物理

专题分析与讨论

Zhuantifenxiyutaolun

青岛海洋大学出版社

物理专题分析与讨论

（修订本）

主　编　初明林　王树新　姜振环

主　审　油福春

青岛海洋大学出版社

鲁新登字15号

副主编 （按姓氏笔画顺序排列）

王张俊 尹天性 史可全 李 颜

张治美 张益炳 张振汉 吴明亮

赵文堂

编 者 （按姓氏笔画顺序排列）

马星宇 马旭广 韦尚诚 石录恒

朱胜才 沈家平 张建武 严永林

陈 红 束义福 吴常光 翟登杰

物理专题分析与讨论

（修订本）

初明林 王树新 姜振环 **编主**

※

青岛海洋大学出版社出版发行

青岛市鱼山路5号

邮政编码 266003

新华书店经销

莱州市外文印刷厂印刷

※

1995年10月1日第4版 1995年10月第1次印刷

16K（787×1092毫米） 印张：10.58 字数：25千字

印数1—10000

ISBN7—81026—319—6/0.40

定价：5.60元

前　　言

《物理专题分析与讨论》自1992年出版以来，深受广大师生的欢迎。在广泛听取多方意见的基础上，我们对此书进行了修订。

此书第一篇为单元专题分析。该篇将高中物理划分为14单元，每单元设若干专题。这些专题着眼于基础知识和方法，或是对不易理解的概念和规律加以辨析；或是将分散在教材中的相关内容加以归纳；或是对典型问题的解题规律加以概括和提炼；或强调易失分处，帮助读者学会注意问题。结合例析还介绍了假设法、等效法、对称法、极端分析法等。这一篇构造出高中物理知识与方法体系的“点”和“线”。

此书第二篇为综合专题讨论。这一篇有如下几个大专题：物理过程分析、理想化物理模型、隐含条件种种、如何解答选择题、解极值问题的常用方法、估算题、物理图象、解题规范化。紧随各专题之后设有适量的针对性练习题，以便及时巩固。第二篇构造出高中物理知识与方法体系的“面”和“体”。

此书第三篇为专题测试。所选题目多具有明显的“可研究性”，另外有适量“上当题”，在附录中给出答案和提示。提示着力揭示题目所考查的关节、要点。练习加提示是前二篇很好的补充。

前二篇旨在帮助读者洞悉物理学习的真谛，领悟其中奥妙，从根本上提高分析、解决问题的能力。第三篇可使读者在再实践过程中，产生从感性到理性的飞跃。

此书几经锤炼，具有很强的实用性，紧扣教学重点、难点，触及高考、会考热点，力避泛泛而论，力求深入浅出，使读者产生豁然开朗之感。此书可极大地提高复习教学（高一、高二阶段复习，特别是组织高考、会考复习）的容量、节奏、效率，能减轻教师查找、组织、刻印资料的辛苦。她是教师的得力助手，是学生的良师益友。

“是的，这种解法是正确的，可以说是简洁、明快的。可是我怎样才能想到这种解法呢？”这是使多数同学感到困惑的问题。我们编写此书，旨在帮助同学们解决这一难题。我们建议读者不要急于看例题的解答和测试题的提示，而是先自行分析、解答，再与书中的解答和提示对照。这样必定会有更大的收获。

谨以此书献给勤于思考的同学们。

编　者

1995．9

目　　录

第一篇　单元专题分析

力　物体的平衡

一、弹力

1. 有接触并不一定有弹力

弹力产生在直接接触，且发生弹性形变的两物体之间。直接接触的物体间是否有弹力，取决于物体是否发生弹性形变。

例 1　如图 1—1 所示，球静止在光滑水平面上，并与光滑斜面接触。问斜面对球是否有支持力作用？

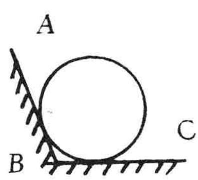


图 1—1

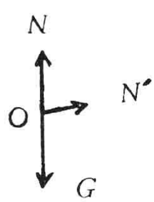


图 1—2

解析　球与斜面接触，它们是否发生形变难以直接判断。为此常采用假设法。

假设斜面对球有支持力，那么球受三个作用：重力 G、水平面对球的支持力 N、斜面对球的支持力 N'，如图 1—2 所示。这样球所受合外力显然不为零。可是根据共点力平衡条件，处于静止状态的球所受合外力应为零。由此可知，上面的假设不成立，斜面对球没有支持力。

说明　物体的受力情况应与物体的运动状态相符合。这是检查受力分析是否正确的重要原则。

2. 杆所受的弹力的方向并不一定沿杆的方向

绳所受的拉力总是沿着绳伸长的方向，但是杆所受的弹力并不一定沿杆的方向。有的同学在解答有关问题(特别是动力学问题)时，常想当然地认为杆所受的弹力或杆对其他物体的弹力沿杆的方向，因此导致错误的结果。

例 2　质量为 m 的球和支架 ABC 的 C 端相连，一起向右匀速运动。试求杆 BC 对球的弹力。已知 BC 与竖直方向夹角 $\alpha = 30^{\circ}$。

