

工大教育 · 跨越高考

物理 人教版 · 必修 1

物 理

土木工程学
院



目 录

- 课时 1 质点 参考系和坐标第
- 课时 2 时间和位移
- 课时 3 运动快慢的描述——速度
- 课时 4 实验：用打点计时器测速度
- 课时 5 速度变化快慢的描述——加速度
- 课时 6 《运动的描述》单元小结
- 课时 7 实验：探究小车速度随时间变化的规律
- 课时 8 匀变速直线运动的速度与时间的关系
- 课时 9 匀变速直线运动的位移与时间的关系
- 匀变速直线运动的速度与速度的关系
- 课时 10 自由落体运动
- 伽利略对自由落体运动的研究
- 课时 11 《匀变速直线运动的研究》单元小结
- 课时 12 重力 基本相互作用
- 课时 13 弹力
- 课时 14 摩擦力
- 课时 15 力的合成
- 课时 16 力的分解
- 课时 17 探究弹力与弹簧伸长的关系
- 课时 18 验证力的平行四边形定则
- 课时 19 《相互作用》单元小结
- 课时 20 牛顿第一定律
- 课时 21 实验：探究加速度与力、质量 的关系
- 课时 22 牛顿第二定律
- 课时 23 力学单位制
- 课时 24 牛顿第三定律
- 课时 25 用牛顿定律解决问题（一）
- 课时 26 用牛顿定律解决问题（二）
- 课时 27 《牛顿运动定律》单元小结

课时 1 质点 参考系和坐标系

课前导航

我国是文明古国，对运动早就有研究。早在汉代成书的《尚书纬·考灵曜》中就有这样的记载：“地恒动不止，而人不知。譬如人在大舟中，闭牖（窗户）而坐，舟行而人不觉也。”

毛泽东同志的诗中也有一名句：“坐地日行八万里，巡天遥看一千河。”

请你思考：

1. 选什么物体为参考系，才能说“地恒动不止”？
2. “日行八万里”的地球可否视为质点？
3. 有一个成语叫做“刻舟求剑”，如果说刻舟求剑者的错误在于错选了参照系，你同意这种看法吗？

基础梳理

机械运动：物体的空间位置随时间的变化称为机械运动。

质点

概念：用来代替物体的有质量的点。

说明：
质点是一种科学抽象，是一个理想化模型。
一个物体能否看做质点，要具体情况具体分析。

参考系

概念：在描述一个物体的运动时，选来作为标准的另外的物体。

说明：参考系是可以任意选取的，但是，实际选取参考系的时候，需要考虑到使运动的描述尽可能简单。研究地面上物体的运动，通常取地面或相对于地面不动的其他物体作参考系比较方便。

坐标系

概念：为了定量地描述物体的位置及位置变化，在参考系上建立适当的坐标系。

说明：画坐标系时，必须标上原点、正方向和单位长度。

质点参考系和坐标系

知识精析

一、理想化模型

1. 理想化模型是为了使研究的问题得以简化或研究问题方便而进行的一种科学的抽象，实际并不存在。

2. 理想化模型是以研究目的为出发点，突出问题的主要因素，忽略次要因素而建立的物理模型。

3. 理想化模型是在一定程度和范围内对客观存在的复杂事物的一种近似反映，是物理学中经常采用的一种研究方法。

二、质点

1. 质点的特点：具有质量，占有位置，无体积和形状，是一个理想化的物理模型，实际上并不存在。

2. 物体能否看做质点的几种情况

(1) 平动的物体因各部分运动情况相同，一般可以看做质点。

(2) 物体有转动，但物体的转动不是我们所要研究的主要问题，物体本身的形状和大小已变成了次要因素时可以看做质点。如研究地球绕太阳的公转规律时，地球的大小就变成次要因素，可以不考虑，此时地球就可以看做质点。

转动的物体在研究其转动的规律时不能看成质点。如研究地球自转时，地球的大小和形状就是影响研究问题的重要因素了，因此就不能再把地球看做质点了。

(3) 物体本身的大小对所研究问题的影响不能忽略时，不能把物体看做质点，如研究火车过桥的时间时就不能把火车看做质点。

三、参考系

1. 选择参考系的意义

要描述一个物体的运动，必须首先选好参考系，对于同一个运动，如果选不同的物体作参考系，观察到的运动情况可能不相同。

例如：甲、乙两辆汽车由西向东沿同一直线以 15 m/s 的相同速度行驶着。若两车都以路边的树木作为参考系，则两车都是以 15 m/s 的速度向东行驶；若以其中任意一辆车为参考系，则另一辆是静止的。

2. 选择参考系的原则

(1) 选取参考系一般应根据研究对象和研究对象所在的系统来决定。

例如研究火车上物体的运动情况时，一般选取火车作为参考系；研究地面上物体的运动时，常选地面或相对地面不动的物体作为参考系，这时，参考系常可以略去不提，如“汽车运动了”，就不必说成“汽车相对地面运动了”。

(2) 参考系的选取可以是任意的。在实际问题中，参考系的选取应以观测方便和使运动的描述尽可能简单为基本原则。

四、坐标系

1. 建立坐标系的物理意义

为了定量地描述物体的位置及位置的变化，需要在参考系上建立适当的坐标系。

2. 坐标系的种类及特点

(1) 直线坐标系：以某一点为原点，规定单位（有时是长度，有时是时间，也可能是其他物理量）、正方向或变

(2) 平面坐标系：物体在某一平面内运动时需建立平面坐标系。如图 1-1 所示，在图甲中， a 、 b 、 c 三点有相同的横坐标，在图乙中， A 、 B 、 C 三点有相同的纵坐标，由此可以发现：如果仅仅确定某点的横坐标或纵坐标，该点的位置并不能唯一确定，如果同时确定某点的横坐标和纵坐标，则该点的位置唯一确定。

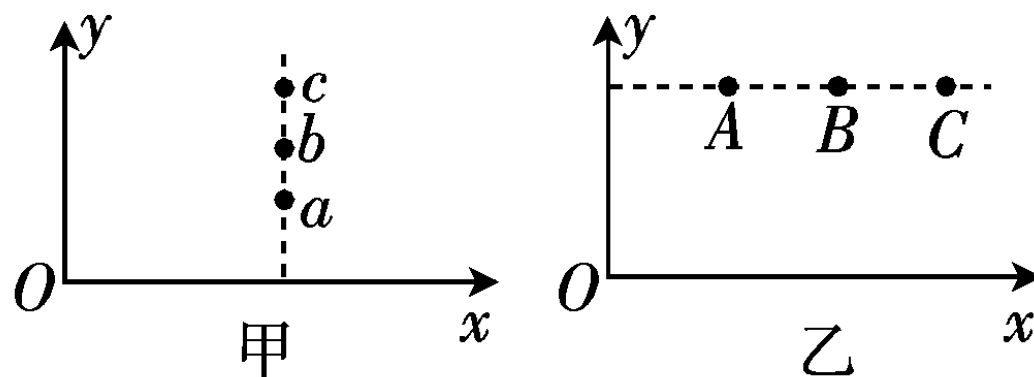


图 1-1(3)

多维坐标系 (如三维立体空间坐标系)：物体的运动不在同一平面内时，可以建立多维坐标系。

方法指导

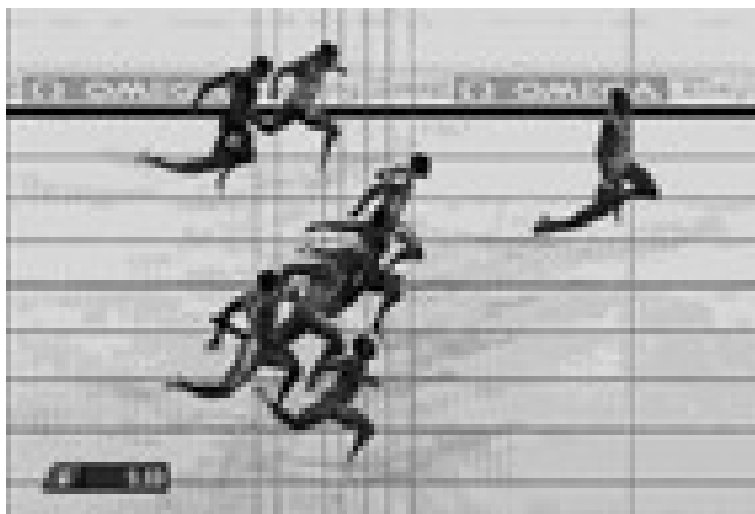
一、理解质点

例 1 2008 年 8 月 16 日，牙买加运动员博尔特在北京奥运会上以 9 秒 69 打破男子百米跑世界纪录，再创速度极限。

下列说法正确的是 ()

- A. 在博尔特的 100 米飞奔中，可以将他看做质点
- B. 教练为了分析其动作要领，可以将其看做质点
- C. 无论研究什么问题，均不能把博尔特看做质点
- D. 是否能将博尔特看作质点，决定于我们所研究的问题

问题



解析 在博尔特的 100 米飞奔中，我们关心的是他的名次，无需关注其动作的细节，可看做质点。教练为了分析其动作要领时，如果作为质点，则其摆臂、提腿等动作细节将被掩盖，无法研究，所以就不能看做质点。

答案 AD

点评 (1) 不能以质量和体积的大小来断定能否将一个物体看做质点，关键是物体自身因素（如大小和形状）对我们所研究问题的影响程度。

(2) 平动的物体一般可以视为质点，平动的物体是指物体上各个点的运动情况都完全相同的物体。这样，物体上任一点的运动情况与整个物体的运动情况相同，可用一个质点来代替整个物体。但研究物体的转动时，不能把物体视为质点。

二、参考系与相对运动问题

例 2 甲、乙、丙三架观光电梯，甲中乘客看见高楼在向下运动；乙中乘客看见甲在向下运动；丙中乘客看见甲、乙都在向上运动。这三架电梯相对地面的运动情况可能是 ()

- A. 甲向上，乙向下，丙不动
- B. 甲向上，乙向上，丙不动
- C. 甲向上，乙向上，丙向下
- D. 甲向上，乙向上，丙也向上，但比甲、乙都慢

解析 电梯中的乘客观看其他物体的运动情况时，是以自己所乘的电梯为参考系。甲中乘客看见高楼向下运动，说明甲相对于地面一定在向上运动。同理，乙相对甲在向上运动，说明乙相对地面也是向上运动，且运动得比甲更快。丙电梯无论是静止，还是在向下运动，或以比甲、乙都慢的速度在向上运动，丙中乘客看甲、乙两电梯都会感到它们是在向上运动。

