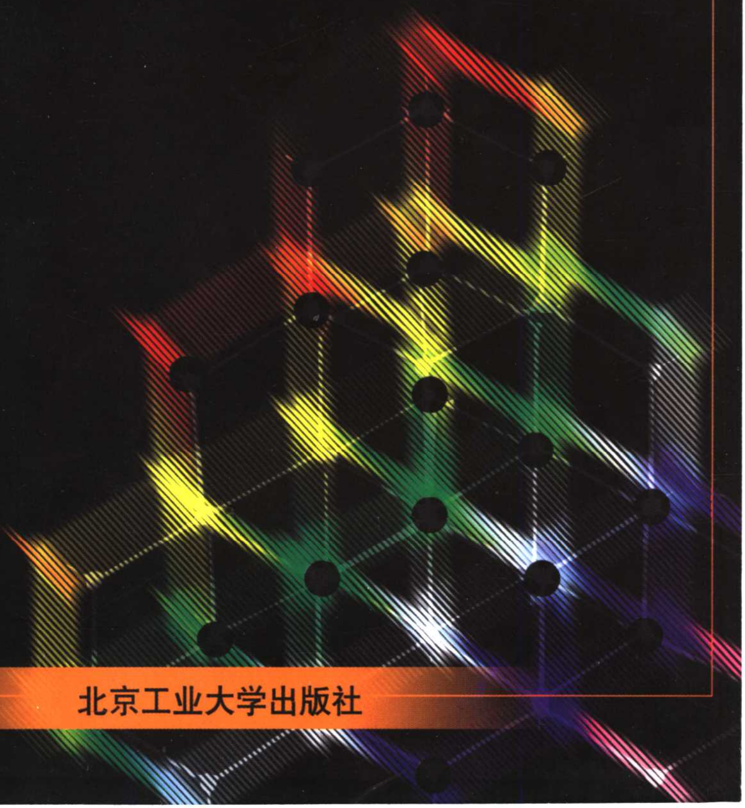
DAXUE WULI
GAINIAN FENXI
YU JIETI ZHIDAO

大学物理概念分析与解题指导

徐永安　陈道祥　孙同明　编著



北京工业大学出版社

大学物理概念分析与解题指导

徐永安　陈道祥　孙同明　　编著

北京工业大学出版社

图书在版编目（CIP）数据

大学物理概念分析与解题指导/徐永安，陈道祥，孙同明编著 .—北京：北京工业大学出版社，2003.2
ISBN 7-5639-1227-4

Ⅰ.大... Ⅱ.①徐...②陈...③孙... Ⅲ.物理学-高等学校-教学参考资料 Ⅳ.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2003）第 003140 号

大学物理概念分析
与解题指导
徐永安 陈道祥 孙同明 编著
*
北京工业大学出版社出版发行
邮编：100022 电话：（010）67392308
各地新华书店经销
河南亚星印刷厂印制
*
2003 年 2 月第 1 版 2003 年 2 月第 1 次印刷
850mm×1168mm 32 开本 17.5 印张 451 千字
印数：1~5000 册
ISBN 7-5639-1227-4/G·681
定价：21.00 元

前　言

物理学是研究物质运动普遍规律和物质基本结构的科学,是自然科学中最基本的学科之一。物理学一直在科学、技术乃至科学思想的发展中发挥着极其重要的作用,对人类的文明产生了巨大影响.从20世纪80年代开始至今,正在迅猛发展的高新科技,绝大部分直接或间接地同物理学相关联,很难找到一个高科技领域是和物理学无关的.事实已经证明,物理学理论的任何一项重大突破都将引发一系列现代科学技术的诞生.因此,在高等院校培养新世纪高素质人才的过程中,大学物理是一门重要的基础理论课,它对于培养学生的科学素质和创新能力起着不可替代的重要作用.

