面向21世纪课程教材学习辅导书

物理学

（第五版）

思考题分析与解答

周雨青　主编

高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

面向21世纪课程教材学习辅导书

物理学

（第五版）

思考题分析与解答

周雨青　主编

高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内容提要

本书是马文蔚改编的《物理学》第五版的配套教材。其中包括全部思考问题解答、知识点概要和解题感悟。全书以简洁语言、普通物理形式，阐明物理问题，对使用《物理学》（第五版）和其他大学物理教材的读者有辅助作用。本书各章节顺序与主教材对应，每章分概念及规律、思考及解答、解题感悟三个部分。全书紧扣主教材，联系教学实际，注重实用性。

本书适宜用作物理教学讨论课，亦可用作社会读者普及科普知识。

图书在版编目（CIP）数据

物理学（第五版）思考题分析与解答 / 周雨青主编.
北京：高等教育出版社，2009.6
ISBN 978-7-04-026492-0
Ⅰ.物… Ⅱ.周… Ⅲ.物理学-高等学校-教学参考资料 Ⅳ.O4
中国版本图书馆 CIP 数据核字（2009）第 059571 号

策划编辑 郭亚嫘 **责任编辑** 郭亚嫘 **封面设计** 张 楠
责任绘图 尹 莉 **版式设计** 余 杨 **责任校对** 胡晓琪
责任印制 宋克学

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100120	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
		网上订购	http://www.landraco.com
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司		http://www.landraco.com.cn
印 刷	高等教育出版社印刷厂	畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×960 1/16	版 次	2009年6月第1版
印 张	9.5	印 次	2009年6月第1次印刷
字 数	180 000	定 价	12.80元

物料号 26492-00

前 言

《物理学》(第五版)(马文蔚等改编,高等教育出版社,2006年)中的思考问题,环环紧扣课本内容,对理解概念、深化内容、拓展思路有着很好的作用。其中一些内容,在教学实践中作为讨论和习题课的选题是很合适的。将书中所有思考问题给出比较明晰的解答,为使用该书的教师和学生提供参考,是我们的愿望。

我们曾于2007年出版过第四版的思考题解。现在第五版的思考题有了增减,有必要跟上这个变化。主要变化有:

(1) 每章增写了"概念及规律"和"解题感悟";

(2) 对原题解答做了较大的修改、添加和部分更正。

全书分为三个部分:概念及规律;思考及解答;解题感悟。

我们希望使用本书的教师,不拘泥于本书的参考解答,结合学生情况解答疑惑。希望使用本书的学生,先充分地思考,再参阅本书答案。

本书重写,张玉萍(第一、第二、第三章)、张勇(第四、第五章)、董科(第六、第七章)、刘甦(第八、第九章)、殷实(第十二、第十三章)参与了章节"概念及规律"的编写,第十、第十一、第十四、第十五章的"概念及规律"和本书的"解题感悟"与"思考及解答"由周雨青编写和修订。

我们仍然要感谢早期为此书做出过许多工作的彭毅、谷云曦、林桂粉、蒋红燕、堵国安、朱明老师,因为有他们的工作才使现在的修订和完善工作变得顺利和富有坚实的基础。同时,要特别感谢马文蔚教授,是他早期提出的"尽快给出思考题答案"的要求,激励着我们做好这项工作;也是他字斟句酌地阅读和修改了我们不成熟的语句和解答上的不完善之处,并给予了出版指导。

编 者

2008年9月于成贤园

目　　录

第一章　质点运动学

一、概念及规律

1. 参考系　坐标系　质点

参考系　为了确定物体的位置和描述其运动而选做标准的另一物体或一组相对静止的物体系称为参考系。

坐标系　为了定量地描述物体的运动，必须在参考系中建立一个坐标系。坐标系有直角坐标系（即笛卡儿坐标系）、极坐标系、球坐标系、柱坐标系和自然坐标系等。

质点　在一定条件下，可用物体上任一点的运动代表整个物体的运动，即可把整个物体当做一个有质量的点，这样的点称为质点。质点是物体的一种最简单的理想模型。

2. 位置矢量　位移　速度　加速度

位置矢量　从坐标原点指向质点所在位置的矢量，称为位置矢量，简称位矢，用 $\boldsymbol{r}$ 表示。位矢随时间变化的关系式称为运动方程，即

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t)$$

位移　在 Δt 时间间隔内位矢的增量，称为位移，用 $\Delta\boldsymbol{r}$ 表示，则

$$\Delta\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t+\Delta t) - \boldsymbol{r}(t)$$

速度　在 Δt 时间间隔内的位移为 $\Delta\boldsymbol{r}$，那么在此时间间隔内质点的平均速度为

$$\overline{\boldsymbol{v}} = \frac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t}$$