答案 BCD

点评 要准确地描述物体的运动，参考系的选取非常关键。如在本题中，甲中乘客在观察高楼的运动时，是以自己所乘的电梯为参考系。若以地面为参考系，高楼是静止的。

变式训练 1

我们描述某个物体的运动时，总是相对一定的参考系。下列说法正确的是（ ）

- A. 我们说“太阳东升西落”，是以地球为参考系的
- B. 我们说“地球围绕太阳转”，是以地球为参考系的
- C. 我们说“同步卫星在高空静止不动”，是以太阳为参考系的
- D. 坐在火车上的乘客看到铁路旁的树木、电线杆迎



解析 “太阳东升西落”是相对于我们居住的地球而言，是以地球为参考系的，所以选项 A 正确；“地球围绕太阳转”是以太阳为参考系的，所以选项 B 错误；“同步卫星在高空静止不动”是相对于地球而言的，是以地球为参考系的，所以选项 C 错误；火车上的乘客看到铁路旁的树木、电线杆迎面向他飞奔而来，是以火车或他自己为参考系的，所以选项 D 正确。

答案 AD

例 3 为了确定一辆行驶在北京长安街上的汽车的位置，我们可以取 x 轴表示长安街的东西方向， x 轴的正方向指向东，并且取天安门前的旗杆作为坐标轴的原点，那么汽车的位置就由它的坐标完全确定了。若汽车的坐标是 1 km，则表示汽车处于什么位置？汽车的坐标是 -2 km 呢？

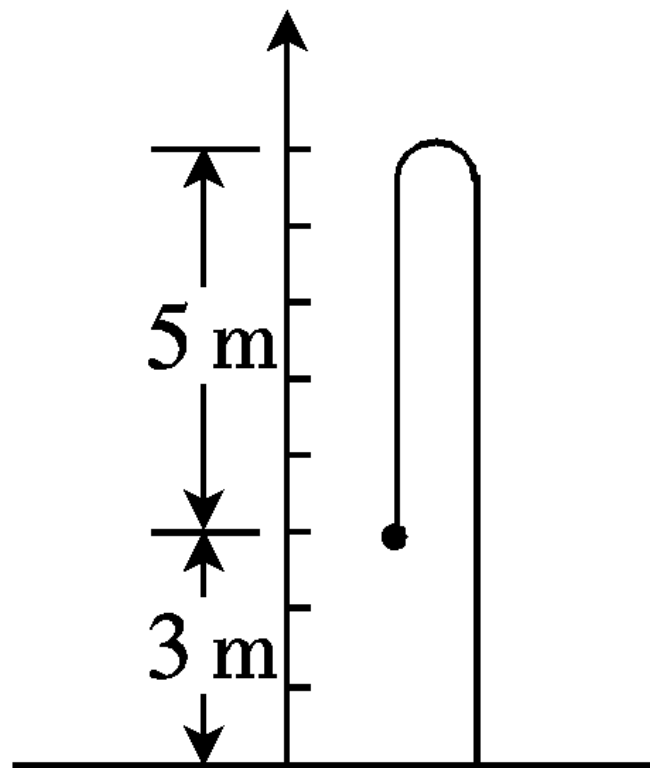
解析 若汽车的坐标是 1 km ，则表示汽车旗杆以东 1 km ；汽车在的坐标是 -2 km ，则表示汽车在旗杆以西 2 km 。

答案 旗杆以东 1 km ，旗杆以西 2 km

点评 用坐标确定了物体的位置，我们就能定量地描述物体的运动，特别要注意坐标正负号的含义，坐标的绝对值表示汽车离开坐标原点的距离，正负号表示方向。

变式训练 2

从高出地面 3 m 的位置竖直向上抛出一个小球，它上升 5 m 后落回地面，如图 1-2 所示，分别以地面和抛出点为原点建立坐标系，方向均以向上为正，填写下面的表格。



坐标原点	出发点坐标	最高点坐标	落地点坐标
地面为原点			
抛出点为原点			

解析 在物体运动的直线上建立直线坐标系，定量描述物体的位置，若以地面为原点，则出发点、最高点、落地点的坐标分别为 $x_1 = 3 \text{ m}$ ， $x_2 = 8 \text{ m}$ ， $x_3 = 0$ ；若以抛出点为原点，则 $x_1' = 0.2$ ， $x_2' = 5 \text{ m}$ ， $x_3' = -3 \text{ m}$ 。

坐标原点	出发点坐标	最高点坐标	落地点坐标
地面为原点	3 m	8 m	0
抛出点为原点	0	5 m	-3 m

互动平台

育才老师告诉你如何记学习笔记

学习笔记是同学们在学习活动中，通过听讲、观察和思考而记录的内容，是一种重要的学习手段。俗话说“好记性不如烂笔头”，随着时间的推移，所学知识总要有遗忘，而学习笔记积累了大量的原始资料，稍加整理，就可以使知识系统化，便于日后复习巩固。

学习笔记应以注重内容、不拘形式、发展能力为原则，起到拓宽知识、加深理解、训练思维、提高效率的作用。

1. 学习笔记应记什么

(1) 记重点

①记重要的概念、原理和规律。物理概念、原理、规律的叙述常常是简洁而严谨的，一个关键字、词往往隐藏着丰富的内涵。因此在物理概念、原理、规律的学习中，必须及时把老师在课堂上分析的这些隐藏着的潜台词整理出来，并做必要

②记典型习题. 典型习题对同学们今后的学习可起到引导、启发和示范作用, 能发展分析、综合、归纳和应用知识等多方面的能力, 培养思维的逻辑性和推理的严密性.

③记一般规律. 通常情况, 老师会将类似的或有关联的问题进行分类、概念, 整理其分析思路, 总结一些规律性的东西.

(2) 记疑点、难点

发现问题是认识上的进步, 问题得到解决是知识水平的提高. 物理学习说到底就是生疑、释疑的过程. 每个同学可整理出自己学习情况的“问题集”, 以便检查自己学习中遗留的问题, 提高学习效率.

(3) 记课外知识

俗话说: “处处留心皆学问.” 当今社会处于信息时代, 物理学习也应适应时代要求. 因此, 在物理学习中应广泛地阅读, 细心地观察, 认真地思考, 随时采撷信息, 使一些现象与物理知识产生神奇的碰撞, 迸发出灵感的火花.

2. 记笔记时应注意的问题

(1) 处理好“听”、“想”、“记”的关系

同学们要逐步养成手脑并用、边听边记的习惯。因高中课堂教学难度、容量都比较大，如果把“听”和“记”绝对分开进行，必然会有一些内容听不到或记不全，这必然影响学习效果。

(2) 及时整理笔记

由于时间紧迫，笔记可能有各种缺陷，要及时补漏勘误。

(3) 要注意笔记的合理布局

课堂笔记不要写得过密，行与行、段与段之间要留有适当的空白，以便于修改、补充和整理。

同步达标

一、选择题（本题共 8 小题，每小题 4 分，共 32 分，每题至少有一个选项是正确的）

1. 在研究体育比赛中运动员的运动特点时，下列运动员可以当做质点处理的是（ ）

A. 研究姚明在扣篮的动作时

B. 研究李小鹏在双杆上比赛的动作时

C. 研究菲尔普斯 100 米自由游触壁的瞬间

D. 记录某马拉松运动员在比赛过程中各时刻的位置

时

答案 D

2. 关于参考系, 下列说法不符合实际的是 ()

A. 一个物体相对于其他物体的位置变化, 叫机械运动

B. 不选定参考系, 就无法研究某一物体怎样运动

C. 参考系是不动的物体

D. 参考系是人们假设不动的物体

答案 C

3. “坐地日行八万里，巡天遥看一千河。”这一诗句表明 ()

A. “坐地日行八万里”选的参考系是地心

B. “巡天遥看一千河”选的参考系是地球以外的星体

C. 人在地球上的静止是相对的，运动是绝对的

D. 坐在地面上的人是绝对静止

解析 研究物体的运动时要选定参考系。“坐地日行八万里”——人坐在地上(赤道附近)一日(24 h)绕地心运动一周，根据地球半径可知周长约4万千米，“巡天遥看一千河”——坐在地面上的人相对地球以外的其他天体(星星)是运动的，故选项A、B正确。运动是绝对的，静止是相对的，故选项C正确、D错误。

答案 ABC

4. 下列关于质点的说法中，正确的是（ ）

A. 质点是一个理想化的模型，实际并不存在

B. 因为质点没有大小，所以与几何中心的点没有区别

C. 凡是轻小的物体，都可看成质点

D. 如果物体的形状和大小在所研究的问题中属于无关或次要因素，就可以把物体看成质点

解析 质点是一个理想化的物理模型，实际上不存在，物体能否看成质点要满足 D 项的条件，选项 A、D 正确；质点是人们为了研究问题的方便而抽象出来的点，与几何中心、物体大小没有直接关系，选项 B、C 错误。

答案 AD

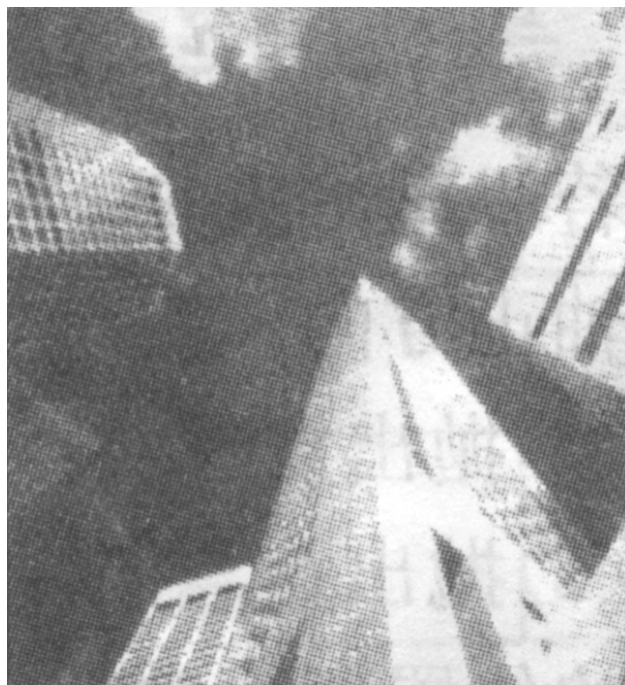
5. 某校高一的新同学分别乘两辆汽车去市公园玩. 两辆汽车在平直公路上运动, 甲车内一同学看见乙车没有运动, 而乙车内一同学看见路旁的树木向西移动. 如果以地面为参考系, 那么, 上述观察说明 ()

- A. 甲车不动, 乙车向东运动
- B. 乙车不动, 甲车向东运动
- C. 甲车向西运动, 乙车向东运动
- D. 甲、乙两车以相同的速度都向东运动

解析 甲看到乙车不动, 说明甲和乙运动情况相同, 乙车内同学看到树木向西运动, 说明车在向东运动, 选项 D 正确, A、B、C 错误.

