

高中物理复习讲座

运 动 规 律

谢 树 棠

涟源地区物理学会

新邵县物理学会

涟源地区教学辅导站

新邵县教学辅导站

前 言

这套《讲座》是由谢树棠同志根据部颁全日制十年制学校《中学物理教学大纲》和《中学物理课本》的要求，结合他长期的教学实践，吸取多种复习资料的精华主笔编写而成的。全书在定稿过程中，得到了我区各级教育行政部门和教育协会领导同志大力支持和热情鼓励，并在部分学校的教学班级和物理教研组中组织了试点和讨论。石晓斌、邓森晖、李同生、张三庆等同志、涟沅地区物理学会全理会、涟沅地区教学辅导站物理辅导员和新邵一中物理教研组全体成员都认真细致地审阅了全书的初稿并提出了许多宝贵的修改意见。

这套《讲座》，编者力求突出重点，提出关键，剖析疑难。介绍方法，大量例题的分析，始终注重在对基本概念和基本定律的正确理解和灵活运用，使学生能够收到举一反三的效果，以培养和提高他们分析问题和解决问题的能力，把基本知识的掌握和基本技能的训练，落实于每一复习单元。

这套《讲座》，主要是供高中在校学生进行物理课单元复习参考，同时，对那些新从事物理教学的青年教师来说，帮助他们全面理解教材，掌握教法，也有所补益。

这套《讲座》，把整个中学阶段的物理教学，归纳为《力的分析》、《运动规律》、《运动定律》、《功能原理》、《热学》、《电路定律》、《电和磁》、《交流电和无线电基础》、《光学和原子物理》九个单元，进行专题论述。书中凡有“△”符号的段落和习题，系1980年高考复习大纲没有提出要求的内容，参加1980年高考的考生，可不阅读。

由于我们水平有限，资料不多，再加上时间匆促，经验欠缺，书中的缺点和错误在所难免，在编排上可能也有不妥之处，敬请读者批评指正。

涟沅地区物理学会 涟沅地区教学辅导站
新邵县物理学会 新邵县教学辅导站

目 录

匀速直线运动	(1)
①匀速直线运动的形成及其运动规律(1); ②速度的合成与分解(5)	
匀变速直线运动	(9)
①关于加速度的概念(9); ②形成物体作匀变速直线运动的条件及具有的运动规律(11); ③自由落体的讨论(20)	
抛体运动	(24)
①平抛运动的分析(24); ②斜抛运动的分析(28)	
匀速圆周运动	(38)
①关于匀速圆周运动的形成及其具有的特性(38); ②关于对向心力的理解(42)	
振动和波	(51)
①简谐振动中的振动方程(53); ②单摆振动定律及其公式(68) ③简谐振动的能量(70); ④在一条直线上两个同频率的谐振动的合成(73); ⑤阻尼振动、受迫振动和共振现象的特点(79)	
内容提要	(86)
①匀速直线运动(87); ②匀变速直线运动(87); ③抛体运动(88); ④匀速圆周运动(90)	
关于相对速度的问题	(95)
思考和问答(共50题)	(100)
习 题(共108题)	(108)
习题答案	(125)

第 1 讲

运动规律

本讲准备就中学物理学中所提出来的几种最基本的运动进行讨论。这些运动是：直线运动中的匀速直线运动和匀变速直线运动（包括自由落体和竖直上抛）、曲线运动中的抛体运动（包括平抛和斜抛）和匀速圆周运动、振动和波动。要求掌握形成上述各种运动的不同条件及其具有的运动规律，并能运用它们各自具有的运动规律去区别情况对在运动学中提出的有关问题进行正确的分析和解答。

