普 通 物 理

课堂讨论参考教材

常州工业技术学院

物 理 教 研 室

一 九 八 四 年

第一课　质点运动学

一、基本要求：

1、理介和掌握描述质点运动的四个物理量及其相互关系；

2、理解和初步掌握采用自然坐标法描述曲线运动。

3、理解运动的相对性、掌握运动合成定理。

二、思考讨论

1、有人说月球作椭圆运动，也有人说月球运动轨迹是蝴旋线，更有人说月球事实上並没动，你认为谁说得有道理。

[答]、都有道理，关键在于观察者在何处，即参照系选在那里，参照系分别选地球、太阳，月球的运动是椭圆、蝴旋线，而以月球本身为参照系时，即月球上的观察者看来，月球並没有动。

[教学说明]、通过本题的讨论，可使学生进一步理解运动的相对性，同一物质运动，采用不同的参照系（座标系）描述，结果不同，从而更深切地体会，对物体运动的描述，依赖于座标系（参照系）的选择。

2、举例说明一物体能否处于下述运动情况？

(1)、具有恒定的速率，但仍有变化的速度。

(2)、具有加速度而其速度为零；

(3)、具有恒定的加速度，但运动方向不断改变。

(4)、加速度的值很大，但速率不变。

[答]、(1)速度是矢量，即有大小又有方向，两者之一变化，速度即变化，当速度的大小不变而方向变化时，就是具有

恒定的速率而又有变化的速度，匀速圆周运动就是这种情形。

(2). 由定义，加速度是速度的变化率。在某一时刻，物体的速度为零、但速度也在变化、即经Δt时间后速度为v，则该时刻的加速度就不为零。所以此情况是可能的。如单摆在偏离平衡位置最大位时，速度为零，但加速度不为零。

(3). 加速度恒定，只说明速度的变化率是常量，速度可以变化、这就包括了速度方向即运动方向可以变化。抛体运动就是一例。

(4). 可能，当加速度的方向与速度方向垂直时，即只有法向加速度而切向加速度为零时，速度只改变方向而不改变大小，匀速圆周运动就是如此。

[教学说明]、通过本题的讨论，可使学生加深理解速度，加速度的矢量性和瞬时性，更进一步明确速度与加速度的密切相关而又是截然不同的两个概念。

3、质点作匀加速圆周运动的过程中，

(1). 切向加速度的大小、方向是否改变？

(2). 法 " " ？

(3). 总加速度的大小、方向是否改变。

[答]. (1). 匀加速圆周运动的特征是切向加速度的大小不变，但方向时刻在变，总沿轨道切向。

(2). 匀加速圆周运动过程中、速率越来越大，由$a_n=\frac{v^2}{R}$，v不断增大，则a_n的值也不断增大，方向恒指向圆心，也时刻在变。

(3). 由$a=\sqrt{a_t^2+a_n^2}$，a_t不变，a_n变，则a亦变，切向及法向加速度的方向变，总加速度的方向也变。

[教学说明]、此题讨论之目的，在于是匀加速切向加速度、法向加速度的概念。

4、质点运动方程为：$x=x(t)$，$y=y(t)$，在计算质点的速度和加速度时，分别用以下两种方法，哪一种正确？为什么？

方法Ⅰ：先求 $r=\sqrt{x^2+y^2}$，则 $v=\frac{dr}{dt}$、$a=\frac{d^2r}{dt^2}$

求得 v 和 a。

方法Ⅱ：先求 $\frac{dx}{dt}$、$\frac{dy}{dt}$，然后 $v=\sqrt{(\frac{dx}{dt})^2+(\frac{dy}{dt})^2}$

再求：$\frac{d^2x}{dt^2}$、$\frac{d^2y}{dt^2}$，然后 $a=\sqrt{(\frac{d^2x}{dt^2})^2+(\frac{d^2y}{dt^2})^2}$

[答]：位移、速度、加速度均是矢量，因此，求速度、加速度时，应根据矢量求导法则。

$$\vec{r}=x\vec{i}+y\vec{j}$$

$$\vec{v}=\frac{d\vec{r}}{dt}=\frac{d}{dt}(x\vec{i}+y\vec{j})=\frac{dx}{dt}\vec{i}+\frac{dy}{dt}\vec{j}$$

$$\vec{a}=\frac{d^2\vec{r}}{dt^2}=\frac{d^2}{dt^2}(x\vec{i}+y\vec{j})=\frac{d^2x}{dt^2}\vec{i}+\frac{d^2y}{dt^2}\vec{j}$$