学好大学物理首先要了解本门课程的知识结构,掌握基本概念和基本规律;其次要学会科学地思维,全面地分析,正确地解决实际问题.这就需要结合教材内容,做一定数量的练习题,通过独立思考和反复练习,以达到不断地巩固和深化内容,真正提高提出问题、分析问题、解决问题的能力.为此目的,作者根据大学物理课程的基本要求,结合在大学物理教学中长期积累的经验和近年来面向21世纪教改的体会,编写了这本《大学物理概念分析与解题指导》.

本书共18章,覆盖了大学物理教学的全部内容.每章按四个模块编写,即:基本要求、内容提要、概念分析和解题指导.提出基本要求,有利于读者在学习中抓住要求、分清主次.在内容提要中,简练、准确地小结本章的各个知识点及基本概念、基本规律和重要公式及使用该公式的条件.概念分析着重对物理学概念及原理的

表述,物理定义、定理与定律的表述,以及对科学实践、日常生活等方面出现的基本物理概念进行科学、细致的分析,通过对这些难于理解,易于混淆的概念及学习中常犯的错误的分析,使读者知道错误所在,进而建立正确的物理概念.这也是学好物理学、解好物理题的关键.本书共有180余道这样的题.考虑到不同层次、不同水平的读者的需要,解题指导部分共有250余道题目,可分为一般难度、较大难度和实际应用三部分.第一部分属于基本题,通过分析求解这些题,使读者理解、掌握物理学定义、定理和定律及其表达式的意义;第二部分属于提高题,通过对具体问题的题意分析,理解现象或过程,确定内在联系,明确解题步骤,把握解题的关键,找到解题方法,最终达到提高分析问题和解决问题的能力;最后还有少数属于实际应用的题,通过对现代科学技术前沿,日常科研、生产、生活实际提炼出的物理问题的分析求解,使读者更加了解物理学在了解自然、认识自然及与大自然协调,和谐发展中的地位与作用.

本书的编写没有针对某一本具体教材,因而可作为独立的大学物理学习的辅导材料,它不仅适合于理工科院校的大学生和职大、电大、夜大等成人高校的学生,也适合于自考的朋友,同时还可作为高校物理教师的参考书.

由于编者水平所限,书中错误和不当之处在所难免,恳请读者朋友不吝赐教.

编　者

目　　录

第一章 质点运动学

一、基本要求

1.理解质点概念及其理想模型的意义,并理解参考系和惯性系的意义.

2.掌握位置矢量、位移、速度和加速度等描述质点运动和运动变化的物理量,明确这些基本物理量的矢量性、相对性和瞬时性.

3.理解运动方程的物理意义及其作用,能用运动方程确定质点的位置、位移、速度和加速度,也能用速度或加速度与初始条件确定运动方程.

4.理解相对性原理,能分析简单的质点相对运动问题.

二、内容提要

1.质点参考系

质点是理想模型,与后面各章中出现的刚体、理想气体、点电荷、绝对黑体等一样,具有科学方法论的重大意义.解题中,要注意这些理想模型提出的依据、条件和它所解决的问题.

要描述物体的运动,必须选定参考系;选取的参考系不同,运动的描述也不同.为了定量描述物体的运动,还必须在参考系上选取一个与其固连的坐标系.适当选择参考系和坐标系,可以简化运动的描述.

2.位置矢量、位移

位置矢量:反映质点某一时刻在空间的位置.在直角坐标系中,可表示为

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

运动方程:质点的位置和时间的函数关系,即

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

或

$$x=x(t),y=y(t),z=z(t)$$

运动方程在运动学中地位很重要,因为只要知道运动方程,便可以求得轨道方程、速度和加速度等,也就是说,已知运动方程则质点的运动就会知道了.

位移:描述质点在 t ~ t + Δt 时间内位置变化的大小和方向,即由起点 $A(t)$指向终点 $B(t+\Delta t)$的有向线段,表示为

$$\Delta\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}_B-\boldsymbol{r}_A=(x_2-x_1)\boldsymbol{i}+(y_2-y_1)\boldsymbol{j}+(z_2-z_1)\boldsymbol{k}$$

3. 速度

速度是描述质点位置变化快慢的物理量,即

$$\boldsymbol{v}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j}+\frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{k}=v_x\boldsymbol{i}+v_y\boldsymbol{j}+v_z\boldsymbol{k}$$

4. 加速度

加速度是描述质点运动速度变化快慢的物理量,可用公式表示为

$$\boldsymbol{a}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j}+\frac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{k}$$

$$=\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{j}+\frac{\mathrm{d}^2z}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{k}$$

位置矢量、位移、速度、加速度等都具有矢量性、瞬时性、叠加性和相对性.

