大学物理

学习指导与习题解答

●主编　施建青
●编者　施建青　徐志君　林国成

浙江科学技术出版社

大学物理

学习指导与习题解答

主编 施建青
编者 施建青 徐志君 林国成

浙江科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学习指导与习题解答/施建青主编. —杭州：浙江科学技术出版社，2010.9

ISBN 978-7-5341-3890-4

Ⅰ. ①大… Ⅱ. ①施… Ⅲ. ①物理学—高等学校—教学参考资料 Ⅳ. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 152504 号

书　　名	**大学物理学习指导与习题解答**
主　　编	施建青
编　　者	施建青　徐志君　林国成

出版发行	浙江科学技术出版社 杭州市体育场路 347 号　邮政编码：310006 联系电话：0571－85170300－61712 E-mail:cl@zkpress.com
排　　版	杭州大漠照排印刷有限公司
印　　刷	杭州大众美术印刷厂
经　　销	全国各地新华书店

开　　本	787×1092　1/16	印　张	24.25
字　　数	575 000		
版　　次	2010 年 9 月第 1 版		2011 年 1 月第 2 次印刷
书　　号	ISBN 978－7－5341－3890－4	定　价	38.00 元

策划组稿	陈　岚　张祝娟	**封面设计**	孙　菁
责任校对	马　融	**责任印务**	崔文红

前言

大学物理是高等学校理工科各专业学生的一门非常重要的通识性必修基础课。通过大学物理的学习，学生对物理学的基本概念、基本理论和基本方法会有比较系统的认识和正确的理解，为后续的专业学习打下坚实的基础。

对于一年级的学生而言，学习大学物理时常常会感到困难，原因有两个：一是教学内容多，知识要点难以系统掌握；二是分析应用能力难以从心，解题困难。本书正是为了帮助学生克服学习的困难而编写的，旨在帮助学生掌握知识要点，理解物理概念和规律，理清知识脉络，弄懂物理思想方法，总结、归纳解题思路、方法和技巧，突出学习的重点和难点，提高正确运用物理思想分析问题和解决问题的能力。

施建青主编的《大学物理学(上、下册)》(以下简称教材)是教育部普通高等教育"十一五"国家级规划教材，已于2009年在高等教育出版社出版。本书是与教材相配套的学习指导用书，章节顺序和教材相同，每章包括基本要求、内容提要、基本题型、典型题解和习题解答5个部分。本书共有典型题解147题，习题解答330题(包括了教材中所有习题的解答)。

本书内容是按照教育部理工科大学物理课程教学的基本要求编写的，围绕基本要求，对各章的公式、定理、概念等进行了全面的总结，重点突出，语言流畅，富有启发性。例题和习题具有一定代表性，内容广泛，涵盖了理工科各专业大学物理教学的主要知识点。典型例题和习题的难度有高低之分，适合不同类型、不同层次的学生学习。

本书适用于64～128学时的理工科专业的大学物理课程教学。本书既可以作为理工科专业学生的大学物理课程学习的指导用书，也可以作为浙江省大学生物理创新竞赛理论考试的学习资料。本书的教学内容和教学安排与浙江省大学生物理创新竞赛理论考试大纲的内容和要求一致，许多例题和习题在一定程度上也体现了浙江省大学生物理创新竞赛理论

考试的要求。本书还可以作为专科院校、函授、电视大学、夜大学学生的学习参考用书。

本书是浙江工业大学基础物理系课程国家级教学团队多年教学实践和经验的结晶，得到了浙江工业大学应用物理系老师和学生们的关心、指导和帮助，也得到了省内外同行的帮助，参考了一些相关的参考书和资料，在此对他们致以衷心的感谢。

书中的不足、不妥之处，敬请批评、指正。

编　者

2010 年 4 月

Contents 目录

第 1 章　运动的描述

基本要求

1. 掌握位置矢量、位移、速度、加速度等描述物体运动和运动变化的物理量。理解这些物理量的矢量性、相对性和瞬时性。

2. 理解质点圆周运动的角量描述以及角量与线量之间的关系。

3. 熟练掌握运动学两类基本问题的求解方法。

4. 理解速度、加速度的变换公式，会用变换公式求解相对运动的问题。

内容提要

1. 概念

(1) 质点、质点系和刚体。

① 质点。只有质量、没有形状和体积的理想物体(几何点)。

② 质点系。许多质点的集合。

③ 刚体。在外力作用下物体的形状、体积都保持不变的物体。

(2) 参考系、坐标系、惯性系和非惯性系。

① 参考系。在描述物体运动时选择参考的物体(或物体系)。

② 坐标系。为了定量确定一个物体相对于某参考系的位置，需要在参考系上选用一个固定的坐标系，而物体的位置就由它在此坐标系中的坐标确定。最常用的坐标系是直角坐标系，其他坐标系还有自然坐标系、平面极坐标系、柱面坐标系和球坐标系。