答案 D

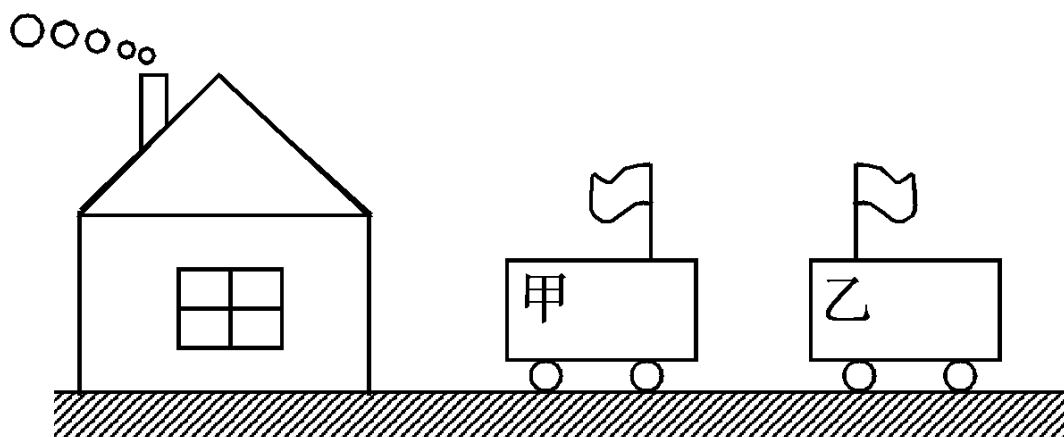
6. 有一天下午，在我国东南部的某大城市的中心广场行人拥挤，有人突然高喊“楼要倒了！”其他人猛然抬头观看，也发现楼在慢慢倾倒，如图所示。人们便纷纷狂奔逃生，导致交通一片混乱，但过了好久，高楼并没有倒塌。人们再仔细观望时，楼依然稳稳地矗立在那里。下列有关探究分析这一现象的原因的说法中，正确的是（ ）



解析 看到没有运动的楼在运动，应该是选择了运动的物体作参考系，高楼矗立在空中，是以开阔的天空为背景的高层建筑，它旁边没有别的固定的参考系，人在抬头观望时可能是选择了空中运动的云做参考系，如果天空的云在快速移动，人在突然抬头观望时，误将云看做是固定不动的，所以产生了楼在运动的错觉。“月在云中行”也是这种情况。

答案 C

7. 烟囱冒出的烟和平直路面上甲、乙两车上的小旗的朝向如图所示，关于甲、乙两车相对于路旁房子的运动情况，下列说法正确的是（ ）



- A. 甲、乙两车一定向左运动
- B. 甲车可能静止或向右运动或向左缓慢运动，乙车一定向左运动
- C. 甲车可能向右加速运动，乙车可能向右减速运动
- D. 甲车一定向右运动，乙车一定向左运动

解析 首先由图中烟囱冒出的烟，可以判断当时的风向向左；甲车的小旗和烟的飘向一致，说明以甲车为参考系时风向向左，甲车有可能静止，也有可能沿和风向相同的方向运动，只是甲车的运动速度比风的速度小，还可能是甲车以任意速度向左运动；乙车的小旗和烟的飘向相反，说明乙车一定是向左运动，而且车速比风速大。

答案 B

8. 地面观察者看到雨滴竖直下落时, 坐在匀速前进的列车车厢中的乘客看雨滴是 ()

A. 向前运动

B. 向后运动

C. 倾斜落向前下方

D. 倾斜落向后下方

解析 这是以乘客为参考系, 此时雨滴在水平方向相对于乘客是向后运动的, 再加上竖直下落的运动, 故应为落向后下方.

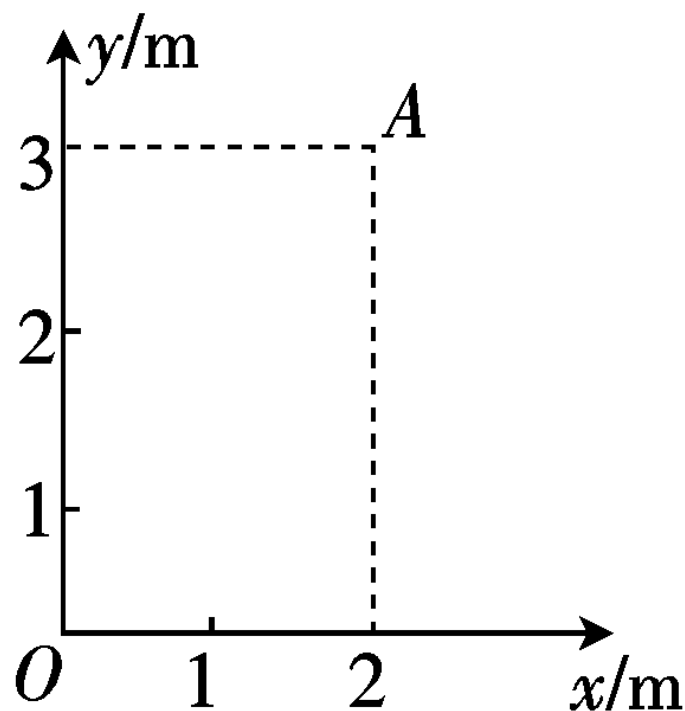
答案 D

9. 第一次世界大战的时候，一个法国飞行员在 2000 m 高空飞行的时候，发现脸旁有一个什么小玩意儿在游动着。飞行员以为是一只小昆虫，敏捷地把它一把抓了过来。现在请你想一想这位飞行员的惊诧吧，他发现他抓到的一颗德国子弹！大家都知道，子弹的飞行速度是相当快的，为什么飞行员能抓到子弹？



解析 这是因为，一颗子弹并不是始终用 $800 \sim 900$ m/s 的速度飞行的。由于空气的阻力，这个速度会逐渐减小下来，而在它的路程终点（跌落前）的速度却只有 40 m/s. 这个速度是普通飞机也可以达到的。因此，很可能碰到这种情形：飞机跟子弹的方向和速度相同，那么，这颗子弹对于飞行员来说，它相当于静止不动的，或者只是略微有些移动。那么，把它抓住自然没有丝毫困难了。

10. 为了确定平面上物体的位置，我们建立平面直角坐标系，如图所示。以 O 点为坐标原点，沿东西方向为 x 轴，向东为正；沿南北方向为 y 轴，向北为正。图中 A 点的坐标如何表示？其含义是什么？



解析 A 点的横坐标 $x = 2\text{ m}$ ， A 点的纵坐标 $y = 3\text{ m}$ ，坐标值的含义表示 A 点在坐标原点偏东 2 m ，偏北 3 m 处。

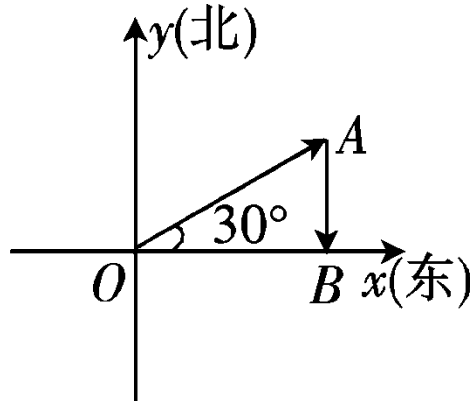
答案 $(2\text{ m}, 3\text{ m})$ A 点在坐标原点偏东 2 m ，偏北 3 m 处

11. 一物体从 O 点出发，沿东偏北 30° 的方向运动 10 m 至 A 点，然后又向正南方向运动 5 m 至 B 点。

(1) 建立适当坐标系，描述出该物体的运动轨迹。

(2) 依据建立的： A 、 B 两点的坐标

解析 (1) 坐标系



OB 为运动轨迹。

附加探究题 (10 分)

12. 东汉时期的著作《尚书纬·考灵曜》中谈到地球的运动时这样写道：“地恒动不止，而人不知。譬如人在大舟中，闭牖（即窗户）而坐，舟行而人不觉也。”这说明了什么道理？如果你坐在一艘匀速行驶的船中，窗户全部关闭，请你探究如何证明船是在运动的。

探究思路

这句话反映了运动与参考系的关系，要确定物体的运动必须有参考系，人在地球表面上以地面为参考系是静止的，就如同在封闭的船舱里以船舱为参考系是一样的，所以感觉不到地球和船的运动。

当人坐在窗户关闭的船舱中时，由于看不到船外面的物体，所以分析船舱内物体的运动时，均以船舱为参考系，所以船匀速行驶时，人在船舱内是感觉不出船的运动，也无法证明这一点。

课时 2 时间和位移

课前导航

学习物理时经常会遇到生活用语和专业术语的区别，这一点要引起重视。一位同学问：什么“时间”下课？另一位同学说：8时**45分**下课。又问：一节课多长“时间”？答：**45分钟**。

请你思考：

1. 第一问中的“时间”实际是“时刻”还是“时间间隔”？

2. 第二问中的“时间”是“时刻”还是“时间间隔”？

基础梳理

时
间
和
位
移

时刻和时间

时刻: 在时间轴上对应于一点, 表示某一瞬间或某一瞬时.
时间: 两个时刻之间的时间间隔, 在时间轴上对应于两点间的线段, 表示一段过程.

路程和位移

路程: 物体实际运动路径的长度, 只有大小.
位移: 位移是表示物体位置变化的物理量, 指从初位置指向末位置的有向线段. 线段的长度表示位移的大小, 有向线段箭头的指向表示位移的方向.

矢量和标量

标量: 只有大小没有方向的物理量.
如: 质量、温度、时间.
矢量: 既有大小又有方向的物理量.
如: 位移、力、速度.



知识精析

一、时间与时刻

1. 时刻对应于物体所处的状态，只有先与后、早与迟的区别，而没有长短之分；在时间轴上，时刻用一个点表示。

举例：下面几种说法均属时刻。

第 2 s 初，第 3 s 末，第 5 s 时，火车 10：05 开车。

2. 时间间隔对应于物体所经历的某段过程，是用长短来表达的，它本身没有先后或迟早的涵义；在时间轴上，时间间隔用线段表示。

举例：下面的几种说法均属时间间隔。

第 5 s 内：时间为 1 s；

前 10 s 内：时间为 10 s；

从第 3 s 初至第 6 s 初：时间为 3 s。

二、位移与路程

	位移	路程
区别	是一条有向线段,用来表示质点位置的变化	是质点运动轨迹的长度
	是矢量,有向线段的箭头代表位移的方向	是标量,只有大小,没有方向
联系	(1)二者单位相同,都是米 (2)在单向直线运动中,位移大小等于路程	

三、标量与矢量

1. 标量: 只有大小没有方向的量. 如: 长度、质量、时间、路程、温度、能量等. 运算遵从算术法则.
2. 矢量: 有大小也有方向的量. 如: 位移、力、速度等. 运算法则与标量不同, 我们将在以后学习.