这里，$\vec{i}$、$\vec{j}$ 是单位矢，是恒矢量，故 $\frac{d\vec{i}}{dt}=0$，$\frac{d\vec{j}}{dt}=0$

由此，速度值 $v=\sqrt{(\frac{dx}{dt})^2+(\frac{dy}{dt})^2}$

加速度值 $a=\sqrt{(\frac{d^2x}{dt^2})^2+(\frac{d^2y}{dt^2})^2}$

方法Ⅱ是正确的，方法Ⅰ忽略了，这些量的矢量性，因而错误。

5、在平稳的，作匀速直线运动的火车车厢中，有人能直

地向上抛出一石块，站在路边的观察者看到石块运动的轨迹是怎样的？

[答]：由运动合成定理：$\vec{v}_{石对地}=\vec{v}_{石对车}+\vec{v}_{车对地}$

令 $\vec{v}_{石对车}=\vec{v}_1$、$\vec{v}_{车对地}=\vec{v}_2$、$\vec{v}_{石对地}=\vec{v}$

以车行方向为x轴，以铅直方向为y轴，则 $v_{1x}=0$ $v_1=v_{1y}$

$v_{2y}=0$ $v_2=v_{2x}$

由 $\vec{v}=\vec{v}_1+\vec{v}_2$ 则有：$v_x=v_{1x}+v_{2x}=v_{2x}=v_2=$ 常量

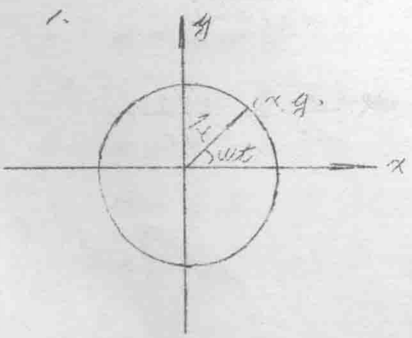
$v_y=v_{1y}+v_{2y}=v_{1y}=v_1=v_0-gt$

由题意：$x=v_2t$

$y=v_0t-\frac{1}{2}gt^2$ 　　轨迹为抛物线。

三、例题分析：

1、



a）对于作匀速圆周运动的质点，试用直角坐标和单位矢量 $\vec{i}$ 和 $\vec{j}$ 表示其位置矢量 $\vec{r}$

b）由a）结果导出速度 $\vec{v}$ 和加速度 $\vec{a}$ 的矢量表示式。

c）试证加速度 $\vec{a}$ 指向轨道圆周的中心。

[解]. a） $\vec{r}=x\vec{i}+y\vec{j}=r\cos\omega t\,\vec{i}+r\sin\omega t\,\vec{j}$

式中 $x=r\cos\omega t$ 、$y=r\sin\omega t$

b) $v_x=\frac{dx}{dt}=-r\omega\sin\omega t$

$$v_y=\frac{dy}{dt}=r\omega\cos\omega t$$

$$\therefore\ \vec{v}=v_x\vec{i}+v_y\vec{j}=-r\omega\sin\omega t\,\vec{i}+r\omega\cos\omega t\,\vec{j}$$

$$\vec{a}=\frac{d\vec{v}}{dt}=\frac{dv_x}{dt}\vec{i}+\frac{dv_y}{dt}\vec{j}$$

$$=-r\omega^2\cos\omega t\,\vec{i}-r\omega^2\sin\omega t\,\vec{j}$$

c) $\vec{a}=-\omega^2(r\cos\omega t\,\vec{i}+r\sin\omega t\,\vec{j})=-\omega^2\vec{r}$（指向圆心）

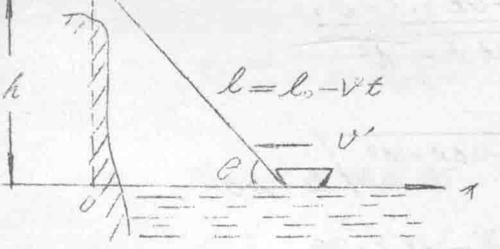
另外可以自然坐标系中推得：$v^2=v_x^2+v_y^2=r^2\omega^2$

∴切向加速度 $a_t=\frac{dv}{dt}=0$，

$$a_n=\frac{v^2}{r}=r\omega^2\quad\text{结果一致.}$$

［教学说明］：本题要求从运动方程，速度到加速度完整地描述一种典型的运动，——匀速圆周运动，主要在于方法的训练

2.



