大学物理学

学习中常见问题剖析

[illegible] 编著

重庆大学出版社

大学物理学

学习中常见问题剖析

秦德培　　编著

重庆大学出版社

大学物理学

学习中常见问题剖析

秦德培　　编著

责任编辑　黄开植

*

重庆大学出版社出版发行

新　华　书　店　经　销

重庆大学出版社印刷厂印刷

*

开本：787×1092　1/32印张：7.25字数：163千

1991年7月第1版　1991年7月第1次印刷

印数：1—9000

标准书号：ISBN 7-5624-0376-7 / O·55　定价：3.10元

内容提要

本书根据《大学物理课程教学基本要求》编写。全书精选并剖析了有代表性的常见问题 283 个，重点讨论物理学的基本概念、基本原(定)理、定律和基本方法等方面的一些问题，可以帮助学生掌握物理学的基础知识，培养学生的思维能力和提高他们的学习兴趣，也为教师充实教学内容提供参考。

本书可作为大学和各类成人高校工科学生配合课堂教学的良好课外读物或自学物理的辅导教材，亦可作为大学非工科各专业学生的辅助学习资料。

编者的话

“堂上听得懂，堂下做题难”，是学习物理课程普遍反映的一个问题，疑难问题不断且五花八门，则是学习过程中的一种常见现象。物理学概念性强，原(定)理、定律多，解题方法又灵活多变，单靠正面地在课堂上学习，要学好确实是十分困难的。学习物理学，关键在于掌握基本的物理概念，弄清基本原(定)理、定律的内容及适用条件，了解物理学的基本研究方法。学习物理学的办法很多。通过思考、解决存疑的问题，是一种“从战争中学习战争”，在短兵相接的实战中学习物理学的好方法，深入思考、解决那些极富启发性、技巧性和综合性的问题，特别是感到似懂非懂的问题，不仅可以发现学习中的症结所在，灵活运用物理概念和原(定)理、定律，了解其精髓，有时还能收到事半功倍、触类旁通、举一反三的效果。《大学物理学学习中常见问题剖析》的任务，就是要为学习大学物理的学生提供这样的问题并对它们进行简明的剖析。这些问题的数量虽少(共 283 个)，却都有一定的代表性，具有足够的广度和深度，而且符合课程的教学基本要求。由于选题多数是在长期教学实践中根据学生的提问归纳整理而成的(另有一些选自国内、外流行教材)，内容符合当前学生的实际需要，再加上编排的顺序也力求与一般的教学安排同步，作者相信，这本书的问世，将有助于学生学好大学物理课程，成为他们配合课堂教学的良好读物，同时，也能为教师安排教学提供一些有益的参考资料。

这本书的成书过程，得到了重庆大学许多物理教师的关心和支持。胡述楠、何希范同志先后审阅了全部书稿，并提出了许多宝贵的、并已被采纳的修改意见。对此，作者表示诚挚的谢意。

由于许多题目都有一定的灵活性，解答的途径也可能有多种，全面地回答是很困难的，也很容易引起不同意见的争论，加之受到作者业务水平和教学经验的限制，选题和解答都难免有不当和错误之处，恳请读者不吝赐教。

编者　　1990.10

目　　录

第一篇　力　学

§1　运动学

1.1　一质点在 x 轴上按 $x=3t^2-t^3$ 的规律运动，在下列各时刻，速度和加速度分别为

t	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0
v	0.0	2.3	3.0	2.3	0.0	−9.0
a	6.0	3.0	0.0	−3.0	−6.0	−12

试就运动方向，加速或减速说明各时刻的运动情况。

答　变速运动的质点都有加速度，这里所说的加速和减速，是指速率增大和减小。对于直线运动或质点的一个分运动，v、a 的正负只表明速度和加速度的方向，正值沿 x 轴正向，负值沿 x 轴负向；加速或减速，则由 v、a 正负号的组合方式决定：同号加速，异号减速。据此，$t=0$ 时质点由静止向 x 轴正向加速，$t=0.5$ 时沿正向作加速运动，$t=1.0$ 时沿正向作匀速运动，$t=1.5$ 时沿正向作减速运动，$t=2.0$ 时由静止向 x 轴负向加速，$t=3.0$ 时沿负向作加速运动。运动规律是：开始时从静止沿 x 轴正向运动，速率先增后减，减至零后掉头向反方向运动，运动越来越快。