方法指导

一、时间与时刻的区别与联系

例 1 关于时间和时刻，下列说法正确的是 ()

- A. 物体在 5 s 时指的是物体在 5 s 末时，指的是时刻
- B. 物体在 5 s 内指的是物体在 4 s 末到 5 s 末这 1 s 的时间
- C. 物体在第 5 s 内指的是物体在 4 s 末到 5 s 末这 1 s 的时间
- D. 第 4 s 末就是第 5 s 初，指的是时刻

解析 解答本题的关键是正确理解“时”、“初”、

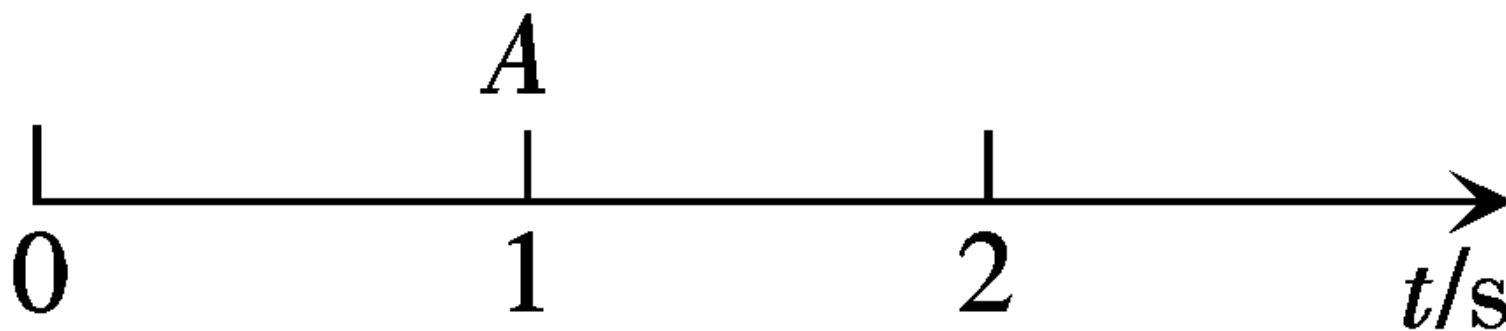
“末”、“内”等字在表示时刻和时间间隔时的不同含义

选项	内容指向, 联系分析	结论
A	5 s 时和 5 s 末是指同一时刻	正确
B	5 s 内是指物体在 1 s 初到 5 s 末这 5 s 的时间	错误
C	第 5 s 内是指第 4 s 末到第 5 s 末这 1 s 的时间	正确
D	第 4 s 末和第 5 s 初指同一时刻, 在时间轴上二者对应同一点	正确

答案 ACD

点评 (1) 时刻是一状态量, 时间是一过程量, 区分二者的关键是看它们对应的是一个状态还是一段过程.

(2) 在时间轴上，要注意同一点的不同说法。如图所示，A 点表示第 1 s 末或第 2 s 初，但不要理解成第 1 s 初。



变式训练 1

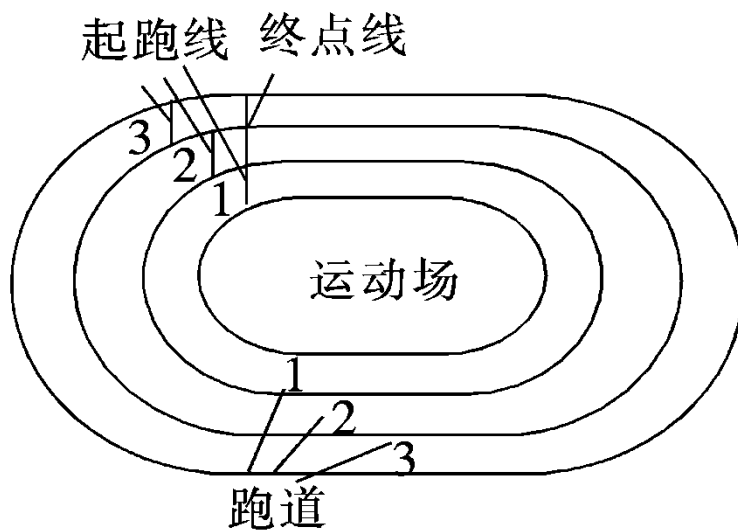
下列的计时数据指时间的是 ()

- A. 天津开往德州的列车于 13 时 35 分从天津发车
- B. 某人用 15 s 跑完 100 m
- C. 中央电视台新闻联播节目 19 时开播
- D. 1997 年 7 月 1 日零时中国对香港恢复行使主权

答案 B

二、位移和路程的区别

例 2 如图 2-1 所示，在 2008 年北京奥运会上，甲、乙两运动员分别参加了在主体体育场举行的 400 m 和 100 m 田径决赛，且两人都是在最内侧跑道完成了比赛。则两人在各自的比赛过程中通过的位移大小 $x_{甲}$ 、 $x_{乙}$ 和通过的路程大小 $l_{甲}$ 、 $l_{乙}$ 之间的关系是 ()



A. $x_{甲} > x_{乙}$, $l_{甲} < l_{乙}$

B. $x_{甲} < x_{乙}$, $l_{甲}$

$> l_{乙}$

C. $x_{甲} > x_{乙}$, $l_{甲} > l_{乙}$

D. $x_{甲} < x_{乙}$, $l_{甲} < l_{乙}$



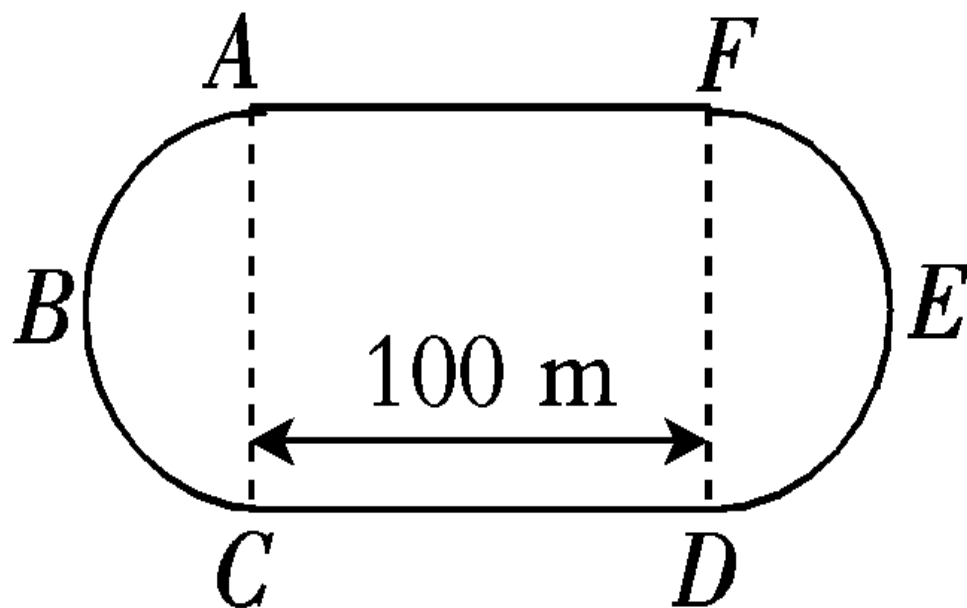
解析 田径场上的跑道如图所示. 400 m 比赛要从起点环绕跑道一圈, 圈子最内侧跑道的起点和终点重合. 因此, 路程 $l_{\text{甲}} = 400 \text{ m}$, 位移 $x_{\text{甲}} = 0$; 而 100 m 比赛是直道, 路程 $l_{\text{乙}} = 100 \text{ m}$, 位移 $x_{\text{乙}} = 100 \text{ m}$. 显然 $x_{\text{甲}} < x_{\text{乙}}$, $l_{\text{甲}} > l_{\text{乙}}$.

答案 B

点评 田径比赛的问题, 首先要了解田径场的情况; 其次要对运动员参赛项目比赛规则要有所了解. 故体育比赛对物理学的研究起一定的作用.

变式训练 2

如图 2-2 所示, 一操场跑道全长 400 m, 其中 CD 和 FA 为 100 m 长的直道, 弯道 ABC 和 DEF 均为半圆形, 长度均为 100 m. 一运动员从 A 点开始起跑, 沿弯道 ABC 和直道 CD 跑到 D 点, 求该运动员在这段时间内的路程和位移.



解析 设半圆形弯道半径为 R , 则有: $\pi R = 100 \text{ m}$, 所以

$$R = \frac{100}{\pi} \text{ m} = 31.85 \text{ m}.$$

运动员的位移大小为: $x = \sqrt{x_{CD}^2 + (2R)^2} = 118.57 \text{ m}$. 位移方向由 A 指向 D , 与 AF 成夹角 φ , 则有:

$$\tan \varphi = \frac{2R}{s_{CD}} = 60.6370, \text{ 查三角函数表得: } \varphi = 32.50^\circ.$$

运动员的路程为: $l = x_{ABC} + x_{CD} = 100 \text{ m} + 100 \text{ m} = 200 \text{ m}$.