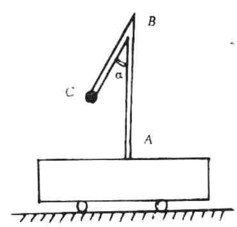


图 1－3

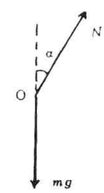


图 1－4

错解　以球为研究对象，它受两个力：重力 mg、BC 杆的拉力 N，如图 1—4 所示。

在竖直方向上有：$N\cos 30^{\circ} = mg$

$\therefore N = 2\sqrt{3}mg/3$

解析　球受两个力作用：重力 mg 和杆 BC 对球的弹力 N。球处于平衡状态，由共点力平衡条件可知，弹力 N 的大小为 mg，方向竖直向上。

说明　“角 30°”是给出的多余条件，起干扰作用。这要求扎实地掌握概念和规律，去伪存真，而不误入歧途。

二、摩擦力

1. 静摩擦力和滑动摩擦力最主要区别

滑动摩擦力与正压力成正比，而静摩擦力的大小与正压力无关。切记公式 $f = \mu N$ 只适合于滑动摩擦力的计算，不能笼统地认为：摩擦力与正压力成正比。

凡解答有关摩擦力的问题，首先要弄清

楚摩擦力的种类。这一点在有的题目中并非一目了然，若对摩擦力的种类不加分析地臆断，易出错。

例3　如图1—5所示，质量$m=3.1$千克的木块原来静止在水平桌面上，现给它施加一个与水平方向夹角$\theta=30^{\circ}$，大小$F=2$牛的拉力，求施加拉力后木块所受摩擦力f的大小。已知木块与桌面间的滑动摩擦系数为$\mu=0.1$，假定木块与桌面间最大静摩擦力和滑动摩擦力大小相等。g取10米/秒^2。

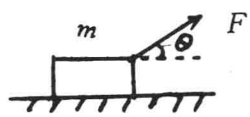


图1－5

错解　木块受四个力：重力mg、拉力F、支持力N和摩擦力f。在竖直方向上有：$N+F\sin\theta=mg$，代入数值得$N=30$牛。由$f=\mu N$得摩擦力$f=3$牛。

分析　施力后，木块是否运动了呢？这一点在题目中含而不露，因此要先行判断。

正解　题目假定木块所受最大静摩擦力与滑动摩擦力相等。由此可知，木块所受的最大静摩擦力为3牛。

拉力F在水平方向上的分力为$F\cos30^{\circ}=1.73$牛<3牛。由此可知，木块受力后仍静止不动。由平衡条件可知，木块所受静摩擦力的大小为1.73牛。

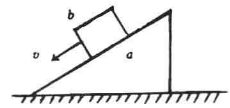
说明　解题离不开判断，为此常要先进行计算、比较。揣摩此例，可对"计算—比较—判断"这种"程序"有所领悟。

2.如何分析平衡态下的静摩擦力

要点　从分析物体所受的其他外力（除摩擦力以外的其他外力）入手。这是一种由此及彼的迂回策略。许多同学感到静摩擦力难以分析，其原因是没有掌握这一策略。

例4　如图1—6所示，一个三角形木块a静止在粗糙的水平面上。它上面有木块b匀速下滑。问地面对a有无摩擦？

解析　假设地面对a无摩擦，则a受四个力作用：重力G_a、地面对a的支持力$N_地$、b对a的压力N_b和摩擦力f_b。如图1—7所示。



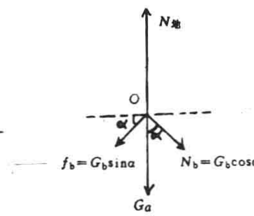


图1－6　　图1－7

N_b水平向右的分力为

$N_b\sin\alpha=(G_b\cos\alpha)\cdot\sin\alpha$

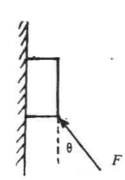
f_b水平向左的分力为

$f_b\cos\alpha=(G_b\sin\alpha)\cos\alpha=N_b\sin\alpha$

由此可知G_a、$N_地$、f_b、N_b这四个力在水平方向上的合力为零。因静摩擦力等于物体所受其它外力，所以a与地面无摩擦。

此题是在虚设条件下，通过计算、比较进行判断的。

例5　如图1—8所示，重量为$G=14$牛的木块，在大小为15牛的推力F作用下静止在竖直墙面上。推力F与竖直方向的夹角$\theta=37^{\circ}$，$\sin\theta=0.6$，$\cos\theta=0.8$. 求墙对木块的静摩擦力。



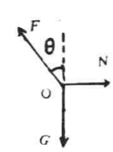


图1－8　　图1－9

解析　不考虑墙对木块的摩擦力，则木块所受的其它外力有：重力G、推力F、墙对木块的弹力N，如图1—9所示。

在竖直方向上，F的分力大小为

$F\cos\theta=15\times0.8$牛$=12$牛$<G$

由此可知，木块所受的其它外力（即 G、F、N）的合力竖直向下，大小为 $G-F\cos\theta=2$ 牛。据共点力平衡条件知，墙对木块有摩擦力作用，其大小为 2 牛，方向竖直向上。

请思考：在例5中，若 F 由15牛逐渐增加到 20 牛，墙对木块的弹力如何变化？墙对木块的摩擦力的大小和方向又如何变化？（答案：弹力不断增加，而摩擦力先沿竖直向上的方向减小后沿竖直向下的方向增加）

三、“动态平衡”问题

在有关物体的平衡问题中，有大量的动态平衡问题：通过改变某一因素，使物体的状态发生缓慢变化，而在这个变化过程中，物体所处的状态都可认为是平衡状态。

此类问题的常用解法是公式法和图解法。

例 6　如图 1—10 所示，均匀球用绳悬挂在光滑的墙壁上。如果增加绳的长度，则绳对球的拉力 T 和墙对球的弹力 N 如何变化？

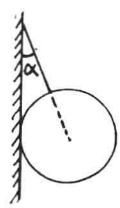


图 1—10

略解　设绳与竖直方向夹角为 α，球重量为 G，则

$$T\cos\alpha=G \qquad N=T\sin\alpha$$

$$\therefore T=\frac{G}{\cos\alpha} \qquad N=Gtg\alpha$$

增加绳长后，α 减少，由上面两式可知 N、T 都减小。

例 7　如图 1—11 所示，电灯悬挂于两墙之间，更换绳 OA，使 A 上移，但保持 O 点的位置不变，则 A 点向上移时，绳 OA 的拉力如何变化？

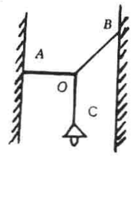


图 1—11

解析　绳 OA 的拉力 T_A 与绳 OB 的拉力 T_B 的合力 T 与灯所受重力等值反向。

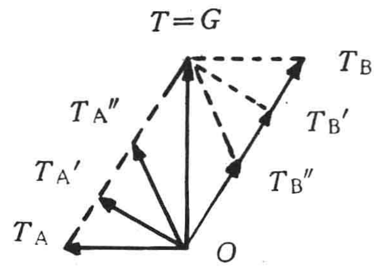


图 1 — 12

根据平行四边形法则，作出 A 点上移到不同位置时，两绳拉力的合成图示，如图 1—12 所示，随 A 点上移，即随 T_A 与竖直方向夹角不断减小，T_A 先减小后增加。