湖中有一小船，岸上有人用绳跨过滑轮拉船靠岸，当有人以匀速 v 拉绳，船运动的速度 v' 为多少？设滑轮距水面高度为 h，滑轮到原船位置的绳长为 l_0。

[解]、 建立如图坐标系，根据几何关系，船的运动方程为

$$x^2=(l_0-vt)^2-h^2$$

即： $x=\sqrt{(l_0-vt)^2-h^2}$

所以船的运动速度为：

$$v'=\frac{dx}{dt}=\frac{(l_0-vt)\cdot(-v)}{\sqrt{(l_0-vt)^2-h^2}}$$

$$=-\frac{v}{\sqrt{1-\left(\frac{h}{l_0-vt}\right)^2}}$$

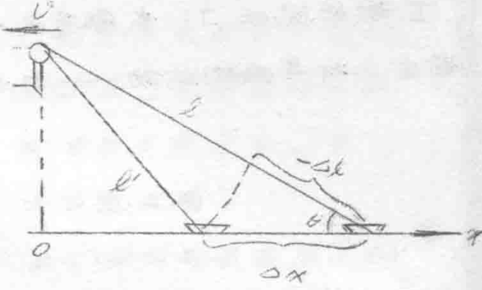
船的运动方向为 x 轴的负方向。

[教学说明]

本题乃具有运动学解题的一般规律：建立坐标系，利用几何关系求运动方程，再得到速度。如果写出 $v'=v\cdot\cos\theta$ ……(1)，是完全错误的。作些分析，对于微量 Δl、Δx，明显：

$$\Delta l=-\Delta x\cdot\cos\theta_x$$

则 $\lim\limits_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta l}{\Delta t}=-\cos\theta\lim\limits_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta x}{\Delta t}$



（$\Delta t\to 0$，$\cos\theta$ 可以认为不变）

即：$v=-v'\cdot\cos\theta$ …… (2)

又从计算结果 $v'=\frac{(l_0-vt)\cdot(-v)}{\sqrt{(l_0-vt)^2-h^2}}$

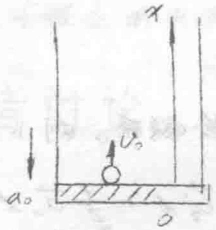
从题图可以看出 $\cos\theta=\sqrt{(l_0-vt)^2-h^2}\Big/l_0-vt$

$\therefore v'=-v/\cos\theta$ $\qquad v=-v'\cdot\cos\theta$ …………………… (3)

(2)、(3) 结果一致，(1) 式错误。

3、在一以 a_0（$a_0<g$）加速度下降的足够高的电梯中有一小球以相对电梯为 v_0 的速度从电梯底部弹出、问：(1) t 秒钟后小球离电梯高度 h 为多少？(2)、小球达到顶点需时多少？(3)、小球回落到电梯需时为何？

[解]



(1). 选定如图坐标系。

据相对运动公式 $\vec{a}_{球对梯}=\vec{a}_{球地}+\vec{a}_{地梯}$

$$=\vec{a}_{球地}-\vec{a}_{梯地}$$

1. 小球相对电梯的加速度 $a=-g+a_0<0$ 方向向下。

所以 $\vec{h}=\vec{v_0}t+\frac{1}{2}\vec{a}t^2$

投影之后．$h=v_0t+\frac{1}{2}(a_0-g)t^2$

2. 达到顶点时：

$\frac{dh}{dt}=0 \qquad v_0+(a_0-g)t=0$

$\therefore \quad t=\frac{v_0}{g_0-a_0}$

3、再回到电梯底部． $h=0$

$\therefore v_0t+\frac{1}{2}(a_0-g)t^2=0$

解出 $t=0$（舍去）

$$t=\frac{2v_0}{g-a_0}$$

[教学说明]

本题要求用相对运动原理，求出相对加速度，然后应用运动学公式直接得到高度 h。若以地面为参照系，过程考虑更为复杂，最后结果还是由到式：

$$\vec{h}=\vec{v_0}t+\frac{1}{2}\vec{a}t^2。$$

事实上，以抛出时为坐标原点、地面为参照系。则小球的位置 $\vec{h}=\vec{v_1}t+\frac{1}{2}\vec{g}t^2$。电梯的位置：$\vec{h_2}=\vec{v_2}t+\frac{1}{2}\vec{a_0}t^2$