$\Delta t\to 0$ 时，平均速度的极限值，称为瞬时速度，简称速度，用 $\boldsymbol{v}$ 表示，即

$$\boldsymbol{v} = \lim_{\Delta t\to 0}\overline{\boldsymbol{v}} = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$$

$\boldsymbol{v}$ 是矢量，它的方向沿着运动轨道上质点所在处的切线方向，并指向质点前进的一侧，它的大小称为速率，用 v 表示。

平均加速度　设在 Δt 时间间隔内的速度增量为 $\Delta\boldsymbol{v}$，那么质点在 Δt 时间内的平均加速度为

$$\bar{\boldsymbol{a}} = \frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t}$$

当 $\Delta t \to 0$ 时,平均加速度的极限值,称为瞬时加速度 $\boldsymbol{a}$(简称加速度),即

$$\boldsymbol{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \bar{\boldsymbol{a}} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2 \boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t^2}$$

加速度是矢量,它既反映了速度大小的变化,又反映了速度方向的变化。其方向就是当 $\Delta t \to 0$ 时速度增量 $\Delta \boldsymbol{v}$ 的极限方向,而不是速度方向。

3. 角量和线量的关系

角坐标 在极坐标系下,某一时刻质点的位移与 Ox 轴之间的夹角称为角坐标,用 θ 表示。

角位移 在 Δt 时间间隔内质点角坐标的变化,称为角位移,用 $\Delta\theta$ 表示。

角速度 角坐标随时间的变化率称为角速度,用 ω 表示,即

$$\omega = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}$$

角加速度 当角速度随时间变化时,角加速度定义为

$$\alpha = \frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2\theta}{\mathrm{d}t^2}$$

角量和线量的关系 当质点做半径为 r 的圆周运动时,有

$$s = r\Delta\theta$$

$$v = r\omega$$

$$a_t = r\alpha$$

$$a_n = r\omega^2$$

4. 运动方程

在直角坐标系中,质点的运动方程可表示为

$$\boldsymbol{r}(t) = x(t)\boldsymbol{i} + y(t)\boldsymbol{j} + z(t)\boldsymbol{k}$$

平面极坐标系中,在任意时刻 t,运动方程为

$$\boldsymbol{r} = r(t)\boldsymbol{e}_r(t)$$

式中 $\boldsymbol{e}_r$ 是径向的单位矢量,且 $\boldsymbol{e}_r$ 随时间变化。

5. 运动的叠加原理

运动方程

$$\boldsymbol{r}(t) = x(t)\boldsymbol{i} + y(t)\boldsymbol{j} + z(t)\boldsymbol{k}$$

反映了质点运动是各分运动的矢量合成,即运动具有叠加性,例如平抛运动可以看做水平方向匀速直线运动和竖直方向匀加速直线运动的叠加。

另外,从式

$$\boldsymbol{r}(t) = x(t)\boldsymbol{i} + y(t)\boldsymbol{j} + z(t)\boldsymbol{k}$$

中消去参数 t 还可得到质点运动的轨迹方程。

6. 相对运动

如图 1-1 所示，设分别有代表两个参考系的坐标系 S 系（即 $Oxyz$ 坐标系）和 S′系（即 $O'x'y'z'$坐标系），S 系与 S′系初始时（$t=0$ 时）重合，S′系相对 S 系沿 x 轴方向以速度 $\boldsymbol{u}$ 运动，一个质点在两个参考系中的速度变换式为

$$\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}' + \boldsymbol{u}$$

式中 $\boldsymbol{v}$ 是质点相对 S 系的速度，也称绝对速度，$\boldsymbol{v}'$是质点相对 S′系的速度，也称相对速度，$\boldsymbol{u}$ 是 S′系相对 S 系的速度，也称牵连速度。这就是伽利略速度变换式，速度具有相对性。

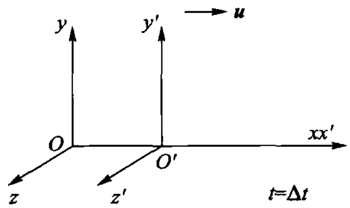


图 1-1　相对运动

二、思考及解答

1-1　在一艘内河轮船中，两个旅客有这样的对话：

甲：我静静地坐在这里好半天了，我一点也没有运动。

乙：不对，你看看窗外，河岸上的物体都飞快地向后掠去，船在飞快前进，你也在很快地运动。

试把他们讲话的含意阐述得确切一些，究竟旅客甲是运动，还是静止？你如何理解运动和静止这两个概念的。

答：① 如果以轮船为参考系，则甲、乙旅客都是静止的，而河岸上的物体都在向右运动；

如果以河岸为参考系，则轮船及甲、乙旅客都是运动的。

② 运动是绝对的，而静止是相对的。描述物体的运动情况时，首先要选定参考系，选取的参考系不同，对物体运动的描述也就不同。

1-2　有人说："分子很小，可将其当做质点；地球很大，不能当做质点。"对吗？

答：这样说法不对。"质点"是经过科学抽象而形成的物理模型。物体能否当做质点是有条件的，相对的。当研究某物体的运动，可以忽略其大小和形状，或者只考虑其平动，那么就可把物体当做质点。例如，分子虽小，但研究分子内部结构时，分子就不能当做质点；地球虽大，当研究地球绕太阳的公转时，地球就可当做质点；但研究地球自转现象时，地球就不能当做质点。