5. 相对运动

一质点相对于两个相对作平动的参考系的速度间的关系为

$$\boldsymbol{v}_{绝对}=\boldsymbol{v}_{相对}+\boldsymbol{v}_{牵连}$$

式中 $\boldsymbol{v}_{绝对}$是质点相对于绝对坐标系(定坐标系)的速度,叫绝对速度;$\boldsymbol{v}_{牵连}$是动坐标系相对于定坐标系的平动速度叫做牵连速度;$\boldsymbol{v}_{相对}$是质点相对于动坐标系的速度,叫做相对速度.

加速度间的关系为

$$\boldsymbol{a}_{绝对}=\boldsymbol{a}_{相对}+\boldsymbol{a}_{牵连}$$

式中 $\boldsymbol{a}_{绝对}$ 是绝对加速度，$\boldsymbol{a}_{相对}$ 叫相对加速度，$\boldsymbol{a}_{牵连}$ 是牵连加速度.

6.运动学的两类问题

(1) 已知运动方程 $\boldsymbol{r}(t) = x(t)\boldsymbol{i} + y(t)\boldsymbol{j} + z(t)\boldsymbol{k}$，求速度 $\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}(t)$、加速度 $\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}(t)$.解这类问题通常采用求导的方法.

(2) 已知加速度 $\boldsymbol{a}$ 和初始条件 $\boldsymbol{r}_0$、$\boldsymbol{v}_0$ 求运动方程 $\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(\mathrm{t})$.解这类问题通常采用积分的方法.

三、概念分析

1.回答下列问题

(1) $|\Delta\boldsymbol{r}|$ 与 Δr 有何区别？$\left|\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}\right|$ 与 $\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$ 有何区别？

(2) 路程和位移有何区别？速度和速率有何区别？

答：(1) $|\Delta\boldsymbol{r}|$ 是 Δt 时间内位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 增量的模，即位移的大小；Δr 则是 Δt 时间内位矢 $\boldsymbol{r}$ 大小的增量.图 1-1 中，$|\Delta\boldsymbol{r}| = \overline{P_1P_2}$，而 $\Delta r = \overline{P'P_2}$

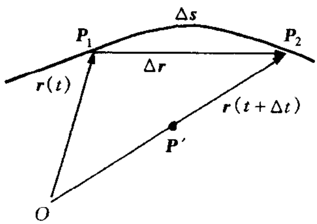


图 1-1

$\left|\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}\right|$ 是速度 $\boldsymbol{v}$ 随时间变化率的大小，即加速度的大小；$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$ 是加速度的切向分量.

(2) 路程是质点在一段时间内在运动轨道上实际经历的路径长度，是标量，只取正值；位移是质点在一段时间内由起点指向终点的有向线段，是矢量.图 1-1 中路程 $\Delta s = \widehat{P_1P_2}$ 是弧长，而位移 $\Delta\boldsymbol{r} = \overrightarrow{P_1P_2}$ 是矢量.

速率是速度的大小.速度是矢量，速率是标量，且只取正值.

