新版中学教材要点难点解析丛书

新版高中物理要点难点解析

周誉蔼　王荪舫　编著

光明日报出版社
广西师范大学出版社

新版高中物理要点难点解析

周誉蔼　王荪舫　编著

光 明 日 报 出 版 社
广西师范大学出版社

(京)新登字 101 号

新版中学教材要点难点解析丛书

主　编　张德政
副主编　马　衲
　　　　杨惠娟
　　　　严大成

新版中学教材要点难点解析丛书
新版高中物理要点难点解析
周誉蔼　王荪舫　编著
光明日报出版社
广西师范大学出版社 出版
新华书店北京发行所发行
总参通信部印刷厂印刷

787×1092 毫米　32 开本　14.5 印张　372 千字
1991 年 3 月第 1 版　1992 年 4 月第二次印刷
印数:34700—62600 册　定价:6.20 元
ISBN　7—80091—032—6/G・383

前　　言

《新版高中物理要点难点解析》根据国家教委1990年颁布的《全日制中学物理教学大纲》和《现行普通高中教学计划的调整意见》的有关规定编写，同时也兼容了旧大纲原有 而在新大纲中被调减的内容。可供全国各类学校高中学生使用。

学习高中物理特别重要的就是要理解物理基本概念、规律、方法，这是人类长期研究总结出来的。初学物理的同学感觉物理好懂，就是不会做题，其实是没有真正懂得物理概念和规律。

本书针对高中学生学习物理容易犯的错误，努力通过较多的典型例题，对重要的基本概念、规律进行比较深入、全面的分析和讨论，希望能对同学们有所帮助。

本书主要由北京十五中高级教师、北京市宣武区物理学会理事长周誉蔼编著。北京五十三中高级教师王荪舫也参加了部分章节的编写工作。本书全部插图由周恒同志绘制。

丛书编委会

1990年1月

目　录

第一章　物体的运动

〔引　言〕

本章说明如何描述物体的运动而不涉及力与运动的关系。除了说明物体的运动轨迹外，我们引入位移、速度、加速度等物理量描述质点运动的特点。研究质点的运动就是研究质点的位移、速度、加速度随时间变化的关系以及位移、速度、加速度之间的关系。运动分解合成法是研究物体复杂运动的重要方法。

〔本章要点〕

1. 参考系

物体的位置、位移、速度、加速度等都是对一定的参考系说的。参考系就是指研究物体运动时被选作参考的物体。

2. 物体的平动和转动

物体运动时如果物体上各点的运动情况都相同，物体的运动叫做平动。如果物体上各点都绕某一固定轴做圆周运动，

物体的运动叫做转动。

3. 位移和路程　[illegible]

位移是描述质点位置变化的物理量。质点初始位置为 A，经时间 t 后位置变为 B，则由 A 指向 B 的矢量就是位移。

路程是指质点在某一段时间内通过的路径的长度。位移是矢量，路程是标量。

位移和路程的单位在 SI 制中都是米(m).

4. 速度

在 Δt 时间内质点的位移为 Δs，平均速度的定义是：$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$. $\Delta t \to 0$ 时平均速度的极限就是即时速度，简称速度 $v = \lim\limits_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta s}{\Delta t}$.

速度是描述质点运动快慢和运动方向的物理量。在直线运动中速度沿直线方向。在曲线运动中某一点的速度方向就是通过该点的曲线切线的方向。

速度的单位在 SI 制中是米/秒(m/s).

5. 加速度

在 Δt 时间内质点速度的变化量为 Δv，则 $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ 就是平均加速度 $\bar{a}$. $\Delta t \to 0$ 时平均加速度的极限是即时加速度，简称加速度 $a = \lim\limits_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$. 加速度是矢量。

加速度是描述速度变化快慢和变化方向的。在直线运动中加速度沿直线方向。在曲线运动中某一点加速度的方向与该点曲线的切线方向间有一夹角。

6. 匀变速直线运动的规律

速度公式　　$v_t = v_0 + at$　　(1)