说明　例 7 中两个分力的合力为恒力，且其中一个分力的方向不变。许多动态平衡问题具有这一特征。这种情况下常可用图解法解题。此题还可应用力矩平衡条件解：

以 B 为轴，T_A 的力矩与绳 OC 对 O 点的拉力的力矩（定值）相等，随 A 点上移，T_A 的力臂先增加后减小，所以 T_A 先减少后增加。

当 OA 绳与 OB 绳垂直时，T_A 的力臂最大，此时 T_A 最小。

此种解法仅供学过力矩平衡条件的读者参考。

例 8　如图 1—13 所示，木块原来静止在斜面上，现对木块施加一个水平推力 F，保持木块静止，由零逐渐增加推力 F，直到木块要沿斜面向上滑动。试分析说明在水平推力逐渐增大时，斜面对木块的摩擦力如何变化？

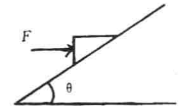


图 1 — 13

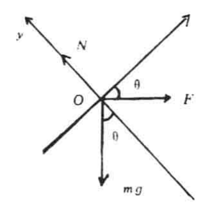


图 1 — 14

解析　斜面对木块的摩擦力是静摩擦力，等于木块所受的其它外力，所以要从分析木块所受的其它外力入手。

木块所受的其它外力如图 1—14 所示。

又因为斜面对木块的摩擦力沿斜面方向，所以可将其它外力沿平行斜面和垂直斜面这两个方向分解，这样便于讨论。

沿斜面方向，除斜面对木块的摩擦力外，另有两个(分）力：重力沿斜面向下的分力 G_1、推力 F 沿斜面向上的分力 F_1。

$G_1 = G\sin\theta$（定值）

$F_1 = F\cos\theta$（变量）

(1) 当 $F_1 < G_1$ 时，重力 G、推力 F、支持力 N 的合力沿斜面向下。根据共点力平衡条件，斜面对木块的摩擦力的方向是沿斜面向上，其大小 $f = G_1 - F_1 = G\sin\theta - F\cos\theta$，此时摩擦力随 F 增大而减小。

(2) 当 F_1 增大到 G_1 时，即 $F_1 = G_1$ 时，摩擦力减小到零。

(3) 当 $F_1 > G_1$ 时，摩擦力沿斜面向下(为什么?)，其大小为 $f = F_1 - G_1 = F\cos\theta - G\sin\theta$，此时摩擦力随 F 增大而增大，直到达到最大值。

综上所述，在推力 F 由零逐渐增大时，木块所受的摩擦力先是沿斜面向上，逐渐减小到零；然后沿斜面向下，逐渐增大。

说明　通过例 7 和例 8 可以发现，在进行动态分析中，要明确哪些量不变，哪些量变?许多动态问题中，一个物理量发生变化时，其他量的变化并非总是单调递增或单调递减。这就要求对整个动态变化作全面深入的分析，而不能浅尝辄止。

作为练习，请读者应用图解法解答例 6，应用公式法解答例 7。

四、整体方法在静力学中的应用

近几年高考题中出现的静力学题目所考查的思维方法，最主要的是整体法。这种方法应熟练掌握。

例 9　在粗糙水平面上有一个三角形木块 M，在它的两个粗糙斜面上分别放两个质量为 m_1 和 m_2 的木块，$m_1 > m_2$，如图 1—15 所示。已知三角形木块和它上面的木块都是静止的，则粗糙水平面对三角形木块有无摩擦?

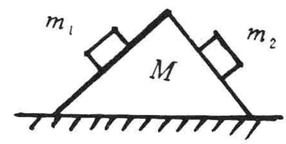


图 1－15

解析　将三角形木块和它上面的两木块作为一个整体，由平衡条件不难得出地面对三角形木块的摩擦力为零。

例 10　用轻质细线把两个质量未知的小球悬挂起来，如图 1—16 所示。今对 a 持续施加一个向左偏上 30° 的恒力 F_a，并对小球 b 持续施加一个向右偏下 30° 的同样大小的恒力 F_b，最后达到平衡状态。能表示最后的平衡状态的图可能是(　　)

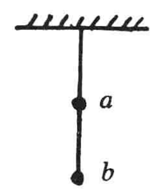


图 1－16

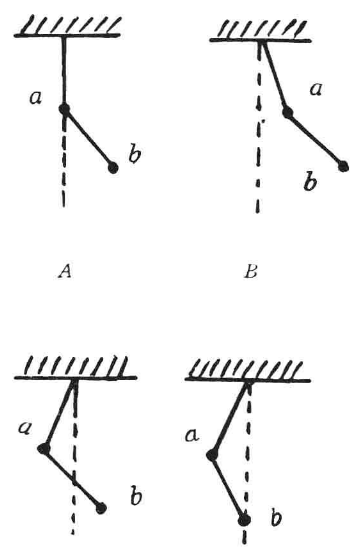


图 1－17

解析 由 a、b 及它们间的连线组成的整体受四个力作用：重力 $(m_a+m_b)g$、F_a、F_b、上一段细线的拉力 T。由于 F_a 和 F_b 等值反向，这两个力的合力为零；而整体在四个力作用下处于平衡状态，所以上一段细线的拉力 T 必然是竖直向上的，且大小为 $(m_a+m_b)g$。这表明上一段细线是竖直的，由此可知此题答案应为 A。