③ 惯性系。对某一特定物体，惯性定律成立的参考系。

④ 非惯性系。对某一特定物体，惯性定律不成立的参考系。

2. 质点运动的直角坐标描述

(1) 位置矢量(位矢、矢径)。如图 1－1 所示，在直角坐标系中位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 表示为

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

位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 的大小为

$$r = |\boldsymbol{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

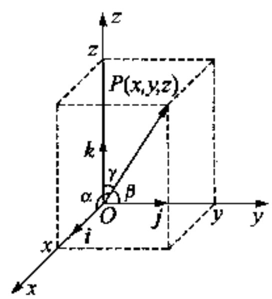

图 1－1

位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 的方向由 $\boldsymbol{r}$ 的方向余弦决定

$$\cos\alpha = \frac{x}{r}, \cos\beta = \frac{y}{r}, \cos\gamma = \frac{z}{r}$$

式中,α、β、γ 分别为 $\boldsymbol{r}$ 与 x 轴、y 轴和 z 轴正方向的夹角,它们之间的关系为

$$\cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma = 1$$

(2) 运动学方程。质点的运动位置是关于时间的函数,这就是质点的运动方程,即

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

用直角坐标系表示,则有

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

其分量式为

$$x = x(t)$$

$$y = y(t)$$

$$z = z(t)$$

上式实际上就是以时间为参量的轨迹方程。消去时间 t,就可以得到普遍的轨迹方程,即直角坐标方程。对平面运动来说,分量式为

$$x = x(t)$$

$$y = y(t)$$

消去 t 后,轨道方程为

$$y = f(x)$$

(3) 位移。如图 1-2 所示,质点在 t_1 时刻的位置矢量(简称位矢)为 $\boldsymbol{r}_1$,在 t_2 时刻的位矢为 $\boldsymbol{r}_2$,在 t_1 到 t_2 的时间内质点的位移 $\Delta\boldsymbol{r}$ 为

$$\Delta\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_2 - \boldsymbol{r}_1 = \Delta x\boldsymbol{i} + \Delta y\boldsymbol{j} + \Delta z\boldsymbol{k}$$

位移的大小为

$$|\Delta\boldsymbol{r}| = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2}$$

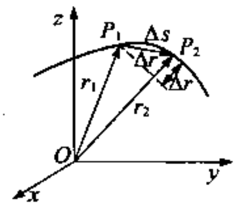

图 1-2

方向也可以用方向余弦来表示。

关于位移,需要注意以下两点:

① 位移 $\Delta\boldsymbol{r}$ 与路程 Δs 不同。位移表示质点位置的改变,不是质点所经历的实际路程。位移是矢量,而路程是标量。质点在 Δt 时间内实际经过的路程一般是大于等于位移的大小,总有 $\Delta s \geqslant |\Delta\boldsymbol{r}|$。只有做单向直线运动时,才有 $\Delta s = |\Delta\boldsymbol{r}|$,或者在 $\Delta t \to 0$ 的极限情况下,它们是相等的,即 $\mathrm{d}s = |\mathrm{d}\boldsymbol{r}|$。

② $|\Delta\boldsymbol{r}|$ 与 Δr 不同。Δr 代表 $|\boldsymbol{r}_2| - |\boldsymbol{r}_1|$,为两位矢的大小之差;而 $|\Delta\boldsymbol{r}| = |\boldsymbol{r}_2 - \boldsymbol{r}_1|$,为两位矢的矢量差的大小,一般总有 $|\Delta\boldsymbol{r}| \geqslant \Delta r$。只有在 $\boldsymbol{r}_1$ 和 $\boldsymbol{r}_2$ 方向相同的情况下,才有 $|\Delta\boldsymbol{r}| = \Delta r$。

(4) 速度。速度是描述物体运动快慢与方向的物理量。质点在 Δt 时间内的平均速度

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

在 Δt 时间内的平均速率为

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

注意平均速度与平均速率两者含义的不同。平均速率是标量，不考虑质点的运动方向。例如，质点沿圆周运动一周，其平均速度 $\boldsymbol{v} = 0$，因而其大小 $|\boldsymbol{v}| = 0$；而平均速率不等于零，平均速率等于圆周长除以运动时间。