1-3　已知质点的运动方程为 $\boldsymbol{r}=x(t)\boldsymbol{i}+y(t)\boldsymbol{j}$，有人说其速度和加速度分别为

$$v=\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t},\quad a=\frac{\mathrm{d}^2 r}{\mathrm{d}t^2}$$

其中 $r=\sqrt{x^2+y^2}$。你说对吗?

答:题中说法不对。根据定义 $\boldsymbol{v}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j}$, $\boldsymbol{a}=\frac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t^2}=\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{j}$,所以,由 $\boldsymbol{r}=x(t)\boldsymbol{i}+y(t)\boldsymbol{j}$,可得如下结论:$v=|\boldsymbol{v}|=\left|\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j}\right|=\sqrt{\left(\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\right)^2+\left(\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\right)^2}$, $\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}|\boldsymbol{r}|}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}\sqrt{x^2+y^2}}{\mathrm{d}t}=\frac{x\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}+y\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}}{\sqrt{x^2+y^2}}$, 显然, $v\neq\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}$, $a=\left|\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}\right|=\left|\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{j}\right|=\sqrt{\left(\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}\right)^2+\left(\frac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2}\right)^2}$, $\frac{\mathrm{d}^2r}{\mathrm{d}t^2}=\frac{\mathrm{d}^2|\boldsymbol{r}|}{\mathrm{d}t^2}=\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}\right)=\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{x\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}+y\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}}{\sqrt{x^2+y^2}}\right)$,

显然,$a\neq\frac{\mathrm{d}^2r}{\mathrm{d}t^2}$。

1-4 在习题 1-5 中,有人认为:船速为 $v=v_0\cos\theta$,由此得出的答案是错误的,你知道错在哪里吗?

答:错误的来源是将“收绳速度 v_0”分解为沿船运动方向和垂直于船运动方向的两个分量。其中将沿船运动方向的分量当成就是船的速度;错误在于将“收绳速度 v_0”当成为合速度。实际上,船速才是合速度,它同时参与了沿绳方向的“收绳速度 v_0”和使绳方向改变的“转动速度”,后者速度的方向垂直于绳。因而,应该将船速 v 沿绳和垂直于绳方向分解才能得到正确的结果。

1-5 如果一质点的加速度与时间的关系是线性的,那么,该质点的速度和位矢与时间的关系是否也是线性的呢?

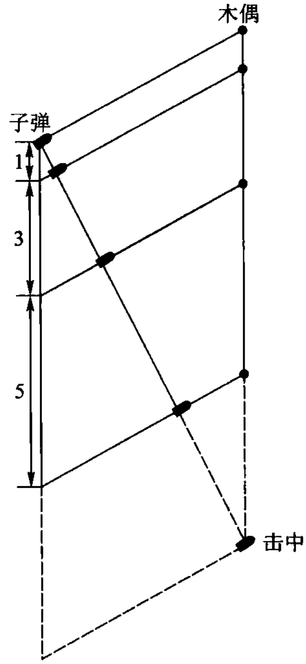
答:据题意,加速度与时间的关系是线性的,则可以设 $\boldsymbol{a}=\boldsymbol{k}t$,其中 $\boldsymbol{k}$ 为常矢。由 $\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=\boldsymbol{k}t$,得 $\mathrm{d}\boldsymbol{v}=\boldsymbol{k}t\mathrm{d}t$(设 $t=0$ 时,$\boldsymbol{v}=\boldsymbol{v}_0$, $\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}_0$),两边积分,有 $\int_{v_0}^{v}\mathrm{d}\boldsymbol{v}=\int_0^t\boldsymbol{k}t\mathrm{d}t$,所以 $\boldsymbol{v}=\boldsymbol{v}_0+\frac{1}{2}\boldsymbol{k}t^2$,即速度与时间的关系不是线性的。同理,由 $\boldsymbol{v}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$,有 $\int_{r_0}^{r}\mathrm{d}\boldsymbol{r}=\int_0^t\left(\boldsymbol{v}_0\mathrm{d}t+\frac{1}{2}\boldsymbol{k}t^2\mathrm{d}t\right)$,所以 $\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}_0+\boldsymbol{v}_0t+\frac{1}{6}\boldsymbol{k}t^3$,即位矢与时间的关系也不是线性的。

1-6 一人站在地面上用枪瞄准悬挂在树上的木偶。当击发枪机,子弹从枪口射出时,木偶正好从树上由静止自由下落。试说明为什么子弹总可以射中木偶?