说明 此题若用隔离法，需分别对小球 a、b 进行受力分析，这需要考虑 a、b 间的连线对 a、b 的拉力，因而使问题变得极其复杂。

把小球 a 和 b 及它们间的连线作为整体来研究，它们间的连线的拉力成为内力，从而可避难就易。

例 11 一个体重 600 牛顿的人，站在水平地面上不动，肩上放着一个重为 20 牛顿的木棒，木棒一端挂着一个重为 50 牛顿的重物，另一端用手竖直向下拉住，手的拉力为 40 牛顿。求地面对人的支持力 N。

解析 以人、重物、木棒组成的整体为研究对象，由力的平衡条件易知，地面对人的支持力 $N=(600+20+50)$ 牛 $=670$ 牛。

例 12 如图 1—18 所示，两相同的球静置在直径为 9 厘米的圆筒内，每个球的直径均为 5 厘米，重量均为 G，各接触面光滑。求：

(1) 筒的侧壁对 B 球的弹力 N_1 的大小。

(2) 筒的侧壁对 A 球的弹力 N_2 和筒的底面对 A 球的支持力 N_3 的大小。

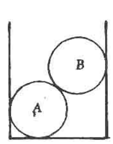


图 1－18

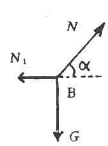


图 1－19

解析 (1) B 球受三个力作用，如图 1—19 所示。图中 N 是 A 球对 B 球的弹力，与水平方向夹角为 α。易求得：

$\cos\alpha = 4/5, \sin\alpha = 3/5$

根据共点力平衡条件：

$N\sin\alpha = G$ ①

$N\cos\alpha = N_1$ ②

由 ①、② 两式解得，筒侧壁对 B 球的弹力 $N_1 = G\,ctg\alpha = 4G/3$

(2) 把 A 和 B 作为一个整体，由平衡条件得：

筒侧壁对 A 球的弹力 $N_2 = N_1 = 4G/3$

筒底面对 A 球的支持力 $N_3 = 2G$

小结 解物理题的思路和方法千变万化，但选取研究对象是确定解题思路的第一步。研究对象选得恰当与否，关系到解题方向，解题的难易、成败。要提高解题能力，必须掌握选择研究对象的两种基本方法 — 隔离法、整体法，特别是整体法。

通过上面几例可以看到：用整体法解题时，由于相关物体之间的相互作用力成为内力，不需考虑，因而使解题过程简捷明了，干净利落。在不涉及系统的内力时，应优先考虑选择整体为研究对象。

两种方法不应厚此薄彼，实际上，隔离法是更基本的方法。求两物体间的相互作用时非要将这两个物体隔离不可。更多情况下，两种方法交替使用，如例 12。

运 动 学

一、匀变速直线运动常用公式

1. 常用公式的特点及选择

匀变速直线运动的公式有五个

$v_t = v_0 + at$ ①

$s = (v_t + v_0)t/2$ ②

$s = v_0 t + at^2/2$ ③

$v_t^2 - v_0^2 = 2as$ ④

$s = v_t t - at^2/2$ ⑤

这些公式共涉及 v_0、v_t、a、s、t 这五个量。每个公式都是由四个量构成的。对于一段直线运动，只要已知三个量，总可以求出另外两个未知量（并且，每个未知量都可以由一个公式直接求出，而不必解联立方程组），熟悉这些特点，能够帮助我们恰当地选择公式。

例1 矿井里的升降机，由井底从静止开始做匀加速直线运动，经 $t_1 = 5$ 秒，速度达到 $v = 4$ 米/秒，然后匀减速上升，又经 $t_2 = 4$ 秒停在井口，求矿井的深度。

解析 升降机加速和减速两段运动的 v_0、v_t、t 三个量已知，根据上面的讨论，可以选择由 v_0、v_t、t 和 s 构成的公式，即公式② 直接求出 s_1、s_2。

加速上升的高度 $s_1 = \frac{0+v}{2}t_1 = \frac{4}{2} \times 5 = 10$ 米。

减速上升的高度 $s_2 = \frac{v+0}{2}t_2 = \frac{4 \times 4}{2} = 8$ 米。

所求深度为 $s = 18$ 米。

2. 应用常用公式解题的要点

(1) 弄清题意，建立一幅物体运动的图景。为了直观形象，应尽可能地画出草图，并在图中标明某些位置和物理量。

(2) 明确哪些量是已知的、哪些量是未知的，并注意根据公式的特点恰当地选择公式。

如果题目涉及不同的运动过程，那么解题的关键常在于：从速度、位移、时间等方面寻找各段运动的联系。

例2 雨滴从屋檐上自由下落，经 0.2 秒的时间通过竖直方向上 1.8 米高的窗户，空气阻力不计，求窗户上沿离屋檐的高度。g 取 10 米/秒^2。

分析 雨滴的整个运动分为二段，如图 2—1 所示。

图 2—1

在从 A 到 B 这一段中，已知两个量：初速度 $v_A = 0$，加速度 $g = 10$ 米/秒^2，题目要求位移 AB。根据公式的特点，需先求出这段运动的时间 t 或末速度 v_B。（这一步分析使我们明确：为了求出未知量，应先求什么？）

从 B 到 C 这一段中，已知位移 $BC = 1.8$ 米，时间 $t = 0.2$ 秒，加速度 $g = 10$ 米/秒^2。这段运动的三个量已知，因此易求出初速度 v_B 和末速度 v_C.（这一步分析使我们明确：根据已知条件可以求出什么？）