匀速直线运动

一个作直线运动的物体，若它在任何相等的时间内，位移都相等，则叫做匀速直线运动（简称匀速运动）。

一、匀速直线运动的形成及其运动规律。

物体在不受外力（实际上这只是一种设想）或在平衡力（合外力为零）的作用下，都不产生加速度，使物体保持静止或匀速直线运动状态。因此，匀速直线运动的特征是：加速度为零，速度（包括大小和方向）保持不变。因此，这种运动的运动规律是：它在运动中的位移（ S ）与它运动的时间（ t ）成正比。用公式表示为：

$$S = Ut$$

其中“ U ”是物体在运动中具有的速度。它在国际单位制中的单位是“米/秒”（ m/s ）。

$$1 \text{ 米/秒} = 3.6 \text{ 公里/小时} \text{ 或 } 1 \text{ 公里/小时} = \frac{1}{3.6} \text{ 米/秒}$$

若要将 n 公里/小时化为 m 米/秒时，只要将 n 除以3.6，即可得 m 。例如： $14.4 \text{ 公里/小时} = 4 \text{ 米/秒}$ ($14.4/3.6 = 4$)， $216 \text{ 公里/小时} = 60 \text{ 米/秒}$ ($216/3.6 = 60$)。

匀速直线运动的规律，不仅可以用公式 $S = Ut$ 表示出来，还可以用图象的方法表示出来，如图1中的(a)和(b)所示。(a)表示它的位移—时间($S-t$)图象，(b)表示它的速度—时间($U-t$)

图象。

当运用某种运动的运动规律来分析和计算有关运动学的问题时，必须明确下述的几个问题：

1、静止和运动，都具有相对性。同一运动体的速度，对于不同的参照物来说，并不都是相同的。例如A、B两车同向开行，对地的速度是40公里/小时，C车向西方向开来，对地的速度亦是40公里/小时，则A、B间的相对速度

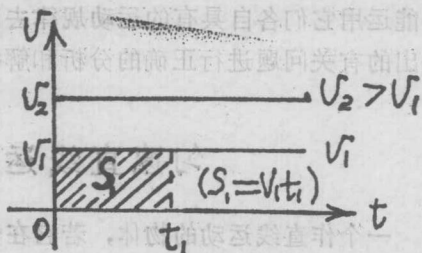


图 1(a)

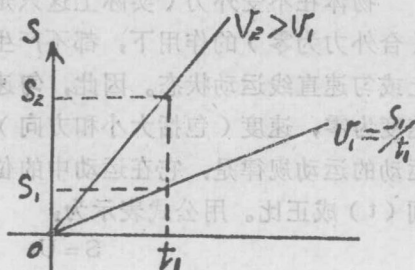


图 1(b)

是零(因为在A、B间的相对位置没有移动),C对A、B的速度是80公里/小时向西(因为C和AB间的相对位置在每小时内有80公里的移动),A、B对C的速度也是80公里/小时,但向东。

通常我们所说的静止或运动,都是指相对于地而言的,只是在习惯上没有把地明指出来而已。可以把物体静止的状态看成是一种速度为零的匀速直线运动。

2、速度和速率是两个不同的概念:速度是个矢量,既有大小,又有方向;而速率则是指速度大小的绝对值,它只讲大小,不管方向。但速率的大小和速度的大小总是相等的。

3、位移和路程也是两个不同的概念:位移是个矢量,而路程则是个标量;位移的大小,是指运动体在某一运动过程中从初位置移动到末位置,两个位置相间的距离,如图2中的 $\overrightarrow{ACE}$ 所示,而路程的大小,则是指运动体在某一运动过程中从初位置运动到末位置沿途实际经过的路程,如图2中ABCDE曲线的长度。只有当物体沿直线向某一方向运动时,它的位移才会和它的路程相等。



图 2

4、时间和时刻也是两个不同的概念:时刻是指某个瞬间,而时间则是指两个时刻之间的间隔。例如物体在3秒末具有的速度,是指运动体在所研究的过程里从起始时刻开始经历3秒时那一瞬间具有的即时速度;物体在3秒内具有的平均速度,是指运动体在所研究的过程里从起始时刻开始经历1、2、3秒这样的前3秒时间内所具有的平均速度;物体在第3秒内通过的路程,是指运动体在所研究的过程里从