答案 路程为 200 m , 位移为 118.57 m , 方向由 A 指向 D

三、直线运动中的位置和位移

例 3 在如图 2-3 所示的坐标系中，物体由 A 点沿直线运动到 B 点，再由 B 点沿直线返回到 C 点，试分别求出物体从 A 到 B 、从 B 到 C 、从 A 到 C 三段的路程和位移。

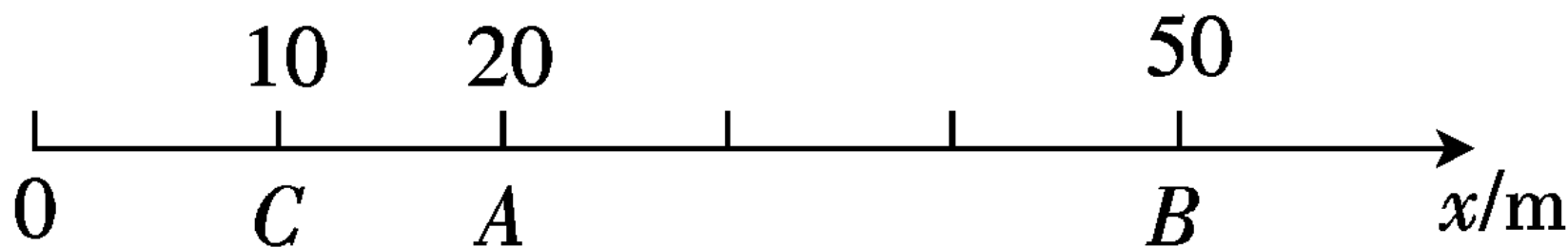


图 2-3

解析 根据定义去求路程和位移，在位移轴上，位移等于坐标值的变化量。

路程就是轨迹的长度，所以质点在三个阶段的路程分别为：

$$l_{AB} = 30 \text{ m}, \quad l_{BC} = 40 \text{ m}$$

$$l_{AC} = l_{AB} + l_{BC} = 30 \text{ m} + 40 \text{ m} = 70 \text{ m}$$

三个阶段的位移分别为：

$$x_{AB}' = x_B - x_A = 30 \text{ m}$$

$$x_{BC}' = x_C - x_B = 10 \text{ m} - 50 \text{ m} = -40 \text{ m}$$

$$x_{AC}' = x_C - x_A = 10 \text{ m} - 20 \text{ m} = -10 \text{ m}$$

负号表示位移的方向与 x 轴正方向相反。

答案 路程分别为 30 m、40 m、70 m 位移分别为 30 m、-40 m、-10 m

互动平台

育才老师和细心同学关于时间和时刻的对话

细心：我国有句俗语叫做“寸金难买寸光阴”。

“寸”本是长度的单位，“寸金”可以理解，可是“寸光阴”就让人费解了，度量长度的单位“寸”怎么能够用来度量时间呢？

育才：问得好。说来话长，古代计时工具不发达，人们就用漏壶滴水来计时，在壶的中央插上一根箭杆，箭杆上刻上刻度，随着水面下降，露出水面的刻度越来越多，这就是“时刻”这一词的起源。

细心：老师，我明白了。“寸光阴”就是指漏壶中的水面下降一寸所需要的时间。

育才：对。有一出京剧名剧叫做《文昭关》，其中有一句唱词是“寅夜漏声催晓箭”，说的就是伴随着不停的漏声，壶中的箭杆越露越长，天就要亮了。

细心：看来“时刻”是指箭杆上的刻度，而“时间”应是指刻度与刻度间的距离。

育才：现在的计时工具已远非当年的铜壶滴漏可比了。那么，第3 s末、第4 s初、3 s内、第3 s内分别表示什么？

细心：第3 s末、第4 s初为时刻，且为同一时刻，与状态量对应；3 s内(0 ~ 第3 s末)、第3 s内(第2 s末 ~ 第3 s末)均为时间，与过程量对应。

粗心同学和细心同学关于质点的对话

粗心：地球很大，是不能看做质点的。

细心：地球相对宇宙大不大？

粗心：不大。

细心：地球绕太阳运动时，能不能看做质点呢？

粗心：地球的大小跟地球与太阳间的距离相比很小，所以可将地球看做质点。我明白了，物体本身的尺寸大小不是能否将其看做质点的标准。

同步达标

一、选择题（本题共 6 小题，每小题 5 分，共 30 分，每题至少有一个选项是正确的）

1. 关于时间和时刻，下列说法正确的是（ ）
- A. 时间很长，时刻很短
 - B. 第 2 s 内和 2 s 都是指一段时间间隔
 - C. 时光不能倒流，因此时间是矢量
 - D. “北京时间 12 点整”其实指的是时刻

解析 时间指一过程，时刻指某一瞬时，选项 A 错误；第 2 s 内和 2 s 都指时间间隔，选项 B 正确；时间是标量，选项 C 错误；“12 点整”指时刻，选项 D 正确。

答案 BD

2. 关于位移和路程, 下列说法正确的是 ()

A. 位移和路程是相同的物理量

B. 路程是标量, 即表示位移的大小

C. 位移是矢量, 位移的方向即质点运动的方向

D. 若物体做单一方向的直线运动, 位移的大小等于路程

解析 位移是由初始位置指向终止位置的有向线段, 是矢量, 位移的大小等于这段直线段的长度; 路程是标量, 是物体运动轨迹的总长度, 只有质点一直向着单一方向运动时, 位移的大小才等于路程.

答案 D



3. 下列说法正确的是 ()

- A. 学校作息时间表上的“学生上第一节课的时间为 8:00”是指时间间隔
- B. 火车站公布的旅客列车运行表是时刻表
- C. 体育老师用秒表记录某同学完成百米短跑的记录值是时间间隔
- D. 神舟七号绕地球飞行 45 周, 耗时 68 时 27 分钟是时刻

答案 BC

4. 氢气球升到离地面 80 m 高空时从上面掉落下一物体，物体又上升了 10 m 高后开始下落，若取向上为正，则物体从掉落开始至落地时的位移和经过的路程分别为 ()

A. 80 m, 100 m

B. - 80 m, 100 m

C. 90 m, 180 m

D. 90 m, - 180 m

解析 位移是矢量，有大小和方向，当选择向上方向为正时，向下即为负，故正确表示位移应为一 80 m.

答案 B

5. 一质点在 x 轴上运动, 各个时刻的位置坐标如下表所示, 则此质点开始运动后 ()

$t(\text{s})$ 末	0	1	2	3	4	5
$x(\text{m})$	0	5	-4	-1	-7	1

A. 第 1 s 内的位移最大
移最大

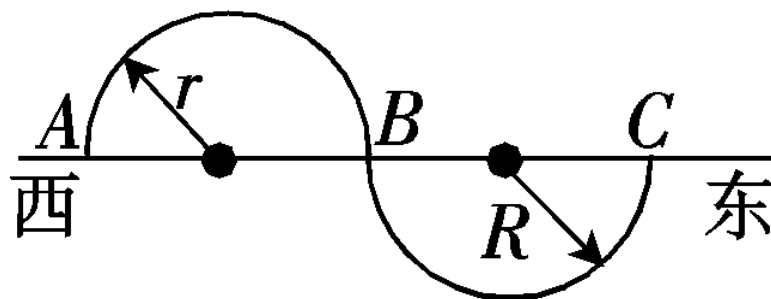
B. 第 4 s 内的位

C. 第 2 s 内的位移最大
最小

D. 第 3 s 的路程

答案 C

6. 物体沿半径分别为 r 和 R 的半圆弧由 A 点经 B 点到达 C 点, 如图所示. 则它运动的位移和路程分别是 ()



- A. $2(R+r)$; $\pi(R+r)$
- B. $2(R+r)$, 向东; $2\pi R$, 向东
- C. $2\pi(R+r)$, 向东; $2\pi(R+r)$
- D. $2(R+r)$, 向东; $\pi(R+r)$

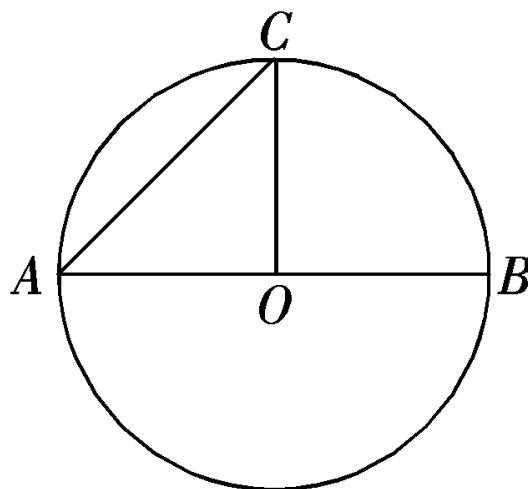
解析 位移是由初位置指向末位置的矢量, 其大小等于 A 、 C 间的距离, 即 $x = 2r + 2R = 2(R+r)$, 方向由 A 指向 B , 即向东. 路程是标量, 其大小等于两半圆弧长度之和, 即 $l = \pi r + \pi R = \pi(R+r)$, 没有方向.

答案 D

二、计算题 (本题共 2 小题, 共 20 分, 每小题 10 分)

7. 一质点绕半径为 R 的圆运动了一周, 其位移和路程分别是多少? 若质点运动了 $1\frac{3}{4}$ 周, 其位移和路程分别是多少? 后一运动过程中最大位移和最大路程分别是多少?

解析 质点绕半径为 R 的圆运动一周, 位置没有变化, 位移是零, 走过的路程是 $2\pi R$. 质点运动 $1\frac{3}{4}$ 周, 设从 A 点开始逆时针运动, 则末位置为 C , 如图所示:



其位移为由 A 指向 C 的有向线段, 大小为 $\sqrt{2}R$, 路程即
轨迹的总长为 $1\frac{3}{4}$ 个周长, 即 $\frac{7}{2}\pi R$; 后一运动过程中当由 A 到
 B 点时, 取得最大位移 $2R$, 最大路程即为 $\frac{7}{2}\pi R$.

答案 0 $2\pi R$ $\sqrt{2}R$ $\frac{7}{2}\pi R$ $2R$ $\frac{7}{2}\pi R$

8. 2007年4月18日, 我国铁路第六次大面积提速, 重点城市间大量开行时速200公里及以上动车组旅客列车 --“和谐号” CRH系列国产化动车组列车. 下表是D665次动车组列车运行的时刻表. 试求D665次动车组列车从上海到海宁、杭州、义乌、金华的时间. (保留两位有效数字)

D665 次列车时刻表

停靠站	到达时刻	开车时刻	里程 (km)
上海南	—	13 : 12	0
海宁	13 : 59	14 : 01	108
杭州	14 : 35	14 : 37	173
义乌	15 : 25	15 : 27	312
金华西	15 : 53	—	360



解析 从上海到海宁的时间为： 47 分
从上海到杭州的时间为： 1 小时 23 分
从上海到义乌的时间为： 2 小时 13 分
从上海到金华的时间为： 2 小时 41 分.