通过分析不难确定解题思路：

(1) 先研究 BC 段，由 $s = v_0 t + at^2/2$，求出 v_B；

(2) 再研究 AB 段，由 $v_t^2 - v_0^2 = 2as$，求出 $AB = 3.2$ 米。这里 v_B 是联系 AB 和 BC 两段运动的纽带。

具体计算略。

例3 以 $v_0 = 30$ 米/秒的速度竖直向上抛出小球甲，经 $\triangle t = 2$ 秒后，又以相同的速度从同一点竖直向上抛出小球乙，问甲抛出后，经过多长时间后与乙相遇？

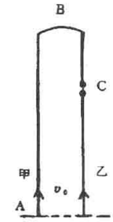


图 2—2

分析 如图 2—2 所示，甲球从 A 点抛出，经过最高点 B 后，下落到 C 处时与球乙相遇。

下面从不同的方面寻找甲、乙两球的联系。

解法一 从速度方面考虑，甲、乙在 C 处相遇时，速率相等。抓住这一联系可得

$$g(t-\frac{v_0}{g})=v_0-g(t-\triangle t),$$

代入数值解得 $t=4$ 秒。

解法二 从距离方面考虑。显然，

$$AB=AC+BC \quad ①$$

其中 $AB=\dfrac{{v_0}^2}{2g}$ ②

$$BC=\frac{1}{2}g(t-\frac{v_0}{g})^2 \quad ③$$

$$AC=v_0(t-\triangle t)-\frac{1}{2}g(t-\triangle t)^2 \quad ④$$

将 ②、③、④ 三式代入 ① 式得

$$2gt=g\triangle t+2v_0$$

所以 $t=\dfrac{\triangle t}{2}+\dfrac{v_0}{g}=\dfrac{2}{2}+\dfrac{30}{10}=4$ 秒

解法三 从时间方面考虑。

甲经过 C 点上升到 B 点，再由 B 点下落到 C 点的时间相等，这两段时间之和为2秒。显然，甲从 B 下落到 C 所需的时间为 1 秒。

由此可知，所求的时间

$$t=\frac{v_0}{g}+1=\frac{30}{10}+1=4\text{ 秒}$$

例 4 两辆完全相同的汽车，沿水平直公路一前一后匀速行驶，速度均为 v，若前车突然以恒定的加速度刹车，则它刚停住时，后车以前车刹车时的加速度开始刹车。已知前车在刹车过程中所行的距离为 S，则两车在匀速行驶时保持的距离至少应为多少？

解析 为了把握题目所述的物理过程，形成清晰的思路，应先画出图示。

如图 2—3 所示，前车在 B 处刹车，经时间 t 后停在 C 处，A 为后车在前车开始刹车时的位置。

图 2—3

显然，后车若也在 B 处开始刹车，则两车刚好不相撞。这样后车从 A 到 B 所需时间为 t，且 A、B 间的距离正是两车匀速行驶时所要保持的最小距离。两车匀速行驶速度为 v， $S=vt/2, AB=vt=2S$。

二、重要推论

1. 做初速度为零的匀加速直线运动（注意这一条件！）的物体，在连续相等时间内的位移之比为 $S_{\rm I}:S_{\rm II}:S_{\rm III}\cdots\cdots=1:3:5\cdots\cdots$

例 5 一物体从离地 h 高处自由下落，将下落的时间分成相等的三段，求物体在这三段相同时间内下落的高度各是多少？

解析 由上面推论可知，这三段时间内物体下落的高度之比为 $S_{\rm I}:S_{\rm II}:S_{\rm III}=1:3:5$，

$$(1+3+5)S_{\rm I}=h$$

$$\therefore S_{\rm I}=h/9, S_{\rm II}=3h/9, S_{\rm III}=5h/9.$$

2. 做初速度为零的匀加速直线运动（条件！）的物体，通过连续相等的位移所需的时间之比为 $t_{\rm I}:t_{\rm II}:t_{\rm III}\cdots\cdots$

$$=1:(\sqrt{2}-1):(\sqrt{3}-\sqrt{2})\cdots\cdots$$

请注意上面两个推论的区别！

3. 做匀加速直线运动的物体在连续相等的时间内的位移之差 $\triangle S=aT^2$，

进一步推论：$S_{N+M}-S_N=MaT^2$

其中 S_N，S_{N+M} 分别表示第 N 段、第 $(N+M)$ 段时间内的位移，T 为各段时间间隔。

例 6 一个物体作匀加速直线运动，前 1 秒内的位移为 d_1 米，前 2 秒的位移为 d_2 米，求物体的加速度 a.

解析 第 1 秒内物体的位移 $S_{\rm I}=d_1$ 米；第 2 秒内的位移为 $S_{\rm II}=(d_2-d_1)$ 米；$\triangle S=S_{\rm II}-S_{\rm I}=aT^2$，式中的 $T=1$ 秒，$a=\dfrac{S_{\rm II}-S_{\rm I}}{T^2}=(d_2-2d_1)$ 米 / 秒^2。

4. 做匀变速直线运动的物体在某段时间内的平均速度 $\bar{v}$ 等于这段时间内的中间时刻的即时速度，即 $\bar{v}=v_{t/2}$。注意 $\bar{v}\neq v_{s/2}=$

$\sqrt{\dfrac{v_0^2+v_t^2}{2}}$，其中 $v_{s/2}$ 表示物体经过这段位移中点时的即时速度。

例2的第二种解法 雨滴在从 B 到 C 这段时间内的中间时刻的即时速度 v

$= \dfrac{1.8}{0.2} = 9$ 米 / 秒

雨滴从 A 到 B 的时间 t

$= \dfrac{v}{g} - \dfrac{0.2}{2} = \dfrac{9}{10} - 0.1 = 0.8$ 秒

$AB = \dfrac{1}{2}gt^2 = \dfrac{1}{2} \times 10 \times 0.8^2 = 3.2$ 米

例6的第二种解法 前一秒中间时刻，即 $t_1 = 0.5$ 秒时物体的速度 $v_1 = d_1$ 米 / 秒，前2秒中间时刻，即 $t_2 = 1$ 秒时物体的速度 $v_2 = d_2/2$ 米 / 秒。加速度 $a = \dfrac{v_2 - v_1}{t_1 - t_2} = \dfrac{d_2/2 - d_1}{1 - 0.5} = (d_2 - 2d_1)$ 米 / 秒^2。