答:本题要射中木偶有一个前提必须满足:若设木偶离地的距离为 h,枪口离木偶的连线距离为 s,子弹出口的初速率为 v_0,则要在 $\frac{s}{v_0}\leqslant\sqrt{\frac{2h}{g}}$ 的条件下才有

可能击中。在此条件下，方法一：因为 $\boldsymbol{v}_{子}=\boldsymbol{v}_0+\boldsymbol{g}t$，$\boldsymbol{v}_{木}=\boldsymbol{g}t$，所以任意时刻两者的相对速度 $\boldsymbol{v}_{子}-\boldsymbol{v}_{木}=\boldsymbol{v}_0$，只要初始时刻 $\boldsymbol{v}_0$ 方向指向木偶（对准），则任意时刻子弹都向着木偶相对运动。因此一定能够击中木偶。

方法二：根据运动的叠加原理，子弹参与：竖直方向的自由落体和斜方向的匀速运动。木偶只参与竖直方向的自由落体。则如问题 1－6 图所示，子弹必然击中木偶。



问题 1－6 图

1－7　一质点做匀速率圆周运动，取其圆心为坐标原点，试问：质点的位矢与速度、位矢与加速度、速度与加速度的方向之间有何关系？

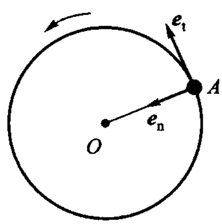
答：如问题 1－7 图所示，A 为圆周上运动的质点，设质点沿 O 为圆心，半径为 r 的圆周做逆时针方向的匀速率圆周运动。

以动点 A 为原点，建立如问题 1－7 图所示自然坐标系，则由图可知

① 质点的位矢 $\overrightarrow{OA}$ 与法向单位矢量 $\boldsymbol{e}_n$ 的方向相反，速度 $\boldsymbol{v}$ 与切向单位矢量 $\boldsymbol{e}_t$ 的方向相同，即 $\boldsymbol{r}=-r\boldsymbol{e}_n$，$\boldsymbol{v}=v\boldsymbol{e}_t$，所以质点的位矢与速度方向相互垂直，$\boldsymbol{r}\perp\boldsymbol{v}$。

② 因为质点做匀速率圆周运动，则其切向加速度 $a_t=\dfrac{dv}{dt}=0$，所以加速度 $\boldsymbol{a}=\boldsymbol{a}_t+\boldsymbol{a}_n=\boldsymbol{a}_n$ 沿法向单位矢量 $\boldsymbol{e}_n$ 的方向。

③ 由以上分析可知，质点速度方向沿切向，而加速度沿法向，所以，质点速度方向与加速度方向垂直。



问题 1－7 图

1－8　在《关于两门新科学的对话》一书中，伽利略写道：“仰角（即抛射角）比 45°增大或减小一个相等角度的抛体，其射程是相等的。”你能证明吗？

证明：由给定初速 v_0、抛射角 α 的抛体射程公式

$$d_0=\frac{v_0^2}{g}\sin 2\alpha$$

可以得到，当抛射角分别为比 45°增大 θ 和比 45°减小 θ 的抛体，其射程分别为 $d_1=\dfrac{v_0^2}{g}\sin 2(45^\circ+\theta)$，$d_2=\dfrac{v_0^2}{g}\sin 2(45^\circ-\theta)$，则 $d_1=\dfrac{v_0^2}{g}\sin(90^\circ+2\theta)=\dfrac{v_0^2}{g}\cos 2\theta$，

$d_2=\frac{v_0^2}{g}\sin(90°-2\theta)=\frac{v_0^2}{g}\cos 2\theta$,即 $d_1=d_2$。

1-9 下列说法是否正确:

(1) 质点做圆周运动时的加速度指向圆心;

(2) 匀速圆周运动的加速度为常量;

(3) 只有法向加速度的运动一定是圆周运动;

(4) 只有切向加速度的运动一定是直线运动。

答:质点做圆周运动时,其加速度 $\boldsymbol{a}=\boldsymbol{a}_t+\boldsymbol{a}_n$,其中 $\boldsymbol{a}_t=\frac{dv}{dt}\boldsymbol{e}_t$,$\boldsymbol{a}_n=\frac{v^2}{R}\boldsymbol{e}_n$。

(1) 不准确。若$\frac{dv}{dt}\neq 0$ 时 $\boldsymbol{a}\neq\boldsymbol{a}_n$,即不是匀速率圆周运动时,加速度就不指向圆心。

(2) 不对。因匀速圆周运动时,加速度 $\boldsymbol{a}=\boldsymbol{a}_n=\frac{v^2}{R}\boldsymbol{e}_n$,而 $\boldsymbol{e}_n$ 为大小为 1、方向不断变化的变矢量。所以,匀速圆周运动时,加速度大小不变,而方向不断变化,但始终指向圆心。