1.2　在平面运动中，设质点的运动方程为 $x=x(t)$，$y=y(t)$。为了求出速度和加速度的大小，有人用以下两种方法：(1)　先求出 $r=\sqrt{x^2+y^2}$，再由 $v=\mathrm{d}r/\mathrm{d}t$ 和 $a=\mathrm{d}v/\mathrm{d}t$ 求

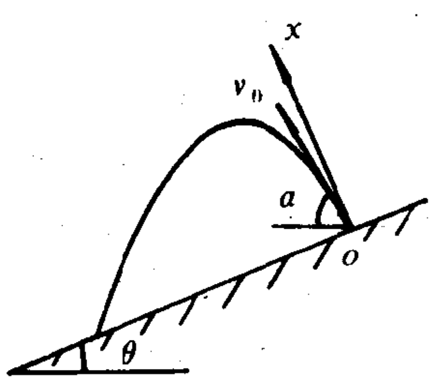
得；(2) 先分别求出速度和加速度的分量$v_x=\mathrm{d}x/\mathrm{d}t, v_y=\mathrm{d}y/\mathrm{d}t$和$a_x=\mathrm{d}v_x/\mathrm{d}t$，$a_y=\mathrm{d}v_y/\mathrm{d}t$，再由$v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}$和$a=\sqrt{a_x^2+a_y^2}$求得。哪一种方法正确？

答 速度和加速度都是矢量，分别定义为$\mathbf{v}=\mathrm{d}\mathbf{r}/\mathrm{d}t$和$\mathbf{a}=\mathrm{d}\mathbf{v}/\mathrm{d}t$，其大小应是$v=|\mathrm{d}\mathbf{r}|/\mathrm{d}t$和$a=|\mathrm{d}\mathbf{v}|/\mathrm{d}t$。在一般情况下，$|\mathrm{d}\mathbf{r}|\neq \mathrm{d}r$，即位移的大小不等于矢径长短的增量；$|\mathrm{d}\mathbf{v}|\neq \mathrm{d}v$，即速度增量的大小不等于速度大小的增量，所以，(1)中的方法是错误的。最明显的例子是匀速率圆周运动。以圆心为原点时r不变，$\mathrm{d}r/\mathrm{d}t=0$却$v\neq 0$，由$v$不变$\mathrm{d}v/\mathrm{d}t=0$却$a=a_n\neq 0$。事实上，$\mathrm{d}r/\mathrm{d}t$只是质点在极坐标系中的径向分速，而$\mathrm{d}v/\mathrm{d}t$则为自然坐标系中质点的切向加速度。

作为矢量，速度和加速度的大小可以分别表示为$v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}$和$a=\sqrt{a_x^2+a_y^2}$，因而第二种方法是正确的。

1.3 在倾角为θ的斜坡上，沿与水平方向成仰角α的方向以初速v_0从上方斜抛出一物体，如图题1.3所示。为了求出物体在空中的飞行时间，你有什么最简便的方法？

答 物体起始与终了位置均在斜面上，落地时与斜面的距离为零。根据运动叠加原理，物体所作的每一个分运动都是独立的，因此，我们可以沿与斜面垂直的方向建立x坐标，只考虑物体沿该方向的分运动，由$x=0$求解。由于撇开了与问题无关的其它分运动，这种求解方法比较简单。



图题 1.3

如图题1.3所示，物体沿x方向作$a=-g\cos\theta$的匀加速直线运动，开始时$x_0=0$，$v_{0x}=v_0\sin(\alpha+\theta)$，故运动方程为