例7 一辆汽车从静止开始做匀加速直线运动，去追赶前面一辆做匀 速直线运动的电车，当电车行驶100米后被追上，此时汽车的速度恰好是电车的4倍，问汽车开始运动时电车在汽车前面多远？

解析 设电车的速度为 v，汽车运动时间 t 后追上电车，则

电车运动的位移 $s_1 = vt = 100$ 米

汽车运动的位移 $s_2 = \bar{v}_{汽} t = \dfrac{0+4v}{2}t = 200$ 米

∴ 汽车开始运动时与电车的距离 $\triangle s = s_2 - s_1 = 100$ 米

平均速度 是重要的量。我们常说运动学有五个量(即 v_0、v_t、a、s 和 t)，不妨把 $\bar{v}$ 作为第六量来倍加重视。尤其当题目涉及"某段时间"物体的"位移"时，要特别注意应用有关平均速度的公式或推论。

5. 关于竖直上抛运动的对称性

(1) 做竖直上抛运动的物体经过同一高度时，上升和下落的速度大小相等，方向相反(速度对称性)。

(2) 做竖直上抛运动的物体通过同一段距离时，上升或下落所需的时间相等(时间对称性)。

在例3的解法一和解法三中分别应用竖直上抛运动的速度对称性和时间对称性，找出了两球运动的联系。

例8 从离地面高度 $h = 15$ 米处以相同的初速度 $v_0 = 10$ 米 / 秒，将甲球竖直上抛，同时将乙球竖直下抛，甲、乙落地时间差 $\triangle t$ 是多少？

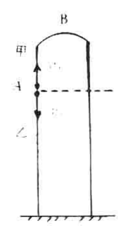


图 2—4

解析 如图2—4所示，甲从 A 抛出，上升到最高点 B 后落回 A 时速度为 v_0。显然甲从落回 A 到落到地面的时间，与乙由 A 落到地面的时间相等。所以甲、乙落地时间差等于甲由 A 经 B 再回到 A 所需的时间，等于2秒。

小结 应用推论解题，往往比应用常用公式解题灵活、独到，是解决有关匀变速运动问题的重要途径。

三、速度图象及其应用

1. 速度图象

速度图象比位移图象有更广泛的应用。这里重点讨论速度图象的应用。关于速度图象首先要明确：(1) 某段时间的 $v—t$ 图线与横轴所围的"面积"表示这段时间内的位移。(2) $v—t$ 图线斜率表示物体的加速度的大小。(3) $v—t$ 图线位于横轴上方(或下方)，表示速度方向与正方向相同(或相反)。

值得特别注意：单凭 $v—t$ 图线在横轴上方(或下方)，不能确定加速度方向与正方向相同(或相反)。实际上，无论 $v—t$ 图线在横轴何方，只要图线向上(或向下)，则表示加速度方向与正方向相同(或相反)。请读者思考这是为什么？

针对性练习题 一个质点沿 x 轴做直线运动，其速度图象如图 2—5 所示，已知 $t=0$ 时，质点位于 x 轴原点 O 处，第 1 秒内质点速度方向水平向右，与 x 轴正方向相同。问：

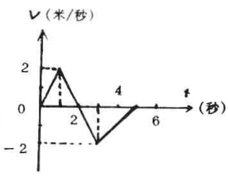


图 2—5

(1) $t=1$ 秒时，速度方向是否改变？

(2) $t=2$ 秒时，加速度方向是否改变？

(3) 在 0—1 秒和 3 秒—5 秒两段时间内，加速度大小各是多少？其方向是否相同？

(4) 质点何时离原点 O 最远？

(5) 0—5 秒时间内质点的路程和位移各是多少？

答案 (1) 不变，(2) 不变，(3) 2 米/秒²、1 米/秒²、相同，(4) 2 秒时，(5) 路程为 5 米，位移为 -1 米，负号表示 $t=5$ 秒时质点位于原点左侧。

为迅速正确得出上面结论，请自行画出质点运动过程示意图。

2. 速度图象应用

应用速度图象，容易把握物体运动的全过程，找出各量之间的联系。一些复杂的问题用图象解往往比用公式简便、直观形象。

如例 1 中，升降机的速度—时间图象如图 2—6 所示。

矿井的深度应等于三角形的"面积" $=\dfrac{9\times4}{2}=18$ 米。

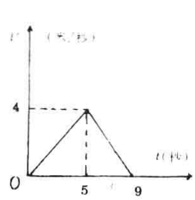


图 2—6

例 9 一个物体沿同一方向运动。第 1 秒内从静止开始以 2 米/秒² 的加速度运动。接着第 2 秒内作匀速直线运动，第 3 秒内又接着以 2 米/秒² 的加速度作匀加速直线运动……求这样运动 5 秒钟的时间内的总位移 S。

解析 5 秒内钟物体的速度图象如图 2—7 所示。5 秒钟内物体运动的位移为 $\triangle AOB$ 的"面积" $S=\dfrac{5\times6}{2}=15$ 米。

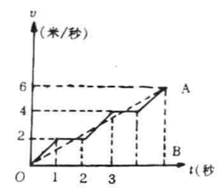


图 2—7

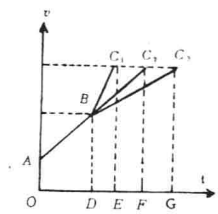


图 2—8

例 10 一个物体做加速度大小为 a_1 的匀加速直线运动，由 A 点运动到 B 点后接着作加速度大小为 a_2 的匀加速直线运动，由 B 运动到 C，已知 $AB=BC$，$v_A+v_C=2v_B$，试比较 a_1 和 a_2 的大小。