质点的瞬时速度(简称速度)是质点位矢随时间的变化率，在直角坐标系中有

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

速度分量

$$v_x = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}, v_y = \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}, v_z = \frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}$$

速度大小

$$v = |\boldsymbol{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

方向也可以用方向余弦来表示。

(5) 加速度。加速度是描述物体速度变化的物理量。质点在 Δt 时间内的平均加速度

$$\boldsymbol{a} = \frac{\boldsymbol{v}_2 - \boldsymbol{v}_1}{\Delta t} = \frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t}$$

平均加速度的方向是速度变化的方向，即 $\Delta \boldsymbol{v}$ 的方向，不代表运动方向。

质点的瞬时加速度(简称加速度)是质点运动速度随时间的变化率，在直角坐标系中有

$$\boldsymbol{a} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i} + \frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j} + \frac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{k} = \frac{\mathrm{d}^2 x}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{i} + \frac{\mathrm{d}^2 y}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{j} + \frac{\mathrm{d}^2 z}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{k} = a_x\boldsymbol{i} + a_y\boldsymbol{j} + a_z\boldsymbol{k}$$

加速度分量

$$a_x = \frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2 x}{\mathrm{d}t^2}, a_y = \frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2 y}{\mathrm{d}t^2}, a_z = \frac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2 z}{\mathrm{d}t^2}$$

加速度大小

$$a = |\boldsymbol{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

加速度方向也可以用方向余弦来表示，总是指向曲线凹进的一侧。

3. 质点运动的自然坐标描述

质点做平面运动时，在已知运动轨迹的情况下，可采用自然坐标系来描述质点的运动。在轨迹曲线上取一点作为坐标原点，以质点与原点之间的轨迹长度 s 来确定质点的位置，称

s 为自然坐标。质点的运动方程为

$$s = s(t)$$

而在 t_1 到 t_2 的时间内，自然坐标之差就是质点运动的路程，即

$$\Delta s = s_2 - s_1$$

在任意时刻，于质点所在处，可取两个相互垂直的单位矢量 $\boldsymbol{e}_t$ 和 $\boldsymbol{e}_n$。其中，$\boldsymbol{e}_t$ 沿轨迹切线方向，指向质点运动的方向；$\boldsymbol{e}_n$ 沿轨迹法线方向，指向轨迹凹进的一侧。

在自然坐标系中，质点的运动速度为

$$\boldsymbol{v} = \frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{e}_t$$

速率为

$$v = \frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} = \frac{|\mathrm{d}\boldsymbol{r}|}{\mathrm{d}t}$$

在自然坐标系中，加速度可以分解为切向分量 a_t 和法向分量 a_n，即

$$\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}_t + \boldsymbol{a}_n = a_t\boldsymbol{e}_t + a_n\boldsymbol{e}_n = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{e}_t + \frac{v^2}{\rho}\boldsymbol{e}_n$$

切向加速度 $\boldsymbol{a}_t$ 的大小为

$$a_t = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$$

法向加速度 $\boldsymbol{a}_n$ 的大小为

$$a_n = \frac{v^2}{\rho}$$

切向加速度只是反应速度大小的变化；法向加速度只是反应速度方向的改变，并与运动轨迹的曲率有关。

在自然坐标系中，加速度的大小

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2}$$

加速度 $\boldsymbol{a}$ 与速度 $\boldsymbol{v}$ 的夹角 θ 为

$$\theta = \arctan\frac{a_n}{a_t}$$

4. 圆周运动角量的描述

(1) 角量。描述质点圆周运动的角量有 4 个：角位置、角位移、角速度和角加速度。

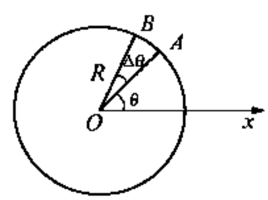

图 1-3

角位置是描述质点在圆周上的位置的物理量。如图 1-3 所示，位矢 $\boldsymbol{r}$ 与极轴(图中为 x 轴)的夹角 θ 确定质点在圆周上的位置，θ 称为对 O 点的角位置(或角坐标)。通常，规定从极轴沿逆时