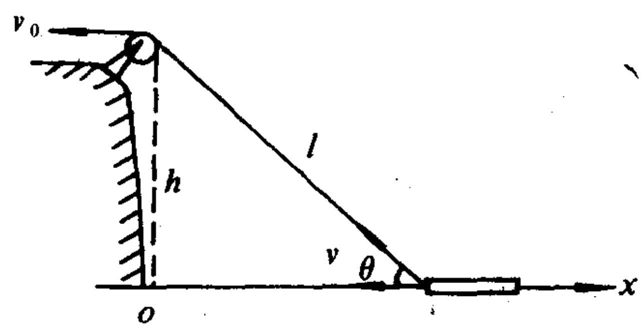
$$x = v_0 t\sin(\alpha + \theta) - \frac{1}{2}gt^2\cos\theta$$

令 $x=0$,即得飞行时间

$$t = \frac{2v_0\sin(\alpha + \theta)}{g\cos\theta}$$

另一 $t=0$ 的解为开始时刻,不合题意,应去掉。

1.4　在高出水面 h 的湖岸上,通过定滑轮用绳拉船靠岸,如图题 1.4 所示。设绳以匀速率 v_0 收缩,为了求出船靠岸的速度 v,有人按运动叠加原理用两种方法对速度进行分解:(1)$v=v_0\cos\theta=v_0 x/\sqrt{h^2+x^2}$;(2)$v_0=v\cos\theta$,$v=v_0/\cos\theta=v_0\sqrt{h^2+x^2}/x$。对此,你有什么看法?



图题 1.4

答　运动叠加原理是说,任何一个实际的质点运动,都可看作是同时参加的几个独立分运动的合成。题中 $\boldsymbol{v}$ 是绳与船头连接点的速度,也即实际的船速,v_0 是滑轮与船头间绳长变化的速度,也即绳与船头连接点沿绳方向的径向分速 $|\mathrm{d}l/\mathrm{d}t|$ 或船的径向分速。因此,(1)中将 $\boldsymbol{v}$ 看作是 $\boldsymbol{v}_0$ 的分速不对,(2)中将 $\boldsymbol{v}_0$ 看作是 $\boldsymbol{v}$ 的分速才是正确的。

1.5　任何质点的位置变化,都可用三个独立的坐标函数 $x=x(t)$, $y=y(t)$ 和 $z=z(t)$ 来表示,根据运动叠加原理,也可以将质点的运动分解成 x、y、z 三个坐标方向的独立分运动。是否可以说,运动叠加原理只是一种描述质点运动的矢量分解方法,它根本就不是一个物理原理?

答 运动叠加原理包括运动的独立性和运动的叠加性两个方面的内容。前者指质点同时参加的任何一种运动都是独立的，不受别的运动存在的影响，后者指质点的实际运动可以看成是几个同时发生的独立运动的叠加。独立性和叠加性，是同一质点运动的两个不同方面。运动的独立性来自实践，是运动叠加原理的核心；运动的叠加性，则表达各独立分运动的一种数学上的矢量合成。没有运动的独立性，就没有运动的叠加和与力相联系的运动的分解。因此，从本质上来说，运动叠加原理是一个物理原理。

1.6 公式 $v=v_0+at$，$x=x_0+v_0t+\frac{1}{2}at^2$ 适用于哪些类型的运动？斜抛物体在上升阶段运动越来越慢，在下降阶段运动越来越快，是否一定要分阶段进行讨论？

答 任何物理公式都有一定的适用范围。一般来说，题中的两个公式只适用于匀加速直线运动，也适用于加速度 a 为恒量的曲线运动中沿一个坐标方向的分运动。在特定的条件下，还能用于曲线运动。例如，当 x 代表曲线坐标，a 代表切向加速度时，就能用于匀加速曲线运动；当 x 代表角坐标，a 代表角加速度时，就能用于匀角加速圆周运动和匀角加速转动。斜抛物体的运动是加速度 $\boldsymbol{a}=\boldsymbol{g}$ 的匀加速运动，各分运动都是匀加速直线运动，上升运动和下降运动，只不过是同一匀加速运动的两个不同阶段，可以用同一个运动学公式来描述。统一的矢量方程为

$$\boldsymbol{v}=\boldsymbol{v}_0+\boldsymbol{g}t,\quad \boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}_0+\boldsymbol{v}_0t+\frac{1}{2}\boldsymbol{g}t^2$$

统一的分量方程（直角坐标系）为

$$v_x=v_{0x},\quad x=x_0+v_{0x}t$$

$$v_y = v_{0y} - gt, \quad y = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$$