解析 如图 2—8 所示，直线 ABC_2 表示加速大小为 a_1 的匀加速直线运动，且 B 为 AC_2 的中点，即 $v_A+v_{C_2}=2v_B$。

梯形 BC_2FD、BC_3GD 的面积都大于梯形 $ABDO$ 的面积，只有梯形 BC_1ED 的面积有可能等于梯形 $ABDO$ 的面积。由此可知，BC 段加速度只能大于 a_1（如 BC_1 所示），此题答案为 $a_2>a_1$。

作为练习，请读者应用常用公式比较 a_1 和 a_2 的大小。提示：

① 加速度的定义是 $a=\triangle v/t$，从这一公式出发，通过比较物体从 A 到 B 速度变化量 $\triangle v_1$ 和从 B 到 C 的速度变化量 $\triangle v_2$，两段运动的时间 t_1 和 t_2，可判断 a_1 和 a_2 的大小。

应用公式 $S=\dfrac{v_0+v_t}{2}t$ 是比较 t_1、t_2 的最好方法。

② 应用公式 $v_t^2 - v_0^2 = 2as$，通过判断 $(2a_1s - 2a_2s)$ 这一差值的正负可比较 a_1 和 a_2 的大小。

四、由两道追及问题谈物理过程分析

例 11　一汽车在平直公路上以 $v_0 = 10$ 米 / 秒的速度匀速行驶，从某一时刻起汽车开始刹车，加速度大小为 $a = 2$ 米 / 秒^2，该时刻在汽车后面 $\triangle S = 7$ 米远处有一自行车以 $v = 4$ 米 / 秒的速度匀速运动，汽车开始刹车后，自行车追上汽车所需的时间 t 是多少？

错解　设时间 t 内自行车、汽车运动的距离分别为 S_1、S_2，则 $S_1 = vt$　①

$S_2 = v_0t - \frac{1}{2}at^2 \quad (a > 0)$　②

$S_1 = S_2 + \triangle S$　③

代入数值，整理得：$t^2 - 6t - 7 = 0$

解得 $t = 7$ 秒（另一解为 $t = -1$ 秒，舍去），所以经 7 秒后自行车追上汽车。

分析　自行车追上汽车时，汽车是否早已停下呢？如果已停下，那么 ② 式不成立。

实际上，汽车刹车所需时间为 5 秒，5 秒内汽车、自行车运动的距离分别为 25 米、20 米。由此可知汽车刚停下时，自行车尚在汽车后面 12 米远处。

自行车追上汽车所需时间

$= 5 + \frac{12}{4} = 8$ 秒

数值计算略。

说明　物体做匀减速直线运动时，首先要判断：所研究的物体，在题目给出的时间内或求出的时间内是否停下？或者当速度大小减少到零后能否返回？不能轻易地将 t 代入位移公式 $S = v_0t - \frac{at^2}{2}$ 中求 S。

例 12　客车在平直公路上以 20 米 / 秒的速度开行，突然发现正前方 120 米处有一列货车正以 6 米 / 秒的速度沿同一方向匀速运动，于是客车紧急刹车。若客车以大小为 0.8 米 / 秒^2 的加速度做匀减速直线运动，直到停下来。问客车是否会撞到货车上？

错解　客车刹车所需的时间

$t = \frac{v_t - v_0}{a} = \frac{0 - 20}{-0.8} = 25$ 秒，

这段时间里客车、货车运动的距离分别是 $S_{客} = \frac{v_0t}{2} = \frac{20 \times 25}{2} = 250$ 米

$S_{货} = 6 \times 25 = 150$ 米

由此可知，客车停下时，两车间的距离 $\triangle S = (150 + 120) - 250 = 20$ 米

所以两车不会相撞。

分析　$v_{客} > v_{货}$ 时，两车间的距离不断减少，$v_{客} < v_{货}$ 时，两车间的距离不断增加，所以当 $v_{客} = v_{货}$ 时，两车间的距离最小。因此应研究两车速度相等时是否相撞。

答案是两车相撞。请自行计算、比较、判断。

小结　解题关键在于物理过程的分析，有的同学解题时，急于列式算数，而忽略物理过程的分析，往往误入歧途。从根本上讲上面两例错解都是由于没有正确地分析物理过程所致。

要想成为优秀的解题者，必须舍得下功夫学会分析物理过程。所谓物理过程分析，在力学问题中主要是运动过程的分析。

牛顿运动定律与万有引力定律

一、变力作用下运动情况的动态分析

例 1 物体原在三个力 F_1、F_2、F_3 作用下处于静止状态。现先将 F_1 逐渐减少到零，再由零逐渐恢复到原来的值。如果保持其他外力不变，问 F_1 变化时，物体的速率如何变化？

错解 ① 当 F_1 减小时，物体所受合外力增加，物体的加速度增加。② 当 F_1 由零逐渐恢复到原来的值时，物体所受的合外力不断减小，物体的加速度减小。③ 综上所述，物体的速度先增加后减小。

分析 上面的结论 ① 和 ② 正确，但结论 ③ 是错误的。需要强调的是：物体的加速度和速度，无论在大小还是在方向上，都无直接联系。就直线运动情形而言，若物体所受的合外力与速度方向相同，当合外力减小时，虽然物体加速度减少，但是物体的速率仍不断增加，只不过增加得慢了。

正解 (1)F_1 减小时，物体沿着与 F_1 方向相反的方向，从静止开始作加速直线运动，速度不断增加，(2) 当 F_1 由零开始增加时，物体所受的合外力方向不变，仍与原来的速度方向相同(这是要点)，所以物体的速度继续增加。当 F_1 恢复到原来的值时，速度达到最大值，以后物体作匀速直线运动。

例 2 图 3—1 所示，PQ 是一个由轻质弹簧支撑的平台(质量忽略)。弹簧另一端固定在地面，一重物 m 从高处落下并粘在平台上。设整个过程中弹簧受力一直处于弹性限度内。重物在第一次降到最低点之前，相对地面的速度何时最大？