(3) 不对。只有法向加速度,则切向加速度 $a_t=\frac{dv}{dt}=0$,则,速率 v 不变,且加速 $\boldsymbol{a}=\boldsymbol{a}_n=\frac{v^2}{R}\boldsymbol{e}_n$。若为圆周运动,则必有 R 不变,从而法向加速度大小也不变。所以,应该说,只有法向加速度且其大小不变的运动一定是圆周运动。

(4) 正确。只有切向加速度,则 $a_n=\frac{v^2}{\rho}=0$,一般 $v\neq 0$,则 $\rho\to\infty$,所以是直线运动。

1-10 在地球的赤道上,有一质点随地球自转的加速度为 a_E;而此质点随地球绕太阳公转的加速度为 a_S。设想地球绕太阳的轨道可视为圆形。你知道这两个加速度之比是多少吗?

答:设地球赤道半径为 r,地球公转半径为 R,由向心加速度公式,有:$a_E=r\frac{4\pi^2}{T_E}=r\frac{4\pi^2}{24\ \text{h}}$;$a_S=R\frac{4\pi^2}{T_S}=R\frac{4\pi^2}{365\times 24\ \text{h}}$,所以$\frac{a_E}{a_S}=\frac{365r}{R}$,取 $r\approx 6.4\times 10^6$ m,$R\approx 1.5\times 10^{11}$ m,则$\frac{a_E}{a_S}=1.6\times 10^{-2}\approx\frac{1}{100}$,因此在研究地球公转时,若精度要求不高时,可以忽略地球的自转运动。

1-11 一半径为 R 的圆筒中盛有水,水面低于圆筒的顶部。当它以角速度 ω 绕竖直轴旋转时,水面呈平面还是抛物面?请试证之。

答:设圆筒水面为任意“曲面”(不排除平面)。因相对于圆筒中心轴的对称

性，曲面中心一定是“曲面”的极值点。建立如问题 1-11 图所示坐标系，并在水面上任意位置 A 取一个质量元 $\mathrm{d}m$，其受力情况如问题 1-11 图所示，其中 $\boldsymbol{F}_{\mathrm{N}}$ 和 $\mathrm{d}\boldsymbol{P}$ 为质元 $\mathrm{d}m$ 受到的其他部分水对其的作用力和自身的重量。

可以证明 $\boldsymbol{F}_{\mathrm{N}}$ 垂直于该质元所在处曲线的切线方向。

由受力分析，列方程：

$$\begin{cases} F_{\mathrm{N}} \cos\theta = \mathrm{d}m \cdot g & (1) \\ F_{\mathrm{N}} \sin\theta = \mathrm{d}m(x\omega^2) & (2) \end{cases}$$

得

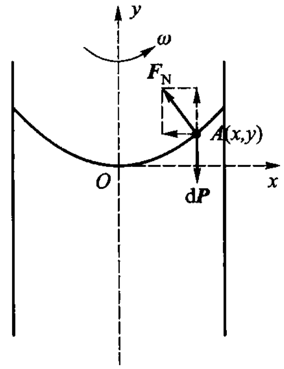
$$g\tan\theta = \omega^2 x \qquad (3)$$

因为 $\tan\theta$ 为曲线在点 A 处的斜率，所以有

$$\tan\theta = \mathrm{d}y/\mathrm{d}x \qquad (4)$$

将式(4)代入式(3)，得

$$\mathrm{d}y = \frac{\omega^2}{g}x\mathrm{d}x$$



问题 1-11 图

从坐标原点到任意点的积分，有

$$\int_0^y \mathrm{d}y = \frac{\omega^2}{g}\int_0^x x\mathrm{d}x$$

得

$$y = \frac{1}{2}\,\frac{\omega^2}{g}x^2$$

这是水面任意质元满足的方程，恰为抛物线。

1-12　把一小钢球放在大钢球的顶部，让两钢球自距地面高为 h 处由静止自由下落，与地面上钢板相碰撞。相碰后，小钢球可弹到 $9h$ 的高度。你能用相对运动的概念给予说明吗？设钢球间和钢球间的碰撞均为完全弹性碰撞。