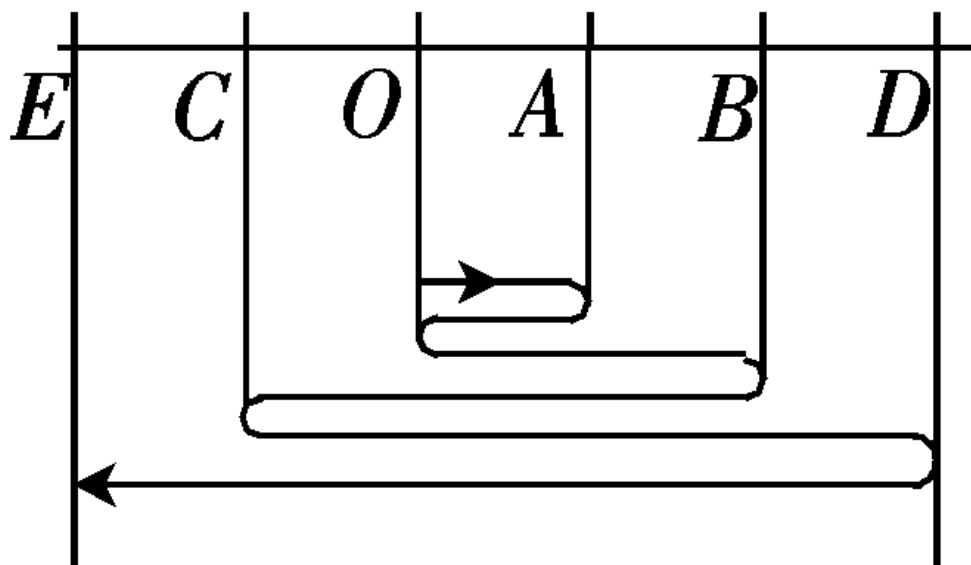
附加探究题 (10 分)

9. 在运动场的一条直线跑道上，每隔 5 m 距离放置一个空瓶子，运动员在进行往返跑训练，从中间某一瓶子出发，跑向最近的空瓶将其扳倒后再扳倒出发点处的第一个瓶子，之后再往返到前面的最近处的瓶子，依次下去，当他扳倒第 6 个空瓶时，他跑过的路程为多大，位移是多大？

探究思路 从 O 点出发, 如图所示

路程: $(2 \times 5 + 10 + 15 + 20 + 25) \text{ m} = 80 \text{ m}$

位移: $OE = 10 \text{ m}$



答案 路程为 80 m 位移大小为 10 m

课时 3 运动快慢的描述—速度

课前导航

著名物理学家、诺贝尔奖获得者费恩曼

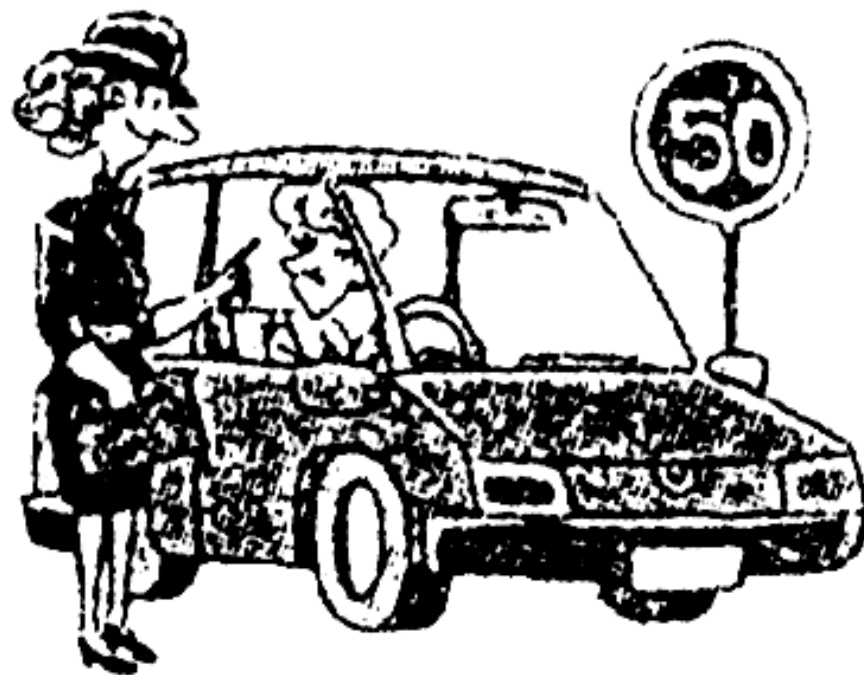
(*R.P.Feynman*, 1918 ~ 1988 年) 曾讲过这样一则笑话:

一位女士由于驾车超速而被警察拦住. 警察走过来对她说: “太太, 您刚才的车速是 60 英里每小时!” (1 英里 = 1.609 千米) 这位女士反驳说: “不可能的! 我才开了 7 分钟, 还不到一个小时, 怎么可能走了 60 英里呢?”

“太太, 我的意思是: 如果您继续像刚才那样开车, 在下一个小时里您将驶过 60 英里。” “这也是不可能的, 我只要再行驶 10 英里就到家了, 根本不需要再开过 60 英里路程。”

请你思考：

1. 交警所说的“60英里每小时”指的是什么？
2. 这位女士狡辩的根据是什么？
3. 假如你是交警，你如何说服这位女士？



基础梳理

速度

坐标和坐标的变化量：在直线运动中，以此直线为 x 坐标轴，便可用坐标表示物体的位置，而用坐标的变化表示物体的位移。 Δx 的大小表示位移的大小， Δx 的方向表示位移的方向， Δx 为正值表示位移沿 x 轴正方向， Δx 为负值表示位移沿 x 轴负方向。

定义：物理学中位移与发生这个位移所用时间的比值叫速度，通常用字母 v 表示。

$$\text{公式：} v = \frac{\Delta x}{\Delta t}.$$

速度

物理意义：速度是用来表示物体运动快慢和运动方向的物理量，同时也是描述物体位置变化快慢的物理量。速度越大，表示物体运动得越快，其位置变化也越快。速度是矢量，既有大小，又有方向。速度的大小在数值上等于单位时间内物体位移的大小，速度的方向就是物体运动的方向。

单位：m/s、km/h、cm/s 等。

知识精析

一、平均速度

1. 平均速度：反映一段时间内物体运动的平均快慢程度，它与一段位移或一段时间相对应，不指出对应哪一个过程的平均速度是没有意义的。

2. 比较平均速度与瞬时速度

(1) 含义：平均速度指某过程中物体位置变化的平均快慢程度；瞬时速度指某时刻或某处物体运动的快慢程度。

(2) 对应：平均速度对应某个过程，如一段时间、一段位移；瞬时速度对应某个状态，如时刻、位置。

(3)大小：平均速度计算 $\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ ，瞬时速度计算 $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ (Δt 趋近于 0).

(4)方向：平均速度方向指该过程中位移的方向。

瞬时速度方向指该状态物体运动的方向，或运动轨迹上该处的切线方向。

(5)关联点：当某运动过程的时间极短时即 Δt 趋于 0 时，平均速度即为瞬时速度；当物体做匀速直线运动时，平均速度等于瞬时速度。

二、位移—时间图象

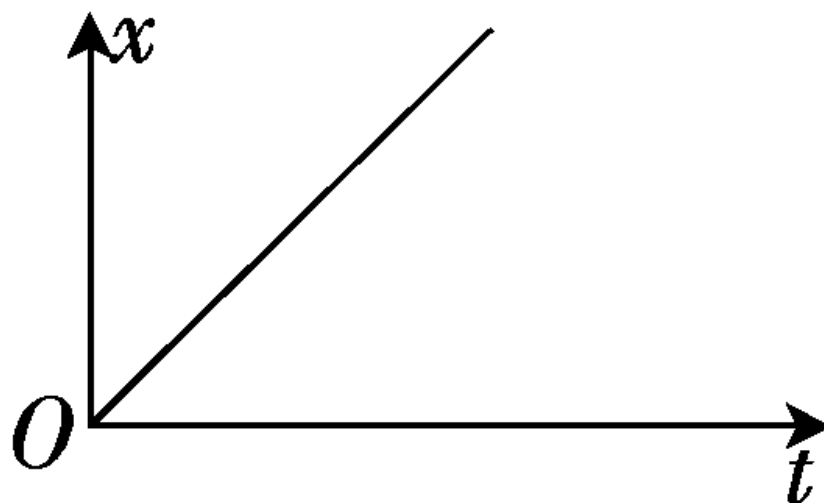


图 3 - 1

1. 位移—时间图象 ($x - t$ 图象)：在如图 3 - 1 所示的直角坐标系中，用来描述位移 x 与时间 t 关系的图象叫位移—时间图象或 $x - t$ 图象。

2. 利用 $x - t$ 图象描述物体的运动

(1) 从 $x - t$ 图象中可以找出物体在各个时刻对应的位移。

(2) 若物体做匀速直线运动，则 $x - t$ 图象是一条倾斜的直线，直线的斜率表示物体的

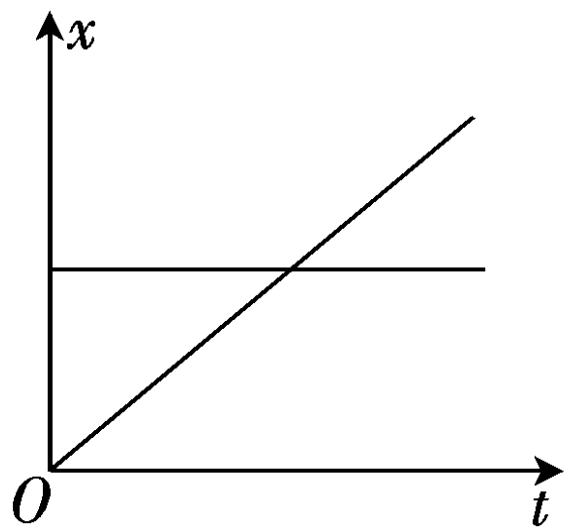


图 3 - 2

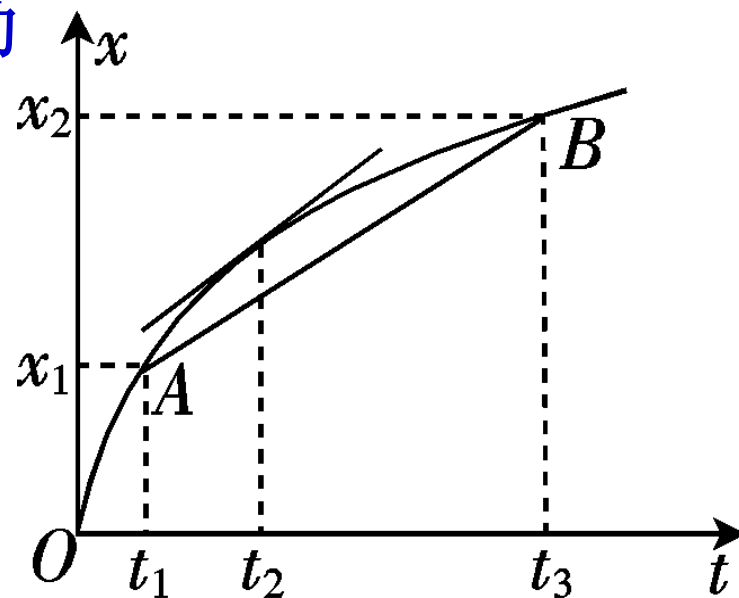


图 3 - 3

(3) 若 $x - t$ 图象与时间轴平行，表示物体处于静止状态，如图 3 - 2 所示。

(4) 若物体做非匀速运动，则 $x - t$ 图象是一条曲线，如图 3 - 3 所示，在时间 $t_1 \sim t_3$ 内的平均速度等于直线 AB 的斜率， t_2 时刻对应图象上点的切线的斜率表示该点的瞬时速度。