针方向为正值，反之为负值。当质点运动时，角位置 θ 是关于时间 t 的函数，质点圆周运动的运动方程是

$$r = R, \theta = \theta(t)$$

在 Δt 时间内质点的角位移为

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$$

在任意时刻 t，质点的角速度为

$$\omega = \frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}$$

质点做逆时针方向转动时，ω 为正值，反之为负值。

角加速度为

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

当 α 与 ω 同号时，质点做加速运动；当 α 与 ω 异号时，质点做减速运动。

(2) 角量与线量的关系

$$\Delta s = R\Delta\theta$$

$$v = \omega R$$

$$a_t = \alpha R$$

$$a_n = \omega^2 R$$

5. 运动学的两类基本问题

(1) 第一类问题(微分问题)。已知质点的运动方程 $\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}(t)$，求质点在任意时刻的速度和加速度。这类问题用微分方法求解。

(2) 第二类问题(积分问题)。已知质点的加速度(或速度)随时间变化的关系和初始条件(即 $t=0$ 时刻的速度 $\boldsymbol{v}_0$ 和位矢 $\boldsymbol{r}_0$)，求质点在任意时刻的速度和运动方程。这类问题用积分方法求解。

需要注意的是，由加速度 $\boldsymbol{a}$ 求速度 $\boldsymbol{v}$ 时，根据函数的具体形式，应采用不同的方法。例如，对于一维运动，若已知 $a=a(t)$，可直接积分

$$\int_{v_0}^{v} \mathrm{d}v = \int_{t_0}^{t} a\,\mathrm{d}t$$

若已知 $a = a(v)$，先分离变量再积分

$$a(v) = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$$

$$\int_{t_0}^{t} \mathrm{d}t = \int_{v_0}^{v} \frac{\mathrm{d}v}{a(v)}$$

若已知 $a = a(x)$，先通过积分变量变换，换元后再积分

$$a(x)=\frac{dv}{dt}=\frac{dv}{dx}\cdot\frac{dx}{dt}=v\frac{dv}{dx}$$

$$\int_{x_0}^{x}a(x)dx=\int_{v_0}^{v}vdv$$

6. 几种简单的质点运动的规律

(1) 直线运动。

① 匀速直线运动

$$x=x_0+vt$$

② 匀变速直线运动

$$v=v_0+at$$

$$x=x_0+v_0t+\frac{1}{2}at^2$$

$$v^2-v_0^2=2a(x-x_0)=2as$$

③ 变速直线运动

$$v=v_0+\int_{t_0}^{t}adt$$

$$x=x_0+\int_{t_0}^{t}vdt$$

(2) 圆周运动。

① 匀速率圆周运动

$$\theta=\theta_0+\omega t, a_n=\omega^2R, a_t=0$$

② 匀变速圆周运动

$$\omega=\omega_0+\alpha t$$

$$\theta=\theta_0+\omega_0t+\frac{1}{2}\alpha t^2$$

$$\omega^2-\omega_0^2=2\alpha(\theta-\theta_0)=2\alpha\Delta\theta$$

③ 变速圆周运动

$$\omega=\omega_0+\int_{t_0}^{t}\alpha dt$$

$$\theta=\theta_0+\int_{t_0}^{t}\omega dt$$

(3) 一般曲线运动

$$\boldsymbol{v}=\boldsymbol{v}_0+\int_{t_0}^{t}\boldsymbol{a}\cdot dt$$

$$\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}_0+\int_{t_0}^{t}\boldsymbol{v}\cdot dt$$

在直角坐标系中,分量表达式为

$$v_x = v_{0x} + \int_{t_0}^{t} a_x \cdot \mathrm{d}t, x = x_0 + \int_{t_0}^{t} v_x \cdot \mathrm{d}t$$

$$v_y = v_{0y} + \int_{t_0}^{t} a_y \cdot \mathrm{d}t, y = y_0 + \int_{t_0}^{t} v_y \cdot \mathrm{d}t$$

$$v_z = v_{0z} + \int_{t_0}^{t} a_z \cdot \mathrm{d}t, z = z_0 + \int_{t_0}^{t} v_z \cdot \mathrm{d}t$$

(4) 抛体运动。包括平抛运动和斜抛运动。

7. 相对运动

用两个相对平动的参考系 S、S'可以来描述同一质点 P 的运动。如果 S'系相对于 S 系运动,其位置矢量的变换关系为

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}' + \boldsymbol{R}$$

式中,$\boldsymbol{r}$ 称为质点 P 的绝对位矢;$\boldsymbol{r}'$ 称为相对位矢;$\boldsymbol{R}$ 称为牵连位矢。