1.7 对于以下几种类型的运动学问题，怎样求质点的速度和运动方程？

(1) 已知直线运动的初始条件 x_0、v_0 和加速度 $a(t)$；(2) 已知曲线运动的初始条件 $\boldsymbol{r}_0$、$\boldsymbol{v}_0$ 和加速度 $\boldsymbol{a}(t)$；*(3) 已知直线运动的初始条件 x_0、v_0 和加速度 $a(v)$ 或 $a(x)$。

答 (1) $v = v_0 + \int_0^t a(t)\mathrm{d}t,\ x = x_0 + \int_0^t v\mathrm{d}t$

(2) 矢量表示式为 $\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_0 + \int_0^t \boldsymbol{a}(t)\mathrm{d}t,\ \boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_0 + \int_0^t \boldsymbol{v}\mathrm{d}t$。在具体计算时，常用分量解析法：

$$v_x = v_{0x} + \int_0^t a_x(t)\mathrm{d}t, \quad x = x_0 + \int_0^t v_x\mathrm{d}t$$

$$v_y = v_{0y} + \int_0^t a_y(t)\mathrm{d}t, \quad y = y_0 + \int_0^t v_y\mathrm{d}t$$

$$v_z = v_{0z} + \int_0^t a_z(t)\mathrm{d}t, \quad z = z_0 + \int_0^t v_z\mathrm{d}t$$

质点的实际运动，就是以上三个坐标方向分运动的合成。

*(3) 对于 $a = a(v)$ 的形式，据 $a(v) = \mathrm{d}v/\mathrm{d}t$，可由 $\int_{v_0}^{v} \frac{\mathrm{d}v}{a(v)} = \int_0^t \mathrm{d}t$ 先求出 $v(t)$，再由 $x = x_0 + \int_0^t v\mathrm{d}t$ 求运动方程；对于 $a = a(x)$ 的形式，则可通过变量变换 $a(x) = \mathrm{d}v/\mathrm{d}t = v\mathrm{d}v/\mathrm{d}x$，由 $\int_{v_0}^{v} v\mathrm{d}v = \int_{x_0}^{x} a(x)\mathrm{d}x$ 先求出 $v = v(x)$，再根据 $v = \mathrm{d}x/\mathrm{d}t$，由 $\int_{x_0}^{x} \frac{\mathrm{d}x}{v(x)} = \int_0^t \mathrm{d}t$ 求出运动方程 $x = x(t)$。至于速度 $v(t)$ 的函数式，可以将 $x = x(t)$ 代入 $v = v(x)$ 求得，也可由 $x = x(t)$ 对时间求导得出。

1.8　试分析以下一些说法是否正确：

(1)　加速度越大，则物体的速度也越大；

(2)　作直线运动的物体加速度减小，则物体的速度也随之减小；

(3)　加速度不为零的运动，速度大小必然变化；

(4)　匀加速运动一定是直线运动；

(5)　在圆运动中，加速度的方向一定指向圆心，在一般的曲线运动中，加速度的方向不会指向曲率中心。

答　加速度 $\mathbf{a}=\mathrm{d}\mathbf{v}/\mathrm{d}t$ 是一个描述物体运动变化快慢的物理量，是一个矢量，可以分解为切向加速度 $a_t=\mathrm{d}v/\mathrm{d}t$ 和法向加速度 $a_n=v^2/\rho$ 两个分量。a_t 反映运动快慢的变化，a_n 反映运动方向的变化。$a_t\neq0$ 的运动是变速率运动，$a_n\neq0$ 的运动是曲线运动。

(1)　$\mathbf{a}$ 只反映 $\mathbf{v}$ 的变化，与 $\mathbf{v}$ 没有必然的联系，因此，加速度越大，速度不一定也越大。

(2)　在直线运动中，$a_n=0$，a 的大小只反映速率变化的快慢，变快还是变慢，则要由 a、v 是同号还是异号来决定。a 减小，v 不一定也减小，例如向前加速的运动，a 减小时 v 仍增大，只不过增大得慢些。

