对斜面体受力情形作一分析后才能断定。由图上看岀斜面体共受四个力作用:

重力 Mg ——方向垂直向下,

地面的弹力 N_1 ——方向垂直向上,

• 17 •

砖块的正压力 N_2 ——方向垂直斜面向下，
 砖块对斜面体的静摩擦力 f ——方向沿斜面向下。

砖块的受力情形是：

重力 mg ——方向垂直向下，

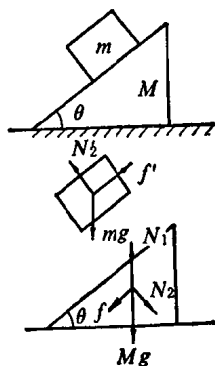
斜面体的弹力 N'_2 ——方向垂直斜面向上，

斜面体对砖块的静摩擦力 f' ——方向沿斜面向上。

其中 N_2 、 N'_2 和 f 、 f' 是两对作用与反作用力。由于砖块在斜面上保持平衡，砖块受的合力为零，由此得到

$$f' = mg \sin \theta$$

$$N'_2 = mg \cos \theta$$



题 23 图

对于斜面体来说，在水平方向的作用力为

$$f \cos \theta - N_2 \sin \theta = mg \sin \theta \cos \theta - mg \cos \theta \sin \theta = 0$$

所以斜面体在水平方向无运动。

24 有人认为牛顿第一定律是牛顿第二定律的特例，即合力为零的情形，那么为何还要单独的牛顿第一定律呢？

答：不能认为牛顿第一定律是牛顿第二定律的特例。牛顿第一定律有它自身的物理意义和地位。在第一定律中引入了物体惯性的概念，物体企图保持原来运动状态的性质，称为惯性。又引入了力的概念——改变运动状态的物体之间的一种相互作用。

而牛顿第二定律并不能说明物体的惯性，也未说明物体不受力的情况。

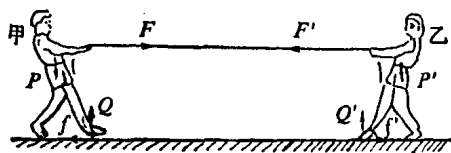
25 汽车急转弯时人往往要向外倾倒，有人说这是离心力作用的缘故，这种说法对吗？

答：汽车急转弯时，人站立在车厢中，由于脚与车厢地板之间有静摩擦力，脚与下肢随车厢一起转动，而人的上身由于惯性的缘故仍然保持向前运动的状态，脚与下肢要转动，而上身却仍然向前，所以人要倾倒。

但这并不是离心力作用的缘故。离心力和向心力是一对作用力和反作用力。人能随着汽车车厢转弯(即作圆周运动)需要向心力，该力由地板对人脚的静摩擦力提供，(倘若不够，则人要拉住车把来提供足够的向心力)；与此同时，脚对地板也有一个静摩擦力——作用在地板上，这个力就是离心力，它不是作用在人身上，不可能对人的运动状态变化产生影响。

26 有人说拔河比赛并不是比谁的力气大，某种意义上来说是比哪一队的体重大，此话是否有道理？

答：先分析一下拔河过程甲、乙两人受力情况再下结论。



题 26 图

从图中看出甲、乙双方均受四个作用力。

甲的受力情形：重力 P 、地面对甲的静摩擦力 f 、地面对甲的弹力 Q 、乙对甲的拉力 F ；

乙的受力情形：重力 P' 、地面对乙的静摩擦力 f' 、地面对乙的弹力 Q' 、甲对乙的拉力 F' 。

其中 F' 和 F 是一对作用力与反作用力，不论双方是否在动，只要绳子拉紧，它们总是大小相等方向相反的。若把甲、乙两人和绳子看作一个系统的话，这一对拉力是内力，合力为零，它不可能把甲拉过去，或把乙拉过来，因此甲乙双方的拉力不是决定胜负的因素。

而重力 P 和弹力 Q 、 P' 和 Q' ，是垂直方向上的力，对水平方