方法指导

一、理解速度和速率

例 1 关于速率和速度，下列说法不正确的是（ ）

- A. 平均速率就是平均速度
- B. 瞬时速率是指瞬时速度的大小
- C. 匀速直线运动中任意一段时间内的平均速度都等于其任一时刻瞬时速度
- D. 匀速直线运动中任何一段时间内的平均速度均相等

解析 速度与速率是两个不同的概念，且前者是矢量，后者是标量。选项 A 中，平均速率是路程与时间的比值，而平均速度是位移与时间的比值，一般情况下，路程是大于位移的，所以两者大小不一定相等，而且平均速率无方向，也不同于平均速度，故选项 A 错误。选项 B 是瞬时速率定义表述的内容，正确。在特殊的匀速直线运动中，由于相等时间内位移相等，而且位移大小与路程也相等，所以选项 C、D 都正确。

答案 A

二、平均速度的计算

例 2 甲做变速直线运动，前一半位移平均速度为 v_1 ，后一半位移平均速度为 v_2 ，全程的平均速度为多大？

解析 本题考查对平均速度公式 $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ 的理解及应用，求出全程的位移 Δx 和所用时间 Δt 是解题的关键。

计算平均速度要根据公式 $\bar{v} = \frac{x}{t}$ ， x 与 t 有对应关系。要求全程平均速度，设 x 为全程位移， t 为全

程所用时间，则据题意可将运动时间表示为 $t_1 = \frac{x}{v_1}$ ，

$t_2 = \frac{x}{v_2}$, 即全程平均速度为:

$$\bar{v} = \frac{x}{t} = \frac{x}{t_1 + t_2} = \frac{x}{\frac{x}{v_1} + \frac{x}{v_2}} = \frac{2v_1 \cdot v_2}{v_1 + v_2}$$

答案 $\frac{2v_1 \cdot v_2}{v_1 + v_2}$

点评 求一段时间内的平均速度时, 应直接应用

公式 $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ 去求, 不能求成速度的平均值.

变式训练 1

(1) 甲做变速直线运动，若甲前一半时间的平均速度为 v_1 ，后一半时间的平均速度为 v_2 ，则全程的平均速度多大？

(2) 甲做变速直线运动，若甲前一半时间内的平均速度为 v_1 ，全程的平均速度为 v_2 ，则后一半时间内的平均速度是多少？

解析 (1) 设全程时间为 t ，由题意知，前一半时间内的位移为 $v_1 \frac{t}{2}$ ，后一半时间内的位移为 $v_2 \frac{t}{2}$ ，则全程的平均速度为：

$$\bar{v} = \frac{x}{t} = \frac{v_1 \frac{t}{2} + v_2 \frac{t}{2}}{t} = \frac{v_1 + v_2}{2}.$$

(2) 设全程的时间为 t , 后一半时间内的平均速度为 v , 则前一半时间内的位移为 $v_1 \frac{t}{2}$, 后一半时间内的位移为 $v \frac{t}{2}$, 全程的位移为 $v t$

所以 $v t = v_1 \frac{t}{2} + v \frac{t}{2}$, 故 $v = 2v - v_1$.

答案 (1) $\frac{v_1 + v_2}{2}$ (2) $2v - v_1$

三、利用 $x - t$ 图象分析物体的运动

例 3 图 3 - 4 所示是做直线运动的甲、乙两物体相对于同一参考系的位移—时间 ($x - t$) 图象，下列说法错误的是 ()

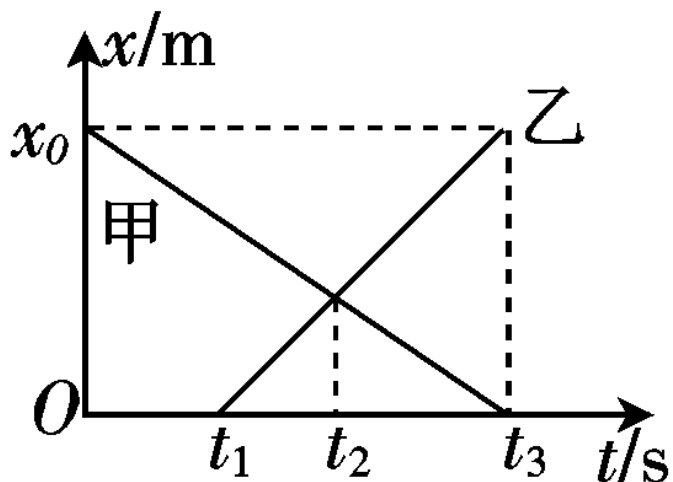


图 3 - 4

- A. 甲启动的时刻比乙早 t_1 s
- B. 当 $t = t_2$ 时，两物体相遇
- C. 当 $t = t_2$ 时，两物体相距最远
- D. 当 $t = t_3$ 时，两物体相距 x_0 m

解析 甲从 $t = 0$ 时刻开始出发，乙在 $0 \sim t_1$ 这段时间内保持静止，故甲比乙早出发的时间为 t_1 s，选项 A 正确。当 $t = t_2$ 时，甲、乙两物体的位移相等，即甲、乙两物体相遇，选项 B 正确、选项 C 错误；当 $t = t_3$ 时，甲的位移为零，乙的位移为 x_0 ，两物体相距 x_0 ，选项 D 正确。

答案 C

点评 解析图象问题要将图象与实际运动情况结合起来，以便建立清晰的物理情境。注意坐标轴的含义，起点、交点的物理意义，以及斜率和面积的意义。

变式训练 2

百米赛跑中，甲、乙、丙三人从一开始就做匀速直线运动，甲按时起跑，乙比甲落后 0.5 s 起跑，丙抢跑的距离为 1 m ，试说明图 3-5 中的 A 、 B 、 C 三条图线分别表示的是谁的图象并比较他们的速度大小。

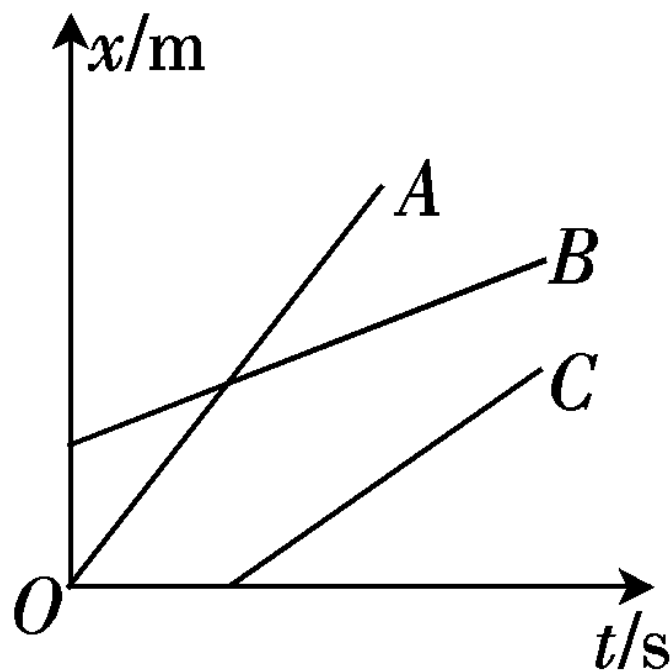


图 3-5

解析 甲按时起跑，说明甲的图线是 A，乙比甲落后 0.5 s，说明乙的图线是 C，丙抢跑 1 m，说明丙的图线是 B.

在 $x - t$ 图象中，图线的斜率表示速度，从 A、B、C 三条图线斜率的大小可得出甲、乙、丙三人的速度大小关系为： $v_{甲} > v_{乙} > v_{丙}$.

答案 A—甲，B—丙，C—乙 $v_{甲} > v_{乙} > v_{丙}$

互动平台

育才老师与细心同学、粗心同学关于平均速度的对话

粗心：凡是平均数就应该是两数相加除以 2.

育才：其实常见的平均数有如下几种.

①算术平均数，公式为
$$m = \frac{a_1 + a_2 + \cdots + a_n}{n}$$

②几何平均数，公式为
$$g = \sqrt[n]{a_1 a_2 \cdots a_n}$$

③调和平均数，公式为
$$h = \frac{n}{\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} + \cdots + \frac{1}{a_n}}$$

在不同的情况下，应选用不同的平均数，否则就会出现错误.

细心：根据平均速度的定义，平均速度应当是第③种，即调和平均数。

育才：对。根据平均速度的定义可知， $\bar{v} = \frac{2x}{\frac{x}{v_1} + \frac{x}{v_2}} =$

$\frac{2}{\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2}}$ 。显然， \bar{v} 是调和平均数 $h = \frac{2}{\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2}}$ 。当然，在有些

情况下，三种平均数可能意义相同。如果 $v_1 = v_2$ ，那么，平均速度既可用算术平均数求得 ($\bar{v} = \frac{v_1 + v_2}{2} = v_1$)，也可

用调和平均数求得 ($\bar{v} = \frac{2}{\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2}} = \frac{2v_1v_2}{v_1 + v_2} = \frac{2v_1^2}{2v_1} = v_1$)。

粗心：原来我对于平均数的认识是狭隘的。平均数有这么多种类，不能一遇上求平均值的问题就几个数相加再除以几。我以后会注意的。

同步达标

一、选择题（本题共 8 小题，每小题 5 分，共 40 分，每题至少有一个选项是正确的）

1. 下列有关平均速度的说法中，正确的是（ ）

A. 平均速度为始末速度和的一半

B. 平均速度是路程与时间的比值

C. 平均速度是标量

D. 平均速度与位移段的选取密切相关

解析 平均速度的大小是物体一段时间内发生的位

移与这段时间的比值，即： $\bar{v} = \frac{x}{t}$ ，是矢量。而时间段与

位移段相对应。因而选项 D 正确，B、C 错误。只有匀

变直线运动才一定有 $\bar{v} = \frac{v_0 + v_t}{2}$ ，选项 A 错误。

答案 D

2. 下列描述的几个速度中，属于瞬时速度的是 ()

- A. 子弹以 790 m/s 的速度击中目标
- B. 信号沿动物神经传播的速度大约为 10^2 m/s
- C. 汽车上速度计的示数为 80 km/h
- D. 台风以 36 m/s 的速度向东北方向移动

解析 瞬时速度是物体在某一时刻或某一位置的速度，

所以选项 A、C 正确，B、D 错误。

答案 AC

3. 雨滴落在窗台的速度为 5 m/s ，经过窗户的速度是 4 m/s ，则 ()

- A. 5 m/s 是平均速度
- B. 5 m/s 是瞬时速度
- C. 4 m/s 是平均速度
- D. 4 m/s 是瞬时速度

解析 平均速度是一个过程中的速度，它与一段时间或一段位移对应，瞬时速度是某时刻或某位置的速度，它与时刻和位置对应，选项 B、C 正确。

答案 BC

4. 下列关于速度的说法中, 正确的是 ()