(3)　$a\neq0$ 时 a_t 可以为零，速度大小 v 可以不变，匀速率曲线运动就属于这种情形。

(4)　$\mathbf{a}$ 为恒矢量的运动称为匀加速运动。a_n 反映运动方向的变化，凡 $\mathbf{a}$、$\mathbf{v}$ 不平行，$a_n\neq0$ 的匀加速运动，就都不是直线运动。例如斜抛物体的如动。

(5)　在圆运动中，只有$a_t=0$的匀速率圆运动，才有$\mathbf{a}=\mathbf{a}_n$，恒指向圆心。在一般的曲线运动中，则只有 $a_t\neq0$ 的变速率曲线运动，$\mathbf{a}=\mathbf{a}_n+\mathbf{a}_t$ 才不指向曲率中心。

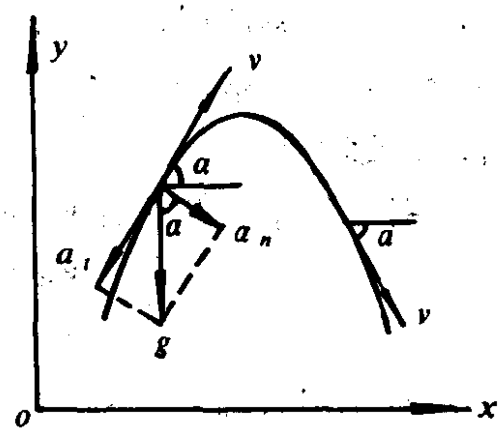
1.9 怎样求斜抛运动物体的切向加速度 a_t 和法向加速度 a_n？

答 斜抛运动是一种铅直平面内的匀加速曲线运动。在图示的坐标系中，速度分量为

$$v_x = v_0\cos\theta,$$

$$v_y = v_0\sin\theta - gt$$

$\mathbf{a}_n$ 恒指向抛物线凹面一侧，$\mathbf{a}_t$ 总沿抛物线的切线斜向下方。



图题 1.9

有以下两种常见的求 a_t 和 a_n 的方法：

(1) 先由 $\alpha=\mathrm{tg}^{-1}\dfrac{|v_y|}{v_x}$ 求出运动方向与 x 轴的夹角，也即法向加速度 $\mathbf{a}_n$ 与重力加速度 $\mathbf{g}$ 的夹角，再由 $a_n = g\cos\alpha$，$a_t = g\sin\alpha$ 求出 $\mathbf{a}_n$ 和 $\mathbf{a}_t$ 的大小。

(2) 先由 $v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}$ 求出 $a_t=\left|\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\right|$，再由 $a_n=\sqrt{g^2-a_t^2}$ 和 $\alpha=\cos^{-1}\dfrac{a_n}{g}$ 求出 $\mathbf{a}_n$ 的大小和它与 $\mathbf{g}$ 的夹角。

此外，还可根据轨道方程先用微分几何中的公式求轨道的曲率半径 ρ，再由 $a_n=\dfrac{v^2}{\rho}$ 和 $a_t=\sqrt{g^2-a_n^2}$ 求出 $\mathbf{a}_n$ 和 $\mathbf{a}_t$ 的大小。不过，这种方法的数学运算往往很复杂。

1.10 假定无风时雨点匀速竖直下落。(1) 桶平放，在相同时间内无风与刮水平风，哪一种情形进入桶中的雨水较多？(2) 风速不变，沿什么方向放置桶接雨最快？

答 桶面的面积一定，在相同时间内进入桶中的雨水的多少决定于雨点沿垂直桶面方向分速的大小。(1) 无风与刮水平风时，雨点垂直桶面的分速不变，故两者接雨快慢一样。

(2) 刮风时，雨点相对地面的速度 $\boldsymbol{v}=\boldsymbol{v}_{雨}+\boldsymbol{v}_{风}$，当桶面垂直 $\boldsymbol{v}$ 时，雨点垂直桶面的分速最大(等于 v)，接雨最快。

1.11　偏离枪口 o 点斜上方矢径 $\boldsymbol{oA}$ 处有一静止物体，在开枪时自由下落。假定空气阻力不计，问为了击中物体应向哪个方向瞄准?