起始时刻开始在第3个那1秒(从第二秒末起到第3秒末止)时间内所通过的路程,其值就是运动体在前3秒内通过的路程和它在前2秒内通过的路程之差。因此,即时速度具有瞬时性,时间对它没有意义;平均速度(或路程)都具有时间性,时刻对它没有意义。所谓时刻 $t=0$ 的含义,是指运动体在所研究的过程里是从这个时刻开始的,所以又把它称为初时刻。

只有在匀速直线运动里,各个时刻的即时速度才会相等,各个时间内的平均速度才会相等,平均速度和即时速度在数值上才会相等。

【例1】甲乙两地相距220公里,A车由甲地出发,用40公里/小时的速率向乙地驶行,B车由乙地同时出发,用30公里/小时的速率向甲地驶行,但B出发

1小时后,在

途中停留了2

小时再以原来的

速度继续前进,问A、B两

车在出发后经

过多少时间在

途中相遇?相遇的地点离甲

乙两地各是多

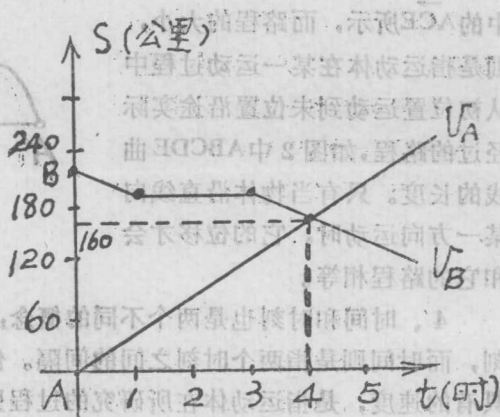


图 3

远?解:令A、B在出发后经过 t 小时相遇,相遇点离甲、乙的

距离分别是 S_1 和 S_2 。则由 $S_1 = 40t$, $S_2 = 30(t-2)$ 及 $S_1 + S_2 = 220$ 得: $40t + 30(t-2) = 220$
 $t = 4$ (小时) $S_1 = 160$ (公里), $S_2 = 60$ (公里)。

答: A、B两车在出发4小时后在途中相遇,相遇点离甲地160公里,离乙地60公里,其图象解法,如图3所示。

这个例题告诉我们怎样应用匀速直线运动的公式去找等量关系列式解题,也帮助我们掌握怎样运用运动图线去解答问题的方法。

二、速度的合成与分解。

在研究一些比较复杂的运动问题时,往往需要把某个运动看成是由某两个(或两个以上)比较简单的运动的合成,使问题得以简化和便于认识它的运动规律。因此,必须掌握有关速度的合成与分解的知识。

1、速度是一个矢量。因此,速度的合成与分解,必须按照矢量的平行四边形法则或△形法则进行。只有在同一条直线上进行速度的合成或分解时,才可在数值上把它们直接相加(同向)或相减(反向)。例如小船在河中航行的实际速度,是船的划速(船对水的速度)和水流的速度(水对地的流动速度)的矢量和。若船在河中或逆水航行时,则船在河中航行的实际速度就等于划速和流速的直接相加(顺水)或相减(逆水)。

2、所谓合运动和合速度,就是指物体实际具有的运动和它实际具有的速度。一个运动着的物体(不论它是在作直线运动还是作曲线运动)在任何时刻所具有的实际速度,总

是它在同一时刻各个分速度的矢量和；它在某段时间内所具有的位移，总是它在同一时间内各个分位移的矢量和，必须明确：任何一个运动的合成，它的合运动和它包含的各个分运动进行的时间总是同一的，而且各个分运动都要根据它们各是具有的运动规律进行独立的运动，并不互相干涉和影响，这就是运动的互不相干原理。

【例2】船在水中的划速 $V_1 = 2$ 米/秒，河水的流速 $V_2 = 0.5$ 米/秒。(1)若将船沿着水流的垂直方向划行过河需要历时 $t_1 = 100$ 秒，求河的宽度(D)和船在河中实际运行的路程(S)；(2)若要使船始终能沿河流的垂直方向横度过去，求划船的方向应跟水流的方向所成的