答：分四个过程考虑。

第一过程：大、小球一起落下[问题 1-12 图(a)]。大球、小球着地的瞬时，它相对地的速度值为 $v = \sqrt{2gh}$。

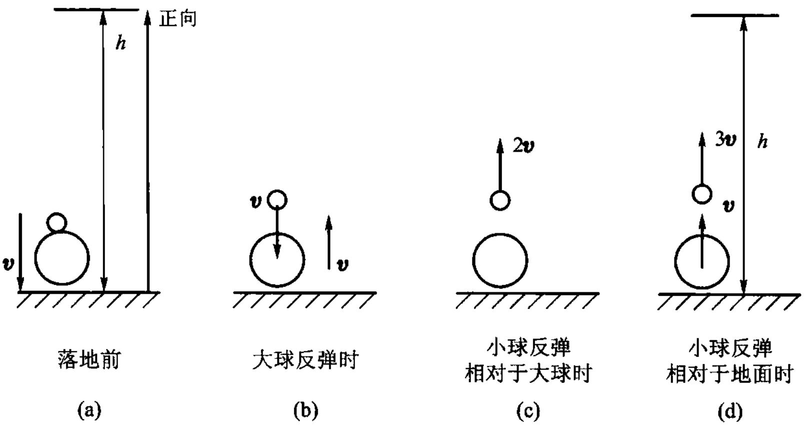
第二过程：大球与地间的碰撞为完全弹性碰撞，大球以速率 v 反弹[问题 1-12 图(b)]，因小球仍以速率 v 向下运动，所以它相对于此时的大球的速率为 $2v$ 方向向下。

第三过程：小球相对于大球碰撞仍为完全弹性碰撞[问题 1-12 图(c)]，则小球碰撞后反弹的相对大球的速率仍为 $2v$，此时，大球相对于地面的速率(近似)仍为 v。

第四过程：小球相对于地面以速率 $3v$ 弹起[问题 1-12 图(d)]，故小球升起的高度

$$H = \frac{(3v)^2}{2g} = 9\frac{v^2}{2g} = 9h \quad 证毕$$

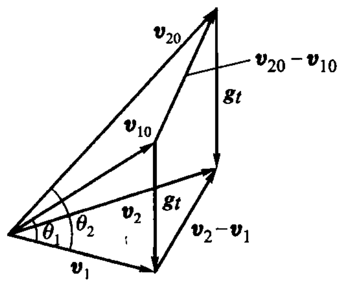
注:在第二个过程中,大球与钢板相碰,小球与大球相碰,显然钢板的弛豫时间(恢复时间)要短于小球与大球相碰后的弛豫时间。因此,可将大球与钢板碰撞(结束)和小球与大球碰撞(开始)分开。



问题 1 - 12 图

1 - 13 如果有两个质点分别以初速 $\boldsymbol{v}_{10}$ 和 $\boldsymbol{v}_{20}$ 抛出,$\boldsymbol{v}_{10}$ 和 $\boldsymbol{v}_{20}$ 在同一平面内且与水平面的夹角分别为 θ_1 和 θ_2。有人说,在任意时刻,两质点的相对速度是一常量。你说对吗?

答:题中说法正确。若在任意时刻 t,两质点的速度分别为 $\boldsymbol{v}_1$,$\boldsymbol{v}_2$,并且只在恒定重力场中运动,则有 $\boldsymbol{v}_1=\boldsymbol{v}_{10}+\boldsymbol{g}t$,$\boldsymbol{v}_2=\boldsymbol{v}_{20}+\boldsymbol{g}t$。由问题 1 - 13 图可知,任意时刻,两质点的相对速度 $\boldsymbol{v}_2-\boldsymbol{v}_1=\boldsymbol{v}_{20}-\boldsymbol{v}_{10}$ 为常量。



问题 1 - 13 图

三、解题感悟

以题 1 - 6 为例,解题时应注意:

(1)要掌握好规律。比如该题目的解答中利用了两条规律:运动的相对性和叠加原理。

(2)要注意题目所给的条件。在本题中,木偶落地的时间是 $\sqrt{\frac{2h}{g}}$,在这段时间里弹丸必须击中木偶,这也就限制了枪口与木偶间的距离,超出了这个距离,在木偶落地停止运动后,弹丸是无法击中木偶的。当然也就不能用运动的相对性和叠加原理来求解本题了。

第二章　牛顿运动定律

一、概念及规律

1. 牛顿运动定律

牛顿第一定律　任何物体都保持静止或匀速直线运动的状态，直到其他物体作用的力迫使它改变这种状态为止。

牛顿第二定律　当质点受到外力作用时，质点动量 $\boldsymbol{p}$ 的时间变化率大小与合外力成正比，其方向与合外力的方向相同，即

$$\boldsymbol{F} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{p}}{\mathrm{d}t}$$

对低速运动的物体，物体的质量是一个与它的速度无关的常量，因而上式可写为

$$\boldsymbol{F} = m\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}$$

或

$$\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$$

牛顿第三定律　物体间的作用是相互的，一个物体对另一个物体有作用力，则另一个物体对这个物体必有反作用力。作用力和反作用力分别作用于不同的物体上，它们总是同时存在，大小相等、方向相反，作用线在同一直线上。若以 $\boldsymbol{F}$ 和 $\boldsymbol{F}'$表示作用力和反作用力，则有

$$\boldsymbol{F} = -\boldsymbol{F}'$$

2. 常见的三种力

万有引力　质量分别为 m_1 和 m_2 的两个质点，相距为 r 时，则 m_1 对 m_2 的引力可表示为

$$\boldsymbol{F} = -G\frac{m_1 m_2}{r^2}\boldsymbol{e}_r$$

式中引力常数 $G = 6.67\times10^{-11}\ \mathrm{N\cdot m^2\cdot kg^{-2}}$，$\boldsymbol{e}_r$ 为 m_1 指向 m_2 的单位矢量。重力是地球对其表面附近物体的引力引起的。在忽略地球自转的情况下，地球对其表面附近的物体的万有引力就是习惯上所说的物体的重力。