位移公式 $$s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 \quad (2)$$

速度一 位移公式 $$v_t^2 = v_0^2 + 2as \quad (3)$$

位移公式 $$s = \frac{v_0 + v_t}{2}t \quad (4)$$

位移公式 $$s = v_t t - \frac{1}{2}at^2 \quad (5)$$

这五个公式中只有二个是独立的，通常认为(1)、(2) 式是基本的，(3)、(4)、(5) 式可由(1)、(2) 式导出。

7. 抛体运动的规律

抛体运动的加速度矢量不变，是一种匀变速曲线运动。

平抛物体运动可看成水平方向的匀速直线运动和竖直方向的自由落体运动的合运动。

平抛物体运动的规律为

$$\begin{cases} x = v_0 t \\ y = \frac{1}{2}gt^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} v_x = v_0 & v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \\ v_y = gt & \mathrm{tg}\varphi = \frac{v_y}{v_x} \end{cases}$$

8. 匀速圆周运动

质点的运动轨迹是一段圆弧或整个圆周，质点速度大小不变，这就是匀速圆周运动。

角速度 ω 描述质点绕圆心转动的快慢，定义为 $\omega = \frac{\varphi}{t}$. 单位是：弧度 / 秒(rad/s).

匀速圆周运动中的加速度叫向心加速度 $a_{向心}$. $a_{向心}$ 垂直 v 沿半径指向圆心，描述速度方向变化的快慢。

匀速圆周运动的规律为

$$v = \omega r = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi n r$$

$$a_{向心} = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r = \frac{4\pi^2}{T^2} r = 4\pi^2 n^2 r$$

9. 运动的分解与合成

根据运动叠加原理，把一个复杂的运动先分解为几个简单运动来分别研究，然后再把这几个简单运动合成复杂的运动，这是研究复杂运动的重要方法。

位移、速度、加速度都是矢量，它们的分解合成都遵从平行四边形法则。

[解　析]

1. 研究运动必须先明确参考系

先确定参考系再研究运动，这是一个极为重要的原则问题。

(1)对不同的参考系物体运动轨迹、速度、加速度等可能不同。

例1　一架飞机水平匀速地飞行。从飞机上每隔1秒钟释放一个铁球，先后共释放4个。若不计空气阻力，则4个球：

A. 在空中任何时刻总是排成抛物线；它们的落地点是等间距的；

B. 在空中任何时刻总是排成抛物线；它们的落地点不是等间距的；

C. 在空中任何时刻总在飞机正下方排成竖直的直线；它们的落地点是等间距的。

D. 在空中任何时刻总在飞机正下方排成竖直的直线；它们的落地点是不等间距的。

（1989年高考题）

分析和解 以地面为参考系看，每个铁球都做平抛物体运动，轨迹都是抛物线。每个铁球水平方向运动都相同（在空中运动时），故4个铁球在空中并不排成抛物线而是排成竖直的直线位于飞机正下方。由于铁球释放时间不同，铁球在空中运动的时间也不同。因为铁球运动时间是等间隔的，铁球落地点的间距就是相等的。所以 C 正确。

如果我们选择飞机为参考系，则每个铁球在空中都做自由落体运动，都从飞机上同一点释放。这就容易判断出4个铁球总在飞机正下方排成竖直的直线。

说明 请读者进一步思考，如果飞机沿水平直线以加速度 a 匀加速飞行，则从飞机上释放一个铁球，不计空气阻力，对地面参考系和飞机参考系铁球运动情况各如何？

（对地面参考系，铁球做平抛运动，水平速度就是飞机释放铁球时刻的速度。对飞机参考系，铁球初速为零，铁球水平相对方向加速度为 $-a$，与飞机加速度方向相反，竖直方向加速度是重力加速度 g. 铁球做匀加速直线运动，加速度是 $-a$ 与 g 的矢量和，大小为 $\sqrt{a^2+g^2}$，与水平方向夹角 φ 是 $\mathrm{tg}\varphi=\frac{g}{a}$.）

（2）选取适当的参考系有利于分析求解问题.

例 2 船逆流匀速划行，船过桥下时从船上掉下一个皮球，经过半小时后船上人才发现，立即掉头追赶，在桥下游 5

千米处追上皮球。船划行速度、水流速度不变，求：① 船从掉头到追上皮球要用多长时间；② 水流速度。

分析和解

方法一：船的划行速度 u 是船相对于水的速度，设水的速度为 v_0. 以河岸为参考系，船逆流划行时速度 $v_1 = u - v_0$，船顺流划行时速度 $v_2 = u + v_0$.