2.一质点作斜抛运动，用 t 代表落地时间

(1) 说明下面三个积分的意义

$$\int_o^t v_x \mathrm{d}t; \quad \int_o^t v_y \mathrm{d}t; \quad \int_o^t \boldsymbol{v} \mathrm{d}t$$

(2) 用 A 和 B 代表抛出点和落地位置，说明下面三个积分的意义

$$\int_A^B \mathrm{d}\boldsymbol{r};\quad \int_A^B |\mathrm{d}\boldsymbol{r}|;\quad \int_A^B \mathrm{d}r$$

答: (1) 设抛出点为坐标原点，x 轴沿水平方向，y 轴沿竖直向上. 若抛射体在飞行时间内的水平射程为 R，则

$\int_0^t v_x \mathrm{d}t = \int_0^t \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\mathrm{d}t = \int_0^x \mathrm{d}x = R$ 表示水平方向的总位移

$\int_0^t v_y \mathrm{d}t = \int_0^t \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\mathrm{d}t = \int_0^y \mathrm{d}y = O$ 表示竖直方向的总位移

$\int_0^t \boldsymbol{v} \mathrm{d}t = \int_0^t \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}\mathrm{d}t = \int_0^r \mathrm{d}\boldsymbol{r} = R\boldsymbol{i}$ 表示总位移

(2) $\int_A^B \mathrm{d}\boldsymbol{r} = \overline{AB}\boldsymbol{i} = R\boldsymbol{i}$ 位移.

$\int_A^B |\mathrm{d}\boldsymbol{r}|$ 和 $\int_A^B \mathrm{d}r$ 都表示飞行路径的总长度.

3. 湖中有一小船，岸上有人用绳子跨过定滑轮用恒定的速率 v_0 拉船靠岸，如图 1-2 所示.

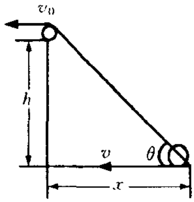


图 1-2

(1) 缆绳上各点的速率相同吗?

(2) 有人认为船的速度为 $v = v_0\cos\theta$（θ 是缆绳与水平面间的夹角），对不对? 为什么?

(3) 还有人认为，若设船为运动的质点，以岸上滑轮处为原点，则 $v_0 = \left|\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}\right|$ 对不对? v_0 的物理意义是什么?

答: (1) 现取绳上任意两点 A 和 B，取地面为参考系. 当绳子以恒定速率 v_0 收船靠岸，若经过时间 Δt，A 点运动到 A' 点，B 点运动到 B' 点. 由图 1-3 可见，二者移动的距离不同，位移的方向也不同. 因此绳上各点的移动速度都不相同. 这一点还可以这样来理解，绳上各点的运动是既有平动又有转动（绕定滑轮），是两种运动的合成. 所以，绳上各点的速度是不相同的，而 v_0 是绳上各点沿绳

方向运动的速率，它不代表绳上各点的运动速率.

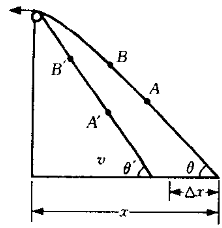


图 1-3

(2) 如果认为 v_0 是船头的速率，运动方向沿着绳，那么，船沿水面的运动速度是这一速度的水平分量，则 $v = v_0\cos\theta < v_0$. 显然，这是不对的. 从图 1-3 可以看出，船行走了 Δx 后，绳与水平面夹角由 θ 变成了 θ'，而绳缩短了 Δr，其关系为 $\frac{\Delta r}{|\Delta x|} = \cos\theta$. 由于 $|v| = \frac{|\mathrm{d}x|}{\mathrm{d}t}$，$v_0 = \left|\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}\right|$，所以，应有 $v_0 = v\cos\theta$，而不是 $v = v_0\cos\theta$.

(3) 将滑轮视为质点，建立如图 1-3 坐标. 由图看出，在岸上匀速收绳的过程中，绳与水平面的夹角是逐渐增大的，($\theta' > \theta$)，$\cos\theta$ 值减小，由关系式 $\frac{\Delta r}{|\Delta x|} = \cos\theta$，可知 $\frac{\Delta r}{|\Delta x|}$ 的值是减小的，若时间间隔相同，Δr 相同，则 $|\Delta x|$ 必然增大. 可见船的速率 v 在增大，而不是以 v_0 速率均匀地移动，所以 $v_0 \neq \left|\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}\right|$.