弹性力　当相互接触的物体因碰撞、挤压、拉伸等作用而发生形变时，由于物体具有弹性，它要力图恢复原来的形状，因而对使它发生形变的那些接触物就有力的作用，这种力称为弹性力。常见的弹性力有弹簧与物体间的弹性力、绳子

的张力、重物与支撑面之间的作用力等。

摩擦力 当两物体相接触并有相对滑动或相对滑动趋势时,两物体都将受到与其相对滑动或相对滑动趋势相反的力,这一对力是作用力和反作用力,作用于不同物体上,都称为摩擦力。发生相对滑动时称为滑动摩擦力,有相对滑动趋势时称为静摩擦力。

3. 惯性系和非惯性系 惯性力

惯性系 物体运动遵从牛顿运动定律的参考系称为惯性参考系,简称惯性系。

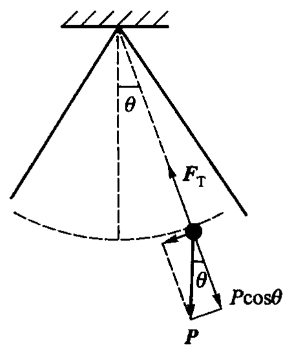
非惯性系 凡是牛顿运动定律不适用的参考系称为非惯性系。

惯性力 惯性力的大小等于非惯性系的加速度与物体质量的乘积,方向与非惯性系的加速度相反。惯性力是虚拟力,它不是真实力,没有施力物体。

二、思考及解答

2-1 一探险者欲往山涧对面,他将拴有绳子的锚钩掷到山涧对面一棵大树上,并使之固定。探险者将绳的另一端拴在腰上并拉直,然后荡过山涧,落在山涧对面的地上。你能说明探险者在荡过山涧的过程中绳的张力在什么位置最大吗?

答:此问题可以简化成将探险者视为质点且绳子的质量略去不计的模型。如问题2-1图所示,设绳长为l,重物质量为m。



问题2-1图

由受力情况有

$$F_T - mg\cos\theta = m\frac{v^2}{l}$$

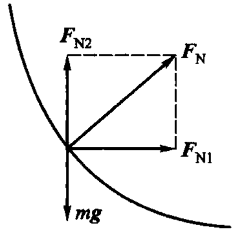
$$F_T = mg\cos\theta + m\frac{v^2}{l}$$

由机械能守恒定律知,当$\theta=0$时,$v=v_{max}$。由上式可知,在重物摆至最低点时绳子的张力最大,所以,本题答案应该是当探险者在荡至锚钩下方时绳的张力最大。

2-2 一车辆沿弯曲公路运动。试问作用在车辆上的力的方向是指向道路外侧,还是指向道路的内侧?

答:由运动学知识,速度变化的方向总是沿轨道的弯曲方向的内侧,因此,加速度乃至物体受合力方向也指向曲线内侧。所以本题所问的车辆受力方向一定指向道路的内侧(见问题2-2图),若公路是有倾斜度的,则受到指向内侧的力

可能来自地面的支持力和摩擦力；若公路无倾斜度，则车受到指向内侧的力只能来自地面的摩擦力。



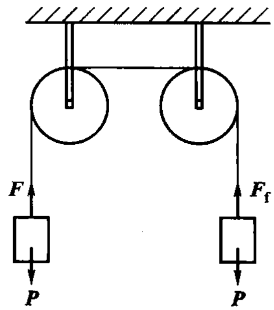
问题 2－2 图

2－3　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和高度均与猴子相等的镜子。开始时，猴子与镜子在同一水平面上。猴子为了不看到镜中的猴像，它做了下面三项尝试：(1) 向上爬；(2) 向下爬；(3) 松开绳子自由下落。这样猴子是否就看不到它在镜子中的像？

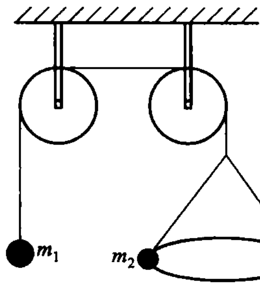
答：① 从二者受力情况看，如问题 2－3 图所示，F 为绳子对镜子的拉力，F_f 为猴子受到的绳子对它的摩擦力，且 $F=F_f$。所以由牛顿第二定律知：二者的运动状态相同。