速度的变换关系为

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

式中,$\boldsymbol{v} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$是质点 P 相对于 S 系运动的速度,称为绝对速度;$\boldsymbol{v}' = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}'}{\mathrm{d}t}$是质点 P 相对于 S' 系运动的速度,称为相对速度;$\boldsymbol{u} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{R}}{\mathrm{d}t}$是 S' 系相对于 S 系运动的速度,称为牵连速度。

其加速度的变换关系为

$$\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}' + \boldsymbol{A}'$$

式中,$\boldsymbol{a} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}$是质点 P 相对于 S 系运动的加速度,称为绝对加速度;$\boldsymbol{a}' = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}'}{\mathrm{d}t}$是质点 P 相对于 S' 系运动的加速度,称为相对加速度;$\boldsymbol{A} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{u}}{\mathrm{d}t}$是 S' 系相对于 S 系运动的加速度,称为牵连加速度。

为了便于记忆,上面3式也可表示为

$$\boldsymbol{r}_{P对S} = \boldsymbol{r}_{P对S'} + \boldsymbol{r}_{S'对S}$$

$$\boldsymbol{v}_{P对S} = \boldsymbol{v}_{P对S'} + \boldsymbol{v}_{S'对S}$$

$$\boldsymbol{a}_{P对S} = \boldsymbol{a}_{P对S'} + \boldsymbol{a}_{S'对S}$$

基本题型

1. 已知质点的运动方程 $\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}(t)$,求质点的运动轨迹、速度和加速度。
2. 已知质点的加速度及初始条件,求速度和运动方程。
3. 已知质点的运动方程 $s=s(t)$,求质点的速度、切向加速度和法向加速度;或已知切向

加速度为时间或坐标等的函数以及必要的初始条件，求质点的速度、运动方程。

4. 由速度和加速度变换(伽利略变换)求解有关问题。

典型题解

例 1－1 已知质点的运动方程为

$$\boldsymbol{r} = 2t\boldsymbol{i} + (6 - 2t^2)\boldsymbol{j} \quad \text{(SI)}$$

试求：

(1) 质点的轨迹方程。

(2) 在 $t_1 = 1$ 和 $t_2 = 2$ 之间的 $\Delta\boldsymbol{r}$ 和 Δr。

(3) 在 $t_1 = 1$ 时的速度和加速度。

(4) 在什么时刻质点的位矢与速度矢量恰好垂直?

(5) 在什么时刻质点离原点最近?

分析 这是二维运动情况。在运动方程中，消去 t，即得轨迹方程。应注意区分 $\Delta\boldsymbol{r}$、Δr 和 Δs 的区别。根据矢量分析，当两个矢量 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 垂直时，则 $\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B} = 0$。计算质点离原点最近时，需要用求导方法得到极值。

解 (1) 按题意，质点在 Oxy 平面内运动，运动方程的分量式为

$$x = 2t,\ y = 6 - 2t^2$$

消去 t，得质点的轨迹方程

$$y = 6 - \frac{x^2}{2}$$

其轨迹为抛物线。

(2) 在 $t_1 = 1\text{s}$ 和 $t_2 = 2\text{s}$ 之间的 $\Delta\boldsymbol{r}$ 矢量为

$$\Delta\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t_2 = 2\text{s}) - \boldsymbol{r}(t_1 = 1\text{s}) = (4\boldsymbol{i} - 2\boldsymbol{j})\text{m} - (2\boldsymbol{i} + 4\boldsymbol{j})\text{m} = (2\boldsymbol{i} - 6\boldsymbol{j})\text{m}$$

当然，也可以表示为大小和方向(与 x 轴正向之间的夹角)的形式

$$|\Delta\boldsymbol{r}| = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} = \sqrt{2^2 + 6^2}\text{m} = 6.32\text{m}$$

$$\theta = \arctan\frac{\Delta y}{\Delta x} = \arctan\frac{-6}{2} = -71°33'54''$$

而 Δr 为

$$\Delta r = |\boldsymbol{r}_2| - |\boldsymbol{r}_1| = \sqrt{x_2^2 + y_2^2} - \sqrt{x_1^2 + y_1^2} = \sqrt{4^2 + 2^2}\text{m} - \sqrt{2^2 + 4^2}\text{m} = 0$$

(3) 根据定义

$$\boldsymbol{v} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} = (2\boldsymbol{i} - 4t\boldsymbol{j})\text{m/s}$$

$$\boldsymbol{a} = \frac{d\boldsymbol{v}}{dt} = -4\boldsymbol{j}\,\text{m/s}^2$$