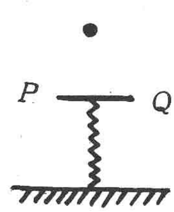


图 3—1

错解 重物接触平台后，受到弹簧弹力作用，由于弹力的方向与物体运动方向相反，所以重物接触平台后，速度不断减小，直到速度为零。因此当物体刚要与平台接触时速度最大。

分析 上面的错误在于：忽略了物体所受的重力(受力分析不全面、漏力)。因而不能正确地分析物体所受的合外力(而不是弹力这一分力)与速度方向之间的关系。

实际上重物接触平台后，其速度先不断增加；当弹簧弹力等于重物重力时，速度达到最大；然后，速度不断减小，直到降到最低点。具体分析，请读者自行完成。

小结 解答此类问题关键是：要正确地进行受力分析，弄清物体所受的合外力(而不是某个分力)的方向与速度方向是相同还是相反，由此判断物体的速率是增加还是减小。

二、根据牛顿运动定律确定未知的弹力和摩擦力

解答这类问题，要善于对具体问题进行“计算、比较、判断”，具体地讲：

(1) 应用牛顿第二定律计算物体所需的合外力 F。

(2) 分析除了未知的弹力或摩擦力外，物体所受的其他外力，并计算这些外力的合力 F'。

(3) 通过比较 F 和 F' 的大小和方向，判断未知的弹力或摩擦力的大小和方向。

例 3 如图 3—2 所示，小车上有一支架 ABC，其中杆 AB 与斜面垂直，杆 BC 与斜面平行，在 BC 的下端有一个质量为 m 的小球，随小车一起

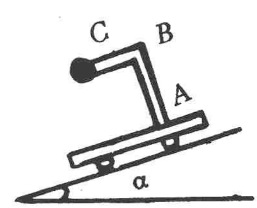


图 3—2

沿倾角为 α 的光滑斜面下滑，求杆对小球的弹力 N。

简析 小车连同支架、小球，沿斜面下滑的加速度为 $g\sin\alpha$，由牛顿第二定律知，小球所需的合外力大小为 $mg\sin\alpha$，沿斜面向下。

不考虑杆 BC 对小球的弹力，小球只受重力。重力在沿斜面向下方向的分力为 $mg\sin\alpha$，恰好等于物体所需的合外力。

由此可知，杆对小球的弹力沿斜面方向的分力为零，即杆对小球的弹力沿垂直斜面的方向，大小为 $mg\cos\alpha$。

例 4 如图 3—3 所示，质量为 $m=1$ 千克的物体随传送带一起以大小为 a 的加速度匀减速上升，求以下两种情况里，物体所受的静摩擦力。

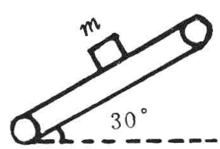


图 3—3

(1)$a=6$ 米 / 秒^2；

(2)$a=5$ 米 / 秒^2；

解析 物体的加速度沿斜面向下，由牛顿第二定律知，物体所需的合外力 F 大小为 ma，方向沿斜面向下。

对物体与传送带间的摩擦力先不予考虑，则物体受到另外两个力的作用：重力和弹力，这两个力的合力 F' 大小为 $mg\sin a=5$ 牛，方向沿斜面向下。

(1) 若 $a=6$ 米 / 秒^2，则 $F=6$ 牛，由于 F 和 F' 方向都沿斜面向下，且 $F>F'$，所以物体受到的摩擦力应与 F' 方向相同，即沿斜面向下，其大小为

$$f=F-F'=6-5=1 \text{牛}。$$

(2)$a=5$ 米 / 秒^2 时，$F=F'$，这就是说，重力与弹力的合力与物体所需的合外力大小相等，方向相同。由此可知，物体不受静摩擦力。

针对性练习 例 4 中，物体随传送带以大小为 a 的加速度匀加速下降，求：(1)$a=3$ 米 / 秒^2，(2)$a=6$ 米 / 秒^2 两种情况下物体所受的静摩擦力。

例 5 长 $L=0.5$ 米的轻质杆一端连接一个质量为 $m=1$ 千克的小球，在竖直面内匀速转动，小球的线速度为 $v=2$ 米 / 秒。求小球经过最高点时，杆对小球的弹力。

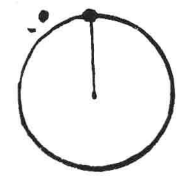


图 3—4

解析 小球在最高点，所需的合外力(即向心力)$F=mv^2/L=1\times2^2/0.5=8$ 牛，方向竖直向下。

在最高点，除杆对小球的弹力外，小球只受重力，其大小为 10 牛顿，方向竖直向下。由此可知，杆在最高点对小球的作用力的方向竖直向上。

$$mg-N=F, \therefore N=2 \text{牛}。$$

说明 对以上三题，我们全都按照“计算、比较、判断”的步骤进行的。实际上，解答这类问题时，我们不应该拘泥于这种思路，如例 5 我们可以采取**虚拟方法**求解：

假设在最高点，杆对小球的作用力 N 是竖直向下，则 $N+mg=mv^2/L$，代入数值得：$N=-2$ 牛。

N 为负值表明在最高点杆对小球的弹力不是竖直向下，而是竖直向上，大小为 2 牛。

针对性练习 用虚拟方法解例 4。

三、解决连接体问题的基本思路

关键是(1) 灵活地选择研究对象；当不要求连接体之间的相互作用时，要注意优先考虑选择整体为研究对象。(2) 对不同的研究对象进行正确的受力分析。

例 6 如图 3—5 所示，三个物体质量分别为 m_1、m_2、m_3，带有定滑轮的物体放在水平地面上，各处摩擦以及绳子的质量均不计。为使三个物体无相对运动，水平推力 F 应等于