② 从角动量守恒看，二者在任意时刻的速度的值相等，即 $\boldsymbol{v}_1=\boldsymbol{v}_2$。所以，题中三种情况猴子皆能看见自己的像。

2－4　如问题 2－4 图所示，轻绳与定滑轮间的摩擦力略去不计，且 $m_1=2m_2$。若使质量为 m_2 的两个物体绕公共竖直轴转动，两边能否保持平衡？



问题 2－3 图



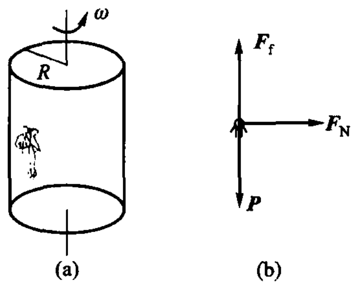
问题 2－4 图

答：当 m_2 的转动稳定时，两边能保持平衡。方法一，因为 m_2 的运动是在水平面内，两边绳所受拉力在竖直方向的分量相等，且皆等于两小球的重力，所以两边平衡。方法二，若将 m_1 和两个 m_2 及绳看做一个系统，由于此系统在滑轮两侧绳的竖直方向的重力 m_1g 和 $2m_2g$，大小相等，且方向相反，因此，在沿绳方向系统保持平衡。

2－5　如问题 2－5 图(a)所示，一半径为 R 的木桶，以角速度 ω 绕其轴线转动。有一人紧贴在木桶壁上，人与木桶间的静摩擦因数为 μ_0。你知道在什么情形下，人会紧贴在木桶壁上而不掉下来吗？

答：设人的质量为 m，人的受力情况如问题 2－5 图(b)所示。因为，当人以

角速度 ω 绕轴转动时,其法向加速度为 a_n,故最大静摩擦力 $F_f=\mu_0 N=\mu_0 m a_n=\mu_0 m\omega^2 R$,当 $F_f\geqslant mg$ 时,人与桶壁之间出现静摩擦力 F_f,且始终能保证 $F_f=mg$,人不会掉下,即 $\mu_0\omega^2 R\geqslant g$,所以 $\omega\geqslant\sqrt{\dfrac{g}{\mu_0 R}}$ 为人不掉下的旋转条件。



问题 2-5 图

2-6 已知太阳的质量约为 2.0×10^{30} kg。设太阳绕银河中心运动的轨道为圆形,每转一圈所经历的时间约为 2.5×10^8 年。如果设想银河系中所有恒星都可看成类似太阳那样的恒星,并认为恒星系中所有行星、彗星及宇宙尘埃的质量较之恒星的质量都可略去不计。那么你能估计出银河系中有多少颗类似于太阳的恒星吗?

答:本题假设太阳处于银河系边缘,且恒星分布均匀,则银河系中心,即为质量的中心,那么,太阳(设质量为 m)绕中心旋转所受的力即为银河系中除太阳之外的其他恒星的吸引力的合力,指向中心。设银河系恒星质量为 M,则有

$$G\frac{Mm}{R^2}=mR\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$$

$$M=\frac{4\pi^2R^3}{GT^2}$$

太阳距银河系中心距离 $R\approx5.6\times10^{20}$ m ,所以类太阳恒星数为

$$n=\frac{M}{m}=\frac{4\pi^2R^3}{GmT^2}=\frac{4\times3.14^2\times(5.6\times10^{20})^3}{6.67\times10^{-11}\times2.0\times10^{30}\times(2.5\times10^8\times365\times24\times3\ 600)^2}\approx8.37\times10^{31}$$

2-7 在升降机中有一只海龟,如问题 2-7 图所示。在什么情况下,海龟会"飘浮"在空中?

答:海龟受力如问题 2-7 图所示,由动力学方程 $\boldsymbol{P}+\boldsymbol{F}_N=m\boldsymbol{a}$ 得

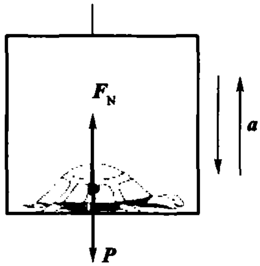
$$\boldsymbol{F}_N=m\boldsymbol{a}-m\boldsymbol{g}$$

当 $\boldsymbol{a}/\!/-\boldsymbol{g}$ 时,则

$$\boldsymbol{F}_N/\!/-\boldsymbol{g},\text{且}|\boldsymbol{F}_N|\neq0$$

海龟不会"漂浮"。当 $\boldsymbol{a}/\!/\boldsymbol{g}$,且 $|\boldsymbol{a}|>|\boldsymbol{g}|$ 时,则

$$\boldsymbol{F}_N/\!/\boldsymbol{g}$$



问题 2-7 图

这是不可能的,因为升降机底板只能提供向上的作用力。所以,海龟"漂浮"。

2-8 在空间站中的宇航员"没有重量",你怎样判断地球引力对他的影响呢?