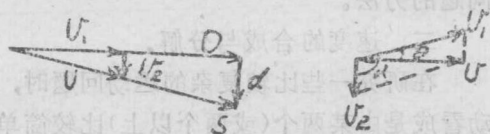


图 4

夹角(λ)和船在河中划行的时间(t)。

解(1)如图4(1)所示。

由 $D = V_1 t_1$ 及 $d = V_2 t_1$ 得 $D = 2 \times 100 = 200$ (米) $d = 0.5 \times 100 = 50$ (米)

$S = \sqrt{D^2 + d^2} = \sqrt{200^2 + 50^2} = 206$ (米)

解(2)如图4(2)所示。

由 $\sin \theta = V_2 / V_1 = 0.25$

得 $\lambda = (90^\circ + \arcsin 0.25)$

$U = \sqrt{V_1^2 - V_2^2} = \sqrt{2^2 - (0.5)^2} = 1.94$ (米/秒)

于是， $t = D/U = 200/1.94 = 103$ (秒)

答：(1)河的宽度是200米，船在河中实际运行的路程是206米；(2)划船的方向跟水流的方向应成 $(90^\circ + \arcsin 0.25)$ 的角，船横渡过河的时间是103秒。

通过这个例题的分析和计算，要求我们明确：①什么样的速度是合速度，什么样的速度是分速度；②怎样根据合速度和分速度的关系去计算有关它们的问题；③怎样根据合运动和分运动的关系去计算合位移(或路程)和分位移的问题。

【例3】有一匀速行军的队列，全长800米。现有一通讯员(A)从队列的最后一个位置快速跑步去向走在队列最前一个的指挥员(B)

报告一个情况，当他追上B后又立即用同样的跑速返回到队列的最后一个位置，

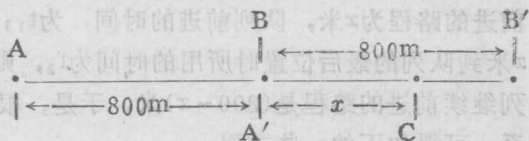


图 5

此时整个队列刚好行进800米，求A在这一过程里走过的路程(D)和向前具有的位移(S)。

解法(1) 如图5所示。设A离队追上B时在C，此时队列前进的路程为 x 米，而在同一时间内，B走的路程是 $(800+x)$ 米，于是，根据时间等量的关系，可得方程：

$$\frac{800+x}{U_1} = \frac{x}{U_2} \dots\dots\dots (1)$$

其中 U_1 和 U_2 分别表示A、B的速度。

又当A从C处返回到队列的最后一个位置时，他返回走过的路程是 x 米，而在同一时间内，B前进的路程是 $(800-x)$ 米。

于是，又根据时间等量的关系，亦得方程：

$$\frac{800-x}{U_2} = \frac{x}{U_1} \dots\dots\dots (2)$$

由(1)×(2)
$$\frac{800^2 - x^2}{U_1 U_2} = \frac{x^2}{U_1 U_2}$$

得 $800^2 - x^2 = x^2$

$$x = 400\sqrt{2} \text{ (米)}$$

$$D = 800 + 2x = 800(1 + \sqrt{2}) = 1931 \text{ (米)}$$

$$S = 800 \text{ (米)}$$

解法(2) 如图5所示，设A离队追上B时在C，此时队列前进的路程为 x 米，队列前进的时间，为 t_1 ；又设A从C返回 x 米到队列的最后位置时所用的时间为 t_2 ，则在此时间内，队列继续前进的路程是 $(800-x)$ 米，于是，根据路程等量的关系，可得如下的一些方程：