（$\vec{v_1}$ 和 $\vec{v_2}$ 分别为抛出时小球和电梯相对于地面的速度）虽然，$\vec{v_1}$、$\vec{v_2}$ 未知，但 $\vec{v_0}=\vec{v_1}+\vec{v_2}$ 已知，所以 $\vec{h}=\vec{h_1}+\vec{h_2}$

$$=\vec{v_0}t+\frac{1}{2}(\vec{a_0}+\vec{g})t^2=\vec{v_0}t+\frac{1}{2}\vec{a}t^2.$$

第二课　牛顿运动定律

一、基本要求

1、正确理解力的概念和牛顿运动定律；

2、掌握分析物体受力的方法和隔离体法；

3、掌握应用牛顿运动定律及其分量式解题的方法。

二、思考讨论

1、什么是力？（提问）

［答］力是物体间的相互作用，是改变物体运动状态的原因。

2、叙述牛顿第二定律，写出数学表达式，在应用牛顿第二定律时，应注意些什么？（提问）

［答］：物体受到外力作用时，物体所获得加速度的大小与合外力的大小成正比，与物体的质量成反比；加速度的方向与合外力的方向相同，其数学表达式为 $\vec{F}=m\vec{a}$（应用国际单位制）

应用牛顿第二定律应注意：

(1)、牛顿第二定律表示的合外力与加速度之间的关系是瞬时关系，即有外力作用时才有加速度，外力改变时，加速度也随之改变，外力一旦消失，加速度也就没有。

(2) $\vec{F}=m\vec{a}$ 是矢量式，在解题时，常用其分量式

直角坐标 $\begin{cases}\sum F_x=ma_x\\ \sum F_y=ma_y\end{cases}$，自然坐标 $\begin{cases}\sum F_t=ma_t\\ \sum F_n=ma_n\end{cases}$

[教学说明]。

此二题的目的在于检查学生是否能确切地阐述力的定义和牛顿第二定律，语言上的确切与否往往反映出理解程度。并通过这类练习培养学生在理解的基础上引用科学语言阐述物理定义、定理及其它物理问题。

3、概括物体受力的分析方法。

[教学说明]。

(1)、受力分析是运用牛顿定律解题的关键，学生在中学时期虽已接触较多，但往往知其然而不知其所以然，有必要进行讨论总结，使学生掌握物体受力分析的一般方法，以能正确受力分析。

(2)、过去学生已做过许多受力分析的有关练习，因此，概括总结其方法可先由学生自由讨论，互相拼凑补充，然后请学生发言，最后教师予以小结。

[小结]：

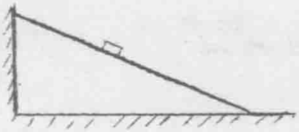
既然力是一个物体对另一物体的作用，物体受到一个力的作用，必然有施这个力的物体存在，而这个物体是与我们研究对象相互作用的，因此，分析研究对象受的力，必先找到与之相作用的物体。

(1). 不接触而作用的：如引力（其最常见的是重力，电磁力等）。因此，通常地面附近的物体，都要考虑受到重力的作用。

(2)、接触而作用的：每个与"对象"接触的物体，可能对"对象"施加二个力，一个是弹力，一个是摩擦力。

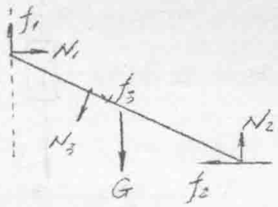
这样，抓住相互作用的物体，对研究对象受的力一一分析，就不至于产生遗漏和做无添加的错误。

4、一木棒一端搁在墙上，如左，木棒上有一物体，试分析木棒受力情况。



[解]：

木棒为研究对象，其受力（如图）



(1)、重力G

(2)、木棒与墙接触，受到墙对棒作用的弹力N_1、木棒与墙接触端有下滑的趋势，受到墙对它作用的摩擦力f_1.

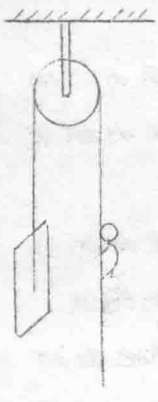
(3)、木棒与地面接触，受到地面作用的弹力N_2和摩擦力f_2.

(4)、木棒与小物体接触，受到小物体的弹力N_3和摩擦力f_3.