四、解题指导

1. 如图 1-4 所示，一质点从 O 点出发，以恒定速率 v 作逆时针旋转的圆周运动，圆周半径为 R，试求：

(1) 该质点的运动方程；

(2) 质点自 O 点走过 1/6 圆周这段时间内的平均速度；

(3) 质点自 O 点走过 1/2 圆周这段时间内的平均加速度.

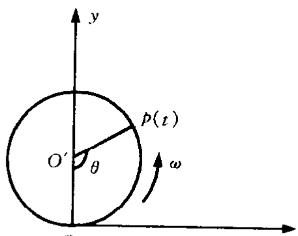


图 1-4

解: 本题要搞清角速度与线速度的关系. 如图 1-4，质点的角速度 $\omega = v/R$，转过的角度 $\theta = \omega t = \frac{vt}{R}$，建立如图 1-4 的坐标.

(1) $x = R\sin(\pi - \omega t) = R\sin\omega t = R\sin\dfrac{vt}{R}$

$$y = R + R\cos(\pi - \omega t) = R(1 - \cos\omega t) = R(1 - \cos\frac{vt}{R})$$

(2) 转过 1/6 圆周所需时间 $\Delta t = t = \dfrac{\pi R}{3v}$,这段时间内的位移为

$$\Delta x = R\sin\frac{v}{R}t = R\sin\frac{\pi}{3} = \frac{\sqrt{3}}{2}R$$

$$\Delta y = R(1 - \cos\frac{v}{R}t) = R(1 - \cos\frac{\pi}{3}) = \frac{R}{2}$$

因此,平均速度分量为

$$\bar{v}_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{3\sqrt{3}v}{2\pi}, \quad \bar{v}_y = \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{3v}{2\pi}$$

平均速度的大小为

$$|\bar{v}| = \sqrt{\bar{v}_x^{\,2} + \bar{v}_y^{\,2}} = \frac{3v}{\pi}$$

平均速度的方向与 x 轴正向的夹角为

$$\alpha = \arctan\frac{\Delta y}{\Delta x} = \arctan\frac{1}{\sqrt{3}} = 30°$$

(3) 走过 1/2 圆周需时间 $\Delta t = \pi R/v$,初速度 $\boldsymbol{v}_0 = v\boldsymbol{i}$,末速度 $\boldsymbol{v} = -v\boldsymbol{i}$,所以 $\Delta\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v} - \boldsymbol{v}_0 = -2v\boldsymbol{i}$,平均加速度为

$$\bar{\boldsymbol{a}} = \frac{\Delta\boldsymbol{v}}{\Delta t} = -\frac{2v^2}{\pi R}\boldsymbol{i}$$

2. 已知质点的运动方程 $\boldsymbol{r} = 2t\boldsymbol{i} + (2 - t^2)\boldsymbol{j}$(SI 制),试求:

(1) 质点的运动轨迹;

(2) $t = 0$ 及 $t = 2$ 秒时质点的位矢;

(3) $t = 0 \sim 2$ 秒间位移的大小与路程 Δs;

(4) $t = 0$ 及 $t = 2$ 秒时的速度;

(5) 质点在头 2 秒内的平均速度;

(6) 求出加速度.

解:本题属于运动学的第一类问题,即已知运动方程求位矢、速度、加速度.

(1)由 $x = 2t, y = 2 - t^2$,消去 t,得轨迹方程

$$y = 2 - \frac{x^2}{4}$$

可见,其轨迹是一抛物线,如图 1-5 所示.

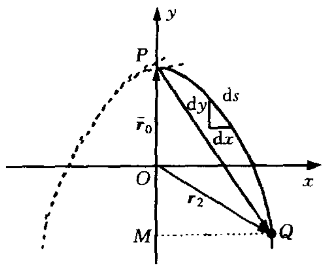


图 1-5

(大家可以想一想,抛物线有无左半支,为什么?)

(2)$t = 0$ 时,$\boldsymbol{r}_0 = 2\boldsymbol{j}$;$t = 2$ 秒时,$\boldsymbol{r}_2 = 4\boldsymbol{i} - 2\boldsymbol{j}$.