$$(800+x) = U_1 t_1 \dots\dots\dots (1)$$

$$x = U_2 t_1 \dots\dots\dots (2)$$

$$(800-x) = U_2 t_2 \dots\dots\dots (3)$$

$$x = U_1 t_2 \dots\dots\dots (4)$$

其中： U_1 和 U_2 分别表示A、B的速度。

由(1)×(3)得 $800^2 - x^2 = U_1 U_2 t_1 t_2 \dots\dots\dots (5)$

及(2)×(4)得 $x^2 = U_1 U_2 t_1 t_2 \dots\dots\dots (6)$

于是： $800^2 - x^2 = x^2$

$$x = 400\sqrt{2} \text{ (米)}$$

∴ $D = 800 + 2x = 1931 \text{ (米)}$

$$S = 800 \text{ 米。}$$

答：通讯员在这一过程里走过的路程是1931米，它向前

具有的位移是800米。

这个例题的讨论，可以帮助我们总结四点：一是应用公式 $S = Ut$ 来计算匀速直线运动的问题时，总是要根据时间的等量关系（如解法1）或路程的等量关系（如解法2）着手建立方程；二是在建立方程的过程中要敢于设立一些辅助未知参量（如上例中的 t_1 、 t_2 、 U_1 和 U_2 ）来列方程；并要学会在计算中善于把那些辅助参量消除，从而得到需要的答案；三是在找等量关系时，要学会选择最佳的等量关系列式，以达到简便解题的目的，如上例的解法1就比解法2简便得多；四是使我们认识到：即使在直线运动里，它的位移和它的路程也并不一定相同（如上例中的 S 与 D ），所以，只有当物体向某一方向进行直线运动时，它的位移才会和它的路程相等。

匀变速直线运动

作变速直线运动的物体，如果它在任何相等的时间内，改变相同的速度，则叫做匀变速直线运动。

要认识匀变速直线运动的规律，关键在于掌握它的变速情况，重点是要掌握它的加速度的大小和方向。

一、关于加速度的概念。

在变速直线运动中，速度的改变(ΔV)跟发生这个改变过程所用的时间(Δt)之比，其值的大小，反映出物体变速的快慢程度，称为加速度(a)。其公式是：

$$a = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{U_t - V_0}{t} \quad \text{单位是：“米/秒}^2\text{”(m/S}^2\text{)}。$$

式中 U_0 表示运动体在研究过程中处于初位置具有的即

时速度，叫初速度， U_t 表示运动体在同一过程中处于末位置具有的即时速度，叫末速度。必须明确： V_0 和 V_t 都是相对于某一研究的具体过程而言的，一定要根据研究过程的具体情况，正确分析出 V_0 和 V_t ，才能正确算出加速度和掌握加速度的性质。

要正确理解加速度的概念，必须明确下述的几个问题：

1、加速度也是一个矢量。在加速直线运动里，由于 $U_t > U_0$ ，则 $a > 0$ 为正，它说明 $\vec{a}$ 的方向与 $\vec{V}_0$ 的方向相同；在减速直线运动里，由于 $V_t < V_0$ ，则 $a < 0$ 为负，它说明 $\vec{a}$ 的方向与 $\vec{V}_0$ 的方向相反。

在匀速直线运动里的加速度是零（因为 $V_t = V_0$ ），在匀变速直线运动里的加速度是一个恒量（因为比值 $\Delta V / \Delta t$ 不变）。所以说：匀变速直线运动的特性，就是变速均匀，加速度是一个恒量。

2、加速度（ $\vec{a}$ ）和增加的速度（ $\Delta \vec{V}$ ）是两个完全不同的概念，不能混为一谈。加速度（ a ）在数值上是等于变速的物体在单位时间（秒）内速度的增量（ ΔV ），单位是“米/秒²”，其绝对值的大小表示物体变速的快慢程度，而与物体运动的时间无关，其正负是表示物体在作加速运动还是作减速运动；而增加的速度（ ΔV ），是指物体在 Δt 时间内速度的增量，单位是“米/秒”，其绝对值的大小等于 a 和 Δt 的乘积，其正负是表示物体的速度在增加还是在减少。