在半小时 t_1 内，船从桥下逆流而上走过距离 $(u - v_0)t_1$，皮球从桥下顺流走过距离 v_0t_1，船和球间的距离为 $(u - v_0)t_1 + v_0t_1 = ut_1$.

设船掉头追赶上球须时 t_2，在 t_2 内球走过距离 v_0t_2，船走过距离 $(u + v_0)t_2$，船应比球多走距离 ut_1.

$\therefore \quad (u + v_0)t_2 = ut_1 + v_0t_2$

解得 $\quad t_2 = t_1 =$ 半小时.

船赶上球时球在桥下游 5 千米，

$\therefore \quad v_0t_1 + v_0t_2 = 5$

$\therefore \quad v_0 = 5$ 千米 / 时.

方法二：选择随水流速度 v_0 一起运动的落水的皮球为参考系，船逆流向上的速度与顺流向下的速度大小均为 u.

船相对球向上游运动半小时，掉头运动再和球相遇时间当然也是半小时。

球运动时间 1 小时，走过距离 5 千米，球对岸的速度是 5 千米 / 时，水流速度就是 5 千米 / 时。

巧选参照系

两种解法比较可知，本题选流水为参考系较简便。

2. 位移与路程的区别

位移是从初位置指向末位置的矢量。路程是质点通过路径的长度，是标量。一般情况下路程大小大于位移，只有当质

点沿直线运动且方向不变时路程的大小才等于位移。

如：竖直上抛物体能上升到 2 米的最大高度。从抛出到落回原处的时间内，路程是 4 米，位移是零。

又如：一质点沿半径 1 米的圆周运动了半个圆周，位移大小为 2 米，路程为 π 米 $=3.14$ 米.

3. 平均速度与即时速度的区别和联系

(1) 定义不同　平均速度定义为 $\bar{v}=\dfrac{\Delta s}{\Delta t}$，即时速度定义为 $v=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta s}{\Delta t}$.

由此可知，平均速度是对某段时间 Δt（或某段位移 Δs）说的，描述质点在 $\Delta t(\Delta s)$ 内平均运动的快慢和方向。即时速度是对某一时刻（位置）说的，描述质点该时刻（位置）的运动快慢和方向。

速度的大小叫速率，但平均速度的大小不叫平均速率。平均速率的定义是路程与时间的比值。

(2) 一般情况下，某段时间内的平均速度与该段时间内各时刻速度的关系较为复杂。

① 对匀变速直线运动 $\bar{v}=\dfrac{v_0+v_t}{2}$，即平均速度等于初速与末速的平均值。

证明：由定义得 $\bar{v}=\dfrac{\Delta s}{\Delta t}$

根据匀变速直线运动的公式 $\Delta s=v_0\Delta t+\dfrac{1}{2}a(\Delta t)^2$ 得

$$\bar{v}=\frac{v_0\Delta t+\frac{1}{2}a(\Delta t)^2}{\Delta t}=v_0+\frac{1}{2}a\Delta t$$

由速度公式　$v_t=v_0+at$　得　$a\Delta t=v_t-v_0$

$$\therefore \quad \bar{v} = v_0 + \frac{1}{2}(v_t - v_0) = \frac{v_0 + v_t}{2}.$$

从证明过程可知 $\bar{v} = \frac{v_0 + v_t}{2}$ 对抛体运动也成立。因为抛体运动是匀变速曲线运动，加速度为恒量，位移公式和速度公式均成立。但要特别注意，v_0、v_t、$\bar{v}$ 都是矢量，v_0 与 v_t 的和要按平行四边形法则计算。

记！

② 对匀变速运动 $\bar{v} = v_{t中}$，即某段时间的平均速度等于该段时间中间时刻的即时速度。

证明：由定义 $\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$

根据位移公式和速度公式得

$$\bar{v} = \frac{v_0 \Delta t + \frac{1}{2}a(\Delta t)^2}{\Delta t} = v_0 + \frac{1}{2}a\Delta t = v_0 + a\left(\frac{\Delta t}{2}\right) = v_{t中}$$