[教学说明]

本题是上题的应用实例，在讨论了上题的基础上再讨论本题，加深对受力分析方法的理解。

5、将一质量略去不计的轻绳，跨过无摩擦的定滑轮。一只猴子抓住绳的一端，绳的另一端悬挂一个质量与猴相等的镜子。开始时，猴与镜在同一水平面上。猴子为了看不到镜中的猴象，它作了下面三项尝试：(1)向上爬，(2)向下爬，(3)松开绳子自由下落。这样猴子是否看不到它在镜中的象。



解：(1)向上爬，猴有一向上的加速度。

分析猴受力，向上，绳子的拉力F，向下，重力G。

由牛顿定律 $F-G=ma$

$$a=\frac{F-G}{m}$$

m 为猴的质量，镜与猴质量相同，也为 m.

分析镜受力，向上绳的拉力，向下，重力 G

由牛顿第二定律，$F-G=ma$

$$a=\frac{F-G}{m}$$

镜与猴任何时刻加速度相同，且初始条件相同，因此，在任何时刻两者的高度相同，猴子不能看不到它在镜中的象。

(2) 同样，向下爬时，猴与镜向下的加速度相同，猴子不能看不到它在镜中的象。

(3) 松开绳子自由下落，镜也不再受到绳的拉力而自由下落，镜与猴仍然是运动情况完全相同，高度也时时相同，猴子不能看不到它的镜象。

[教学说明]：

此题让学生很快回答，可能会出现多种结论。引导学生应用牛顿定律进行分析后，自然会得到一致的正确结论，由此指出，正确的解答，应建立在理论基础上，想当然的回答往往是站不住脚的。

6、马拉车，车也拉马，两者的相互作用力大小相等、方向相反，为什么车马都前进？

[答]：马拉车的作用力虽然等于车拉马的反作用力，但是它们分别作用在两个不同的物体上，若分别以马和车为研究对象，不能得出合力为零的结论。

对车来说，受到马的拉力及地面的摩擦阻力，只要马的拉力大于摩擦力，车就获得向前的加速度，静止的车就能前进。

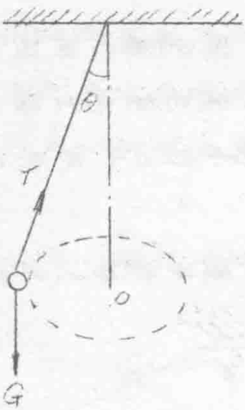
对马来说，它要前进，必须用蹄向后蹬，从而获得地面对它的向前的反作用力，同时它受到车向后的拉力，只要马的蹬

力足够大，地面提供它的力大于车对它的拉力时，静止的马就能前进。

[教学说明]

此题讨论的目的，是使学生对牛顿运动定律有进一步的理解，一个物体运动状态的改变，仅决定于该物体所受的合力。

7.



如图所示，一个用绳子悬挂着的物体在水平面上作匀速圆周运动，有人在重力方向上求合力，写出：

$$T\cos\theta - G = 0$$

另有人沿绳子拉力T的方向求合力写出：

$$T - \frac{G}{\cos\theta} = 0$$

显然两者不能同时成立，试指出哪个式子是错误的，为什么？

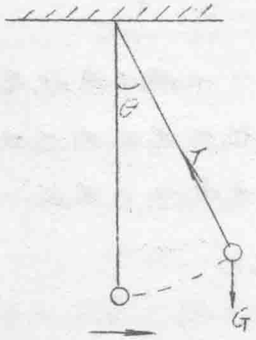
[答] 下式是错误的，沿绳子方向求合力，合力确是 $T - G\cos\theta$，但此方向的加速度分量并不为零，而是应为 $a\sin\theta$，这里 a 是物体在水平面作圆周运动的向心加速度。

[教学说明]

此题结论是较为明显的，但理由是什么学生可能回答不出，有的总错认为力不应在绳子方向分解合成，其实不然，要引导学生从牛顿定律的基本原则出发发现问题，并指出力是可以沿任意方向分解合成的（亦即坐标系的选择是任意的，以方便解题为准）。

三、例题分析

1、长为 l 的细绳，一端系一质量为 m 的小球，使小球从悬挂着的位置以初速 v_0 于竖直平面内绕细绳的另一端开始作圆周运动。用牛顿定律求小球在任意位置时的速度和绳的张力（空气阻力不计）



[解]：

设小球在任意位置时绳与竖直方向的夹角为 θ，以小球为研究对象，分析受力，小球受绳子拉力 T 及重力 G.