(3)质点在头 2 秒内的位移的大小就是图 1-5 中 PQ 的长度,即

$$\overline{PQ} = \sqrt{\overline{PM}^2 + \overline{MQ}^2} = \sqrt{4^2 + 4^2} = 5.66$$

质点在头 2 秒内的路程 Δs 就是图 1-5 中 $\overset{\frown}{PQ}$,则

$$\Delta s = \overset{\frown}{PQ} = \int_P^Q \mathrm{d}s = \int_P^Q \sqrt{(\mathrm{d}x)^2 + (\mathrm{d}y)^2}$$

$$= \int_P^Q \sqrt{(\mathrm{d}x)^2 + \left(-\frac{1}{2}x\mathrm{d}x\right)^2}$$

所以

$$\Delta s = \int_0^4 \frac{1}{2}\sqrt{4 + x^2}\mathrm{d}x = 5.91$$

可见,位移的大小与路程并不相等.

(4)因 $\boldsymbol{v} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t} = 2\boldsymbol{i} - 2t\boldsymbol{j}$,所以 $\boldsymbol{v}_0 = 2\boldsymbol{i}, v_0 = |\boldsymbol{v}_0| = 2, \theta_0 = 0$,式中 θ_0 为 v_0 与 x 轴的夹角.

$$\boldsymbol{v}_2 = 2\boldsymbol{i} - 4\boldsymbol{j}, v_2 = |\boldsymbol{v}_2| = \sqrt{20} = 4.47, \theta_2 = -63°26'$$

(5)$\overline{\boldsymbol{v}_2} = \frac{\boldsymbol{r}_2 - \boldsymbol{r}_0}{\Delta t} = \frac{4\boldsymbol{i} - 2\boldsymbol{j} - 2\boldsymbol{j}}{2} = 2\boldsymbol{i} - 2\boldsymbol{j}$

$$|\overline{\boldsymbol{v}_2}| = \sqrt{2^2 + 2^2} = 2\sqrt{2} = 2.83$$

$\overline{\boldsymbol{v}_2}$ 与 x 轴的夹角 $\theta = -45°$.

(6) $\boldsymbol{a} = \dfrac{d\boldsymbol{v}}{dt} = -2\boldsymbol{j}$

3. 一质点在 xOy 平面内运动，其运动方程为 $\boldsymbol{r} = a\cos\omega t\boldsymbol{i} + b\sin\omega t\boldsymbol{j}$，其中 a, b, ω 均为大于零的常量.

(1) 试求质点在任意时刻的速度；

(2) 证明质点运动的轨道为椭圆；

(3) 证明质点的加速度恒指向椭圆中心.

解：(1) 质点在任意时刻的速度 $\boldsymbol{v} = \dfrac{d\boldsymbol{r}}{dt} = -a\omega\sin\omega t\boldsymbol{i} + b\omega\cos\omega t\boldsymbol{j}$.

(2) 由 $x = a\cos\omega t, y = b\sin\omega t$ 消去 t，可得轨道方程

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

可见其是椭圆方程，表明质点作椭圆运动.

(3)加速度

$$\boldsymbol{a} = \frac{d\boldsymbol{v}}{dt} = -\omega^2(a\cos\omega t\boldsymbol{i} + b\sin\omega t\boldsymbol{j}) = -\omega^2\boldsymbol{r}$$

因为 $\omega^2 > 0$，所以 $\boldsymbol{a}$ 的方向恒与 $\boldsymbol{r}$ 反向，即 $\boldsymbol{a}$ 恒指向椭圆中心.

4. 障碍赛运动员乘摩托车跳跃一个大矿坑. 他向着与水平成 22.5°夹角的方向以 65 $m\cdot s^{-1}$的初速度从坑的西边起跳，准确地落在坑的东边. 已知坑东边比西边低 70 m，忽略空气阻力，取 $g = 10\ m\cdot s^{-2}$，试求：

(1)矿坑的宽度及飞跃所需的时间；

(2)落地时速度的大小和方向.

解：以起跳点为坐标原点，x 轴向东，y 轴向上.

(1)运动方程为

$$x = tv_0\cos\alpha$$