我们应再一次强调 $\bar{v} = \frac{v_0 + v_t}{2} = v_{t中}$ 对匀变速直线运动和匀变速曲线运动（抛体运动）成立，对其他的运动这两个公式一般不成立。

我们还应注意，某段时间中间时刻的速度 $v_{t中}$ 与该段位移中点的速度 $v_{s中}$ 是不同的。

例 3 质点作匀加速直线运动，$v_0 = 2$ 米/秒，$a = 1$ 米/秒^2. 求 0～4 秒内的平均速度。

分析和解 根据定义求 $\bar{v} = \frac{s}{t} = \frac{v_0 t + \frac{1}{2}at^2}{t} = \frac{2 \times 4 + \frac{1}{2} \times 1 \times 4^2}{4}$ 米/秒 $= 4$ 米/秒.

对匀加速直线运动 $\bar{v} = \frac{v_0 + v_t}{2} = \frac{v_0 + (v_0 + at)}{2} = \frac{2 + (2 + 1 \times 4)}{2}$ 米 / 秒 = 4 米 / 秒.

对匀加速直线运动 $\bar{v} = v_{t中} = v_0 + a\frac{t}{2} = (2 + 1 \times \frac{4}{2})$ 米 / 秒 = 4 米 / 秒.

说明 对匀变速直线运动 $\bar{v} = \frac{v_0 + v_t}{2} = v_{t中}$，所以用定义和用后两个公式求得的结果是一样的。

本题位移中点的速度 $v_{s中}$ 为 $v_{s中}^2 = v_0^2 + 2a\frac{s}{2} = v_0^2 + as$

$\therefore \quad v_{s中} = \sqrt{v_0^2 + as}$

又 $\quad s = v_0t + \frac{1}{2}at^2 = (2 \times 4 + \frac{1}{2} \times 1 \times 4^2)$ 米 = 16 米

$\therefore \quad v_{s中} = \sqrt{2^2 + 1 \times 16}$ 米 / 秒 $= 2\sqrt{5}$ 米 / 秒

可见 $\quad v_{t中} \neq v_{s中}$.

例 4 质点头 2 秒内通过距离 8 米，再过 4 秒通过距离 18 米。求 6 秒内的平均速度。

分析和解 根据定义 法

$$\bar{v} = \frac{s}{t} = \frac{s_1 + s_2}{t_1 + t_2} = \frac{8 + 18}{2 + 4} \text{ 米 / 秒}$$
$$= 4.3 \text{ 米 / 秒}.$$

说明 如果认为 $\bar{v}_1 = \frac{s_1}{t_1} = \frac{8}{2}$ 米 / 秒 = 4 米 / 秒，$\bar{v}_2 = \frac{s_2}{t_2} = \frac{18}{4}$ 米 / 秒 = 4.5 米 / 秒，从而认为 $\bar{v} = \frac{\bar{v}_1 + \bar{v}_2}{2} = \frac{4 + 4.5}{2}$ 米 / 秒 = 4.25 米 / 秒就错了. 因为按题意质点的运动不能认为是匀变速运动，我们只能用定义求 $\bar{v}$. 轻易认为 $\bar{v} = \frac{\bar{v}_1 + \bar{v}_2}{2}$

没有根据。

4. 时间与时刻的区别

用时间轴来搞清楚时间与时刻的含义较好。

图 1-1

图 1-1 表示一个运动 n 秒的质点的运动时间。一段时间在时间轴上表现为一段线段，一个时刻表现为时间轴上的一点，两个时刻之间是一段时间。第 2 秒内是从 1 秒到 2 秒这段时间，第 n 秒内是从(n − 1) 秒到 n 秒这段时间。