答　设子弹初速为 $\boldsymbol{v}_0$，因匀加速运动中

$$\boldsymbol{v}_{弹}=\boldsymbol{v}_0+\boldsymbol{g}t$$

$$\boldsymbol{v}_{物}=\boldsymbol{g}t$$

由相对运动公式 $\boldsymbol{v}_{AB}=\boldsymbol{v}_A-\boldsymbol{v}_B$ 可得

$$\boldsymbol{v}_{弹物}=\boldsymbol{v}_{弹}-\boldsymbol{v}_{物}=\boldsymbol{v}_0$$

这表明，子弹初速 $\boldsymbol{v}_0$ 就是它相对物体的运动速度，故瞄准物体射击就能击中。

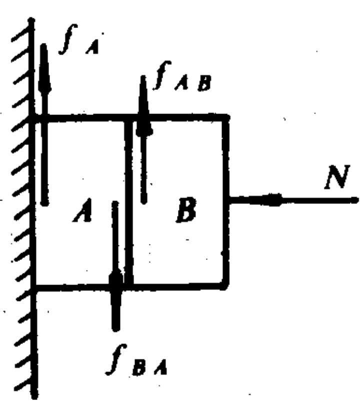
此外，由匀加速运动的运动方程

$$\boldsymbol{r}_{弹}=\boldsymbol{v}_0t+\frac{1}{2}\boldsymbol{g}t^2$$

$$\boldsymbol{r}_{物}=\boldsymbol{oA}+\frac{1}{2}\boldsymbol{g}t^2$$

和击中条件 $\boldsymbol{r}_{弹}=\boldsymbol{r}_{物}$ 也能得到 $\boldsymbol{v}_0t=\boldsymbol{oA}$，应对准物体瞄准。

§2　动　力　学



图题 1.12

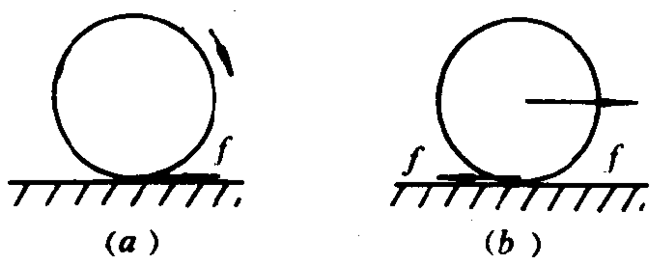
1.12　如图题 1.12 所示，用垂直于墙面的正压力 $\boldsymbol{N}$ 将两木块紧压在墙壁上，使之保持平衡。试分析各接触面间摩擦力的方向。

答　A、B 都在重力作用下有向下运动的趋势，但 A 同时受到一个来自墙壁

的摩擦力 f_A 的作用，其向下运动的趋势较 B 为小，使 A 相对 B 有向上运动的趋势。因此，B 施予 A 的摩擦力 f_{BA} 方向向下，如图示。与此同时，A 施予 B 的反作用摩擦力 f_{AB} 方向向上，它同样阻止 B 相对 A 的向下运动趋势。

1.13 汽车的后轮由发动机驱动转动，称为主动轮。试分析汽车行驶时主动轮所受地面摩擦力的方向。汽车的前轮一般不与发动机相连，称为从动轮。试分析从动轮转动的原因，它所受地面摩擦力的方向如何？