采用自然坐标，由牛顿第二定律

$$T - G\cos\theta = m\frac{v^2}{l} \quad (1)$$

$$-G\sin\theta = m\frac{dv}{dt} \quad (2)$$

由(2) $\frac{dv}{dt} = -g\sin\theta$ $\qquad 2\frac{dv}{dt} = -2g\cdot v\cdot\sin\theta$

$$\frac{d}{dt}(v^2) = -2gv\sin\theta = -2g\cdot l\cdot\omega\cdot\sin\theta$$

$$= -2gl\cdot\sin\theta\frac{d\theta}{dt}$$

$d(v^2) = -2gl\sin\theta\, d\theta$ $\qquad \therefore v^2 = 2gl\cos\theta + C$

$\theta = 0$ 时，$v = v_0$ 即 $v_0^2 = 2gl + C$

$\therefore C = v_0^2 - 2gl$

$\therefore v^2 = v_0^2 - 2gl(1-\cos\theta)$

代入(1)得：

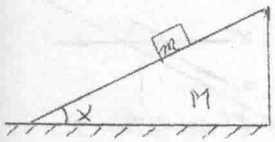
$$T = mg\cos\theta + \frac{m}{l}\cdot v^2 - 2mg(1-\cos\theta)$$

$$= m\left(\frac{v_0^2}{l} - 2g + 3g\cos\theta\right)$$

［教学说明］：

此题用机械能守恒定律求解，无须积分，方便简单。但题中明确要求用牛顿定初来介，是运用牛顿定初解题的一种训练，又平时学生运用自然坐标法较少，本题采用自然坐标法，可以使学生对此进一步熟悉。

2、在光滑的水平面上，放一质量为M的三棱柱，它的斜面的倾角为α。现把一质量为m的滑块放在三棱柱的光滑斜面上，试求：



(1)．三棱柱相对于地面的加速度；

(2)．滑块相对于地面的加速度；

(3)．滑块与三棱柱之间的正压力。

又当M的加速度为何值时，m与M相对静止。

［解］：

首先以m为研究对象，对之受力分析，作正受力分析图。

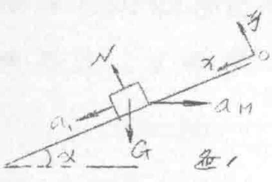


图1

取直角坐标如图，分析m运动特点，m在M之上，随M一起运动有一水平方向加速度a_M，相对M有一沿斜面方向的加速度a_1，

用牛顿运动定律，考虑到运动合成定理，

$$mg\cos\alpha - N = ma_M\sin\alpha \qquad (1)$$

$$mg\sin\alpha = ma_1 - ma_M\cdot\cos\alpha \qquad (2)$$

同样，以M为研究对象，受力分析，作受力图.

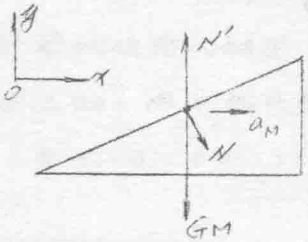


图2

选取如图2的坐标，列方程

$$N' = N\cos\alpha + Mg \quad (3)$$

$$N\cdot\sin\alpha = Ma_M \quad (4)$$

解联列方程，得

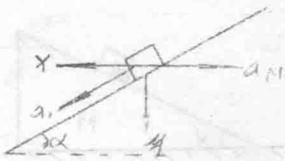
$$a_M = \frac{mg\sin\alpha\cos\alpha}{M + m\sin^2\alpha}$$

$$N = \frac{M\cdot m\cdot g\cdot\cos\alpha}{M + m\sin^2\alpha}$$

又由(2)．$a_1 = g\sin\alpha + a_M\cos\alpha$.

以 a_m 表示m的加速度，则

$$\vec{a}_m = \vec{a}_1 + \vec{a}_M$$



选取如图3的坐标，其分量式分别为．　图3

$$a_{mx} = a_1\cos\alpha - a_M$$

$$a_{my} = a_1\times\sin\alpha$$

代入 a_1 及 a_M 的值.

得：$a_{mx} = g\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha\cdot\dfrac{M}{M + m\sin^2\alpha}$

$$a_{my} = g\cdot\sin^2\alpha\cdot\frac{M + m}{M + m\sin^2\alpha}$$

$$a_m = \sqrt{a_{mx}^2 + a_{my}^2} = \frac{g\sin\alpha}{M + m\sin^2\alpha}\cdot\sqrt{M^2 + m(m + 2M)\sin^2\alpha}$$

又．若m相对M静止，必须 a_M 向左，而 $a_1 = 0$，则此时

上列(1)、(2)式为：