3、用公式 $a = \Delta V / \Delta t$ 计算出来的加速度，是物体在时间（ Δt ）内具有的平均加速度。物体在某一时刻具有的即时加速度是：

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta V / \Delta t$$

只有在匀变速直线运动里，物体在任何时间内的平均加速度和它在任何时刻的即时加速度才都是相等的。

4、物体在某个位置或某个时刻具有的加速度(即时)，根据牛顿第二定律，只决定于物体在该位置具有的质量和它受有外力的合力的大小和方向，而与物体在该位置(或时刻)具有速度的大小和方向并无关系。物体具有的速度大，它的加速度不一定大；反之亦然，如物体在作简谐振动时就是如此。

二、形成物体作匀变速直线运动的条件及其具有的运动规律。

由于匀变速直线运动具有的加速度是一恒量(大小和方向保持不变)的特性，因此，形成这样一种运动所必要的条件是：(1)作用在物体上的合外力的大小和方向要始终保持不变；因为，只有这样，才会使物体的加速度的大小和方向始终保持不变；(2)作用在物体上的合外力的方向要始终保持跟物体运动的方向同在同一条直线上或相同($a > 0$)或相反($a < 0$)；因为，只有这样，才会使物体保持在同一条直线上运动。

1、匀变速直线运动中的速度变化规律，用公式表示是：

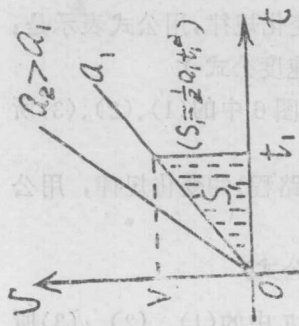
$$V_t = U_0 + a \cdot \Delta t \quad (\text{速度公式})$$

其速度-时间 ($V-t$) 图象，如图 6 中的(1)、(2)、(3)所示。

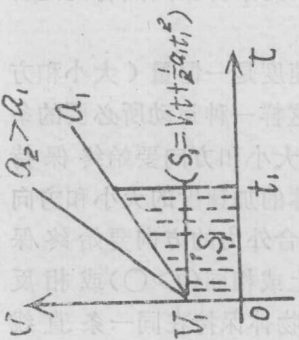
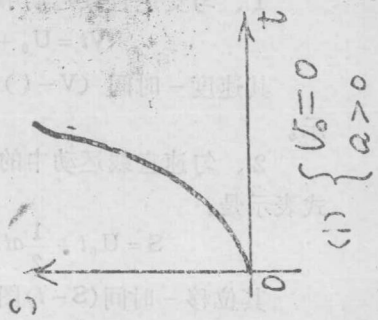
2、匀速直线运动中的位移(或路程)的变化规律，用公式表示是：