答 摩擦力发生在两物体的接触处，总是力图阻碍物体间的相对运动。主动轮在发动机驱动下转动时，与地接触的轮沿有相对地面向后运动的趋势，将受到一个向前的摩擦力 f

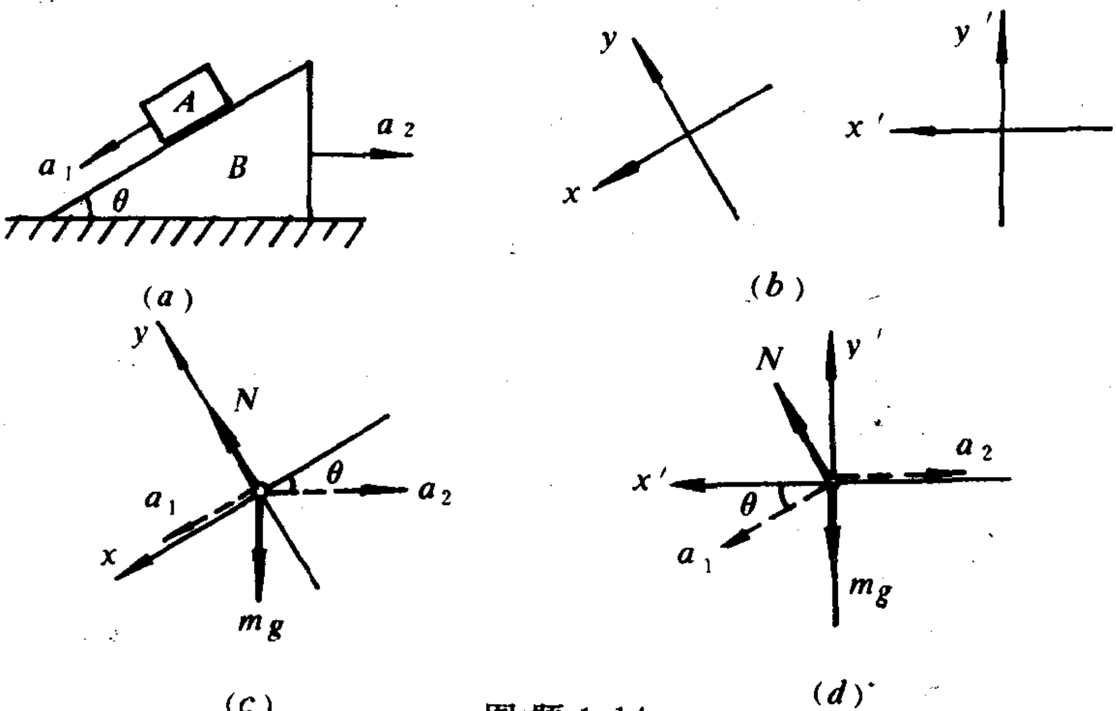


图题 1.13

（图题 1.13(a)）。由于发动机与主动轮之间的内力不能使汽车前进，这一由地面提供的摩擦力，就是汽车前进的动力。汽车运动后，作为汽车整体一部分的从动轮也将向前运动。这时，轮沿与地接触处有相对地面向前运动的趋势，因而摩擦力 f 向后，成为汽车前进的一种阻力（图题 1.13(b)）。不过，应该说明，由于摩擦力的作用，轮子转动时轮沿与地接触点并没有相对地面运动，而是相对静止的，因此，轮沿与地面间的摩擦力实为静摩擦力。

1.14 设物体 A 相对光滑的 B 以加速度 $\mathbf{a}_1$ 运动，而 B 同时以加速度 $\mathbf{a}_2$ 沿地面运动，如图题 1.14(a)所示，试以 A 为研究对象，分别就图题 1.14(b)中的两种坐标系，写出牛顿第二定律的各分量方程。

答　A 受正压力 $\boldsymbol{N}$ 和重力 $m\boldsymbol{g}$ 的作用，在地面惯性参照



图题 1.14

系中，牛顿第二定律的矢量方程为：

$$\boldsymbol{N} + m\boldsymbol{g} = m\boldsymbol{a} = m(\boldsymbol{a}_1 + \boldsymbol{a}_2)$$

由图(c)和图(d)，可分别得到分量方程：

x 方向　　$mg\sin\theta = m(a_1 - a_2\cos\theta)$

y 方向　　$N - mg\cos\theta = -ma_2\sin\theta$

x' 方向　　$N\sin\theta = m(a_1\cos\theta - a_2)$

y' 方向　　$N\cos\theta - mg = -ma_1\sin\theta$

1.15　在图题 1.15 所示的两个分图中，(a)中物体 A 与地面存在摩擦，(b)中地面光滑，B、C 间存在摩擦。问当 F 力从零逐渐增大时，

(1)　A 与地面间的正压力 N 如何变化？摩擦力 f 是否按 $f = \mu N$ 的规律随 F 变化？

(2)　B、C 之间的摩擦力如何变化？

(3)　F 力增至多大时，B 开始在 C 上滑动？