例 5　从 80 米高处自由落下一小球，不计空气阻力，g = 10 米 / 秒^2. 求小球第 3 秒末的速度，第 2 秒内和最后 1 秒内通过的距离。

分析和解　第 3 秒末速度 $v_3 = gt_3 = 10 \times 3$ 米 / 秒

$$= 30 \text{ 米 / 秒}.$$

第 2 秒内距离 $h_1 = \frac{1}{2}gt_2^2 - \frac{1}{2}gt_1^2 = \frac{1}{2}g(t_2^2 - t_1^2)$

$$= \frac{1}{2} \times 10(2^2 - 1^2) \text{ 米} = 15 \text{ 米}.$$

由，　$h = \frac{g}{2}t^2$ 得

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 80}{10}} \text{ 秒} = 4 \text{ 秒}.$$

最后 1 秒就是 3 秒到 4 秒这段时间

$$\therefore \quad h_2 = \frac{1}{2} \times 10(4^2 - 3^2) \text{米} = 35 \text{米}.$$

5. 切向加速度和向心加速度

质点做直线运动时速度沿直线方向，速度方向保持不变或变为相反方向，这时加速度描述的是速度大小变化的快慢，加速度方向也沿直线方向，这种加速度叫切向加速度。

质点做匀速圆周运动时速度大小不变，方向时刻在变，这时的加速度描述的是速度方向变化的快慢，加速度方向垂直于速度指向圆心，所以叫向心加速度。

质点作一般曲线运动时速度的方向一定变，速度大小则可能变也可能不变，故质点的加速度一定包含有向心加速度，也可能包含有切向加速度(如果速度大小变化)。这时加速度的方向一定不与速度平行，而与速度有一定的夹角。

6. 速度与加速度的关系

(1) 某一时刻的速度与加速度是否有关？

① 质点做直线运动时，某一时刻的速度与加速度没有关系。我们不能认为某时刻的速度大加速度就一定大，速度为零加速度就一定为零。如：质点做竖直上抛运动时，上升阶段速度逐渐减小，到最高点时速度为零，下降阶段速度逐渐增大，但整个运动过程中加速度始终保持为重力加速度不变。

② 质点做曲线运动时，某一时刻的速度与切向加速度也没有关系。但某时刻的向心加速度与该时刻速度有关，$a_{向心} = \frac{v^2}{r}$. 在半径一定时质点速度越大向心加速度也大，速度为零向心加速度也为零。如图 1-2 所示，细线拴住小球，自 A 点释放。$a_{向心} = 0$，但切向加速度最大。小球从 A 点向 O 点运动过程中速度越来越大，$a_{向心}$ 也越来越大，但切向加速度却

越来越小。到 O 点时 v 最大 $a_{向心}$ 也最大，而切向加速度为零。

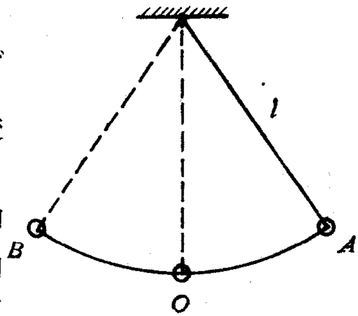

图 1-2

(2) 切向加速度与速度变化的关系。

根据定义 $a = \lim\limits_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$，即加速度等于速度的变化率。我们要注意区别速度变化量 Δv 与速度变化率 $\frac{\Delta v}{\Delta t}$. Δv 描述速度变化的大小，$\frac{\Delta v}{\Delta t}$ 描述单位时间内速度变化大小即速度变化快慢。Δv 大不一定加速度就大，因为 Δv 大时如果 Δt 也大则变化率 $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ 不一定大。

我们还要注意速度变化量 $\Delta v = v_2 - v_1$，这是两个矢量相减。如：质点以 5 米 / 秒速率向西运动，经过一段时间改为以 5 米 / 秒 速率向东运动，速度变化量大小是 10 米 / 秒而不是 0.

7. 怎样用正负号表示位移、速度、加速度的方向

(1) 质点的位移、速度、加速度都是矢量，但是，当质点做直线运动时，我们可用正负号表示这些矢量的方向。我们先规定一个正方向，习惯上规定初速方向为正方向。位移、速度、加速度前的正号表示它们的方向与正方向相同，负号表示它们的方向与规定的正方向相反。如：质点竖直上抛，选定初速方向为正方向(竖直向上)，重力加速度 g 是竖直向下的，故 g 前取负号。这样规定后竖直上抛运动公式表述为：

$$v_t = v_0 - gt$$