$$S = U_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (\text{位移公式})$$

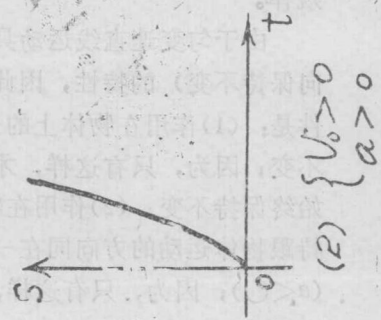
其位移-时间 ($S-t$) 图象，如图 7 中的(1)、(2)、(3)所



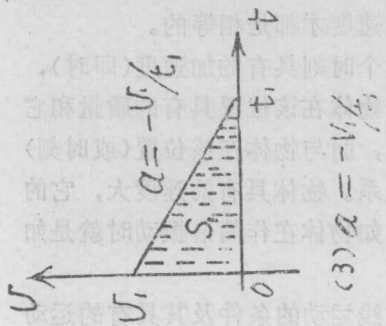
(1) $v_0 = 0$



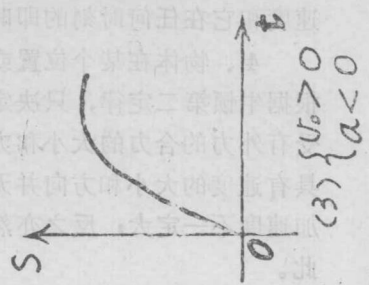
(2) $v_0 = V_1$



↑图 6 ↓图 7

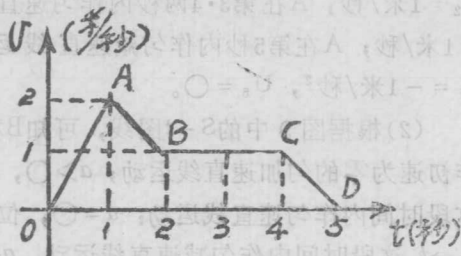


(3) $a = -v_1/t_1$



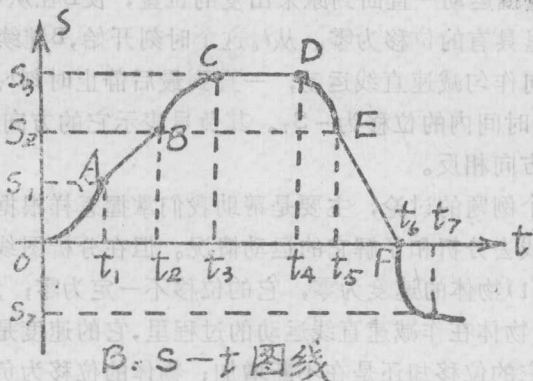
示。

【例4】图8和图9分别是物A的速度—时间($U-t$)图线和物B的位移—时间($S-t$)图线,试根据A、B的图线,分别说明它们在各个时段内进行着什么样的运动?



A: $U-t$ 图线

图 8



B: $S-t$ 图线

图 9

解(1)由8中的 $U-t$ 的图线1可知A在第1秒内作初速为零的匀加速直线运动; $a_1 = 2 \text{ 米/秒}^2$, $U_1 = 2 \text{ 米/秒}$; A在第2秒内作匀减速直线运动: $U_0 = 2 \text{ 米/秒}$, $a_2 = -1 \text{ 米/秒}^2$,

$U_2 = 1$ 米/秒，A在第3·4两秒内作匀速直线运动： $a = 0$ ， $U_3 = 1$ 米/秒；A在第5秒内作匀减速直线运动： $U_4 = 1$ 米/秒， $a_5 = -1$ 米/秒²， $U_5 = 0$ 。

(2)根据图9中的S-t图线，可知B在 $0 \rightarrow t_1$ 这段时间内作初速为零的匀加速直线运动： $a > 0$ ，位移为 S_1 ；B在 $t_1 \rightarrow t_2$ 这段时间内作匀速直线运动： $a = 0$ ，位移是 $(S_2 - S_1)$ ；B在 $t_2 \rightarrow t_3$ 这段时间内作匀减速直线运动： $a < 0$ ， $U_c = 0$ ，位移是 $(S_3 - S_2)$ ；B在 $t_3 \rightarrow t_4$ 这段时间内处于静止状态： $U = 0$ ， $a = 0$ ，位移 $S = 0$ ；从 t_4 这个时刻起，B开始向返回方向作初速为零的匀加速直线运动一直到 t_5 时刻为止，在这段时间内，B往回的位移是 $(S_2 - S_3)$ ；在 $t_5 \rightarrow t_6$ 这段时间内，B继续返回作匀速直线运动一直回到原来出发的位置，使B在从 $0 \rightarrow t_6$ 整个过程里具有的位移为零。从 t_6 这个时刻开始，B继续沿着返回的方向作匀减速直线运动，一直到最后静止时刻 t_7 为止，B在这段时间内的位移为 $-S_7$ 。其负号表示它的方向跟规定为正的方向相反。

这个例题的讨论，主要是帮助我们掌握怎样根据物体的运动图线去分析和了解它的运动情况。但在分析图线时，要注意：(1)物体的速度为零，它的位移不一定为零；反之亦然；(2)物体在作减速直线运动的过程里，它的速度是愈来愈小，但它的位移却还是在不断增加；物体的位移为负值的意义，是表示物体离开出发点的位移跟规定位移的正方向相反。

3、匀变速直线运动中的平均速度($\bar{V}$)及其公式的推导：

根据平均速度的定义： $\bar{V} = S/t$ ，对于匀变速直线运动来说，则有关系式：