A. 速度是表示物体运动快慢的物理量, 它既有大小, 又有方向

B. 平均速度就是速度的平均值, 它只有大小没有方向

C. 汽车以速度 v_1 经过某一路标, 子弹以速度 v_2 从枪口射出, v_1 和 v_2 均指平均速度

D. 运动物体经过某一时刻 (或某一位置) 的速度, 叫瞬时速度, 它是矢量

解析 速度的物理意义就是描写物体运动的快慢, 它是矢量, 有大小, 也有方向, 故选项 A 正确. 平均速度指物体通过的位移和通过这段位移所用时间的比值, 它描写变速直线运动的平均快慢程度, 不是速度的平均值, 它也是矢量, 故选项 B 错误. 选项 C 中 v_1 、 v_2 对应某一位置, 为瞬时速度, 故选项 C 错误. D 为瞬时速度的定义, 故选项

项 D 正确



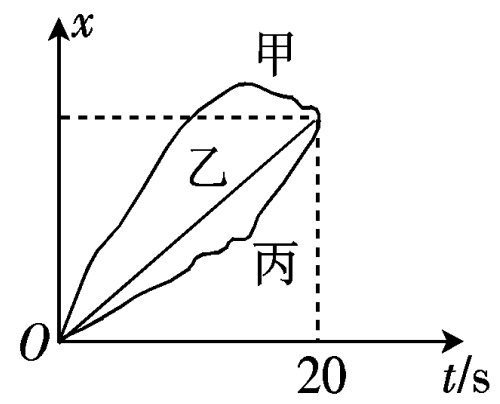
5. 一辆汽车向东行驶，在经过路标甲时速度计指示为 50 km/h ，行驶一段路程后，汽车转向北行驶，经过路标乙时速度计指仍为 50 km/h ，下列说法正确的是 ()

- A. 汽车经过甲、乙两路标时的速度相同
- B. 汽车经过甲、乙两路标时的速率不同
- C. 汽车经过甲、乙两路标时的速率相同，但速度不同
- D. 汽车向东行驶和向北行驶两过程平均速度相同

解析 题目中给出的两个速度均为瞬时速度，大小相等，方向不同，故选项 A、B 错误，C 正确；汽车向东行驶和向北行驶的平均速度无法计算，故选项 D 错误。

答案 C

6. 甲、乙、丙三个物体同时同地做直线运动，它们的位 $x-t$ 图象如图所示。在 20 s 内它们的平均速度和平均速率的大关系是 ()



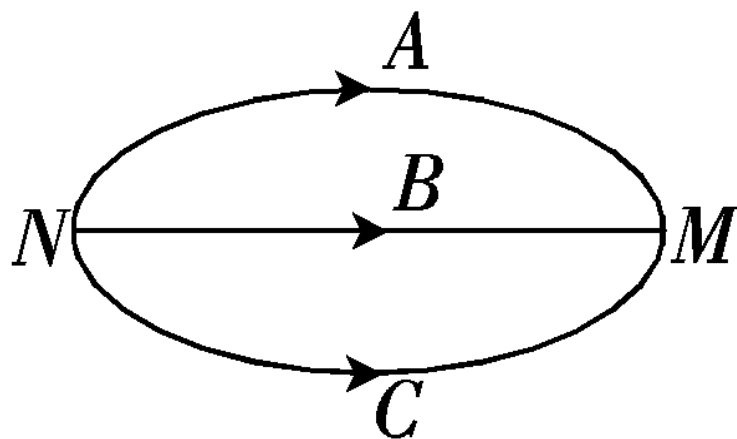
- A. 平均速度大小相等，平均速率 $v_{甲} = v_{乙} = v_{丙}$
- B. 平均速度大小相等，平均速率 $v_{甲} > v_{丙} > v_{乙}$
- C. 平均速度 $v_{甲} > v_{丙} = v_{乙}$ ，平均速率相等
- D. 平均速度和平均速率大小均相等

解析 由平均速度的计算式 $v = \frac{x}{t}$ 可以看出选项 A 正

确，注意甲、乙、丙由同一位置出发，终止于同一位置，且 $x-t$ 图象不表示物体的运动轨迹。

答案 A

7. 三个质点 A 、 B 、 C 的运动轨迹如图所示，三个质点同时从 N 点出发，同时到达 M 点，下列说法正确的是 ()

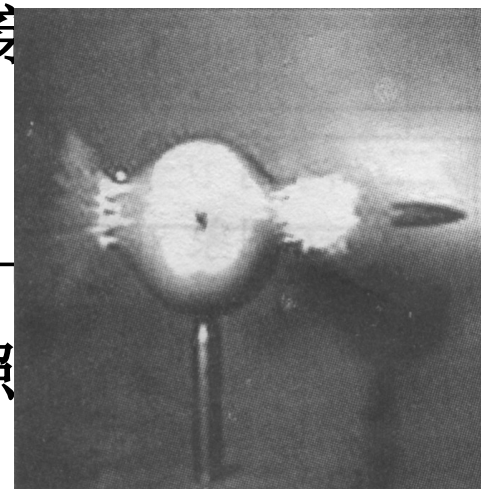


- A. 三个质点从 N 到 M 的平均速度相同
- B. B 质点从 N 到 M 的平均速度方向与任意时刻瞬时速度方向相同
- C. 到达 M 点的瞬时速率一定是 A 的大
- D. 三个质点到 M 时的瞬时速率相同

解析 三个质点的运动的初、末位置相同，故位移相同，又时间一样，故平均速度相同。 B 质点沿 NM 直线运动但有可能往返，故不能断定平均速度方向与任意时刻的瞬时速度方向相同，选项 B 错误， C 项无法判定。到达 M 时，三者的瞬时速率大小无法确定。

答案 A

8. 图示为高速摄影机拍摄到的子弹穿透苹果瞬间的照片. 该照片经放大后分析出, 在曝光时间内, 子弹影像前后错开的距离约为子弹长度的 1% ~ 2%. 已知子弹飞行速度约为 500 m/s, 由此可估算出这幅照片的曝光时间最接近 ()



- A. 10^{-3} s B. 10^{-6} s C. 10^{-9} s D.

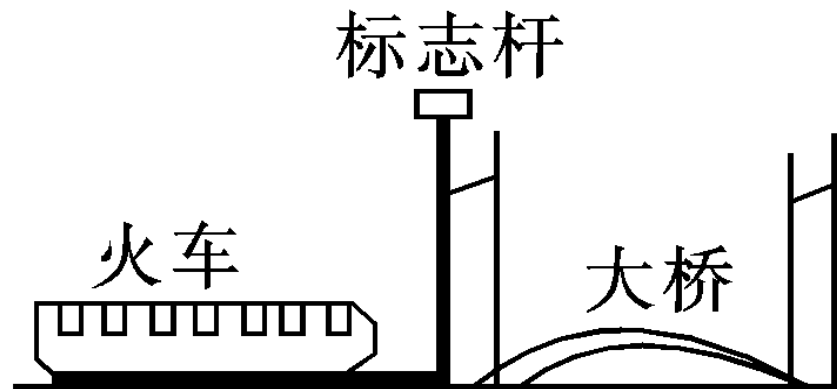
解析 子弹的长度大约 2.5 cm, 所以曝光时间内的位移大约为 $x = 2.5 \times 10^{-2} \times 2\%$ m, 又已知子弹的速度 $v =$

$$500 \text{ m/s}, \text{ 所以曝光时间 } t = \frac{x}{v} = \frac{2.5 \times 10^{-2} \times 2\%}{500} \text{ s} = 10^{-6} \text{ s},$$

故选项 B 正确.

二、计算题 (10 分)

9. 如图所示，一列火车长 100 m，速度为 5 m/s. 它通过一根直径为 2 cm 的标志杆约需要多长时间？它通过长为 50 m 的大桥需要多长时间？



答案 20 s 30 s

附加探究题 (10 分)

10. 火车在甲、乙两站之间匀速行驶，一位同学根据铁路旁电杆的标号观察火车的运动情况，在 5 min 时间里，他看见电杆的标号从 100 增到 200. 如果已知两根电杆之间的距离是 50 m，甲、乙两站相距 $l=72$ km，根据这些数据，试探究分析火车的速度是多少？

探究思路

在 5 min 的时间里

火车运动的位移 $x=50 \times 100$ m = 5000 m

$$t=5 \text{ min}=300 \text{ s} \quad v=\frac{x}{t}=\frac{5000}{300} \text{ m/s}=\frac{50}{3} \text{ m/s}$$

从甲站到乙站所用时间为：

$$t'=\frac{l}{v}=\frac{72 \times 10^3}{\frac{50}{3}} \text{ s}=4320 \text{ s}=72 \text{ min.}$$

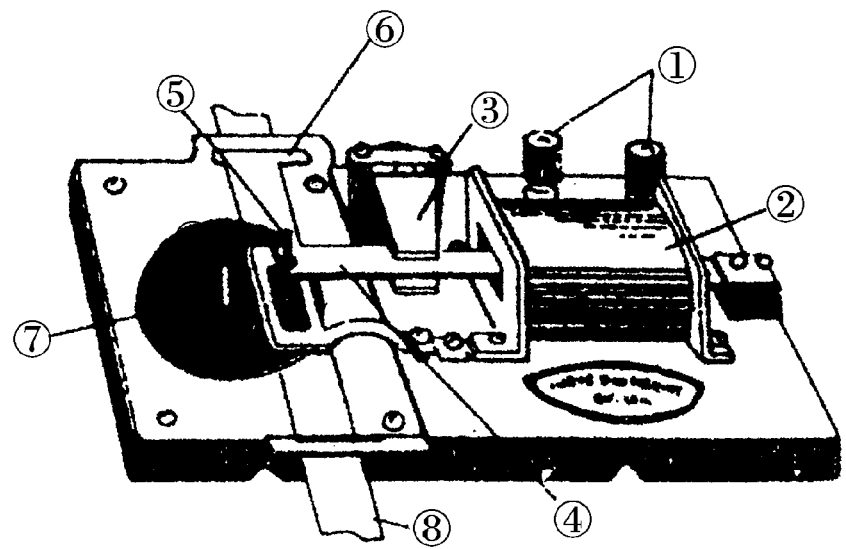
答案 72 min

课时 4 实验：用打点计时器测速度

课前导航

1. 电磁打点计时器

图 4 - 1 所示是电磁打点计时器的构造图，图中标出了几个主要部件的代号及名称。



- ①接线柱
- ②线圈
- ③永久磁铁
- ④振片
- ⑤振针
- ⑥限位孔
- ⑦复写纸
- ⑧纸带

图 4 - 1

当给电磁打点计时器通电后，线圈产生磁场，放在线圈中的振片被磁化，由于线圈通的是交变电流，电流方向不断变化，振片就会因反复地受到向上、向下的吸引而不停地振动起来。当交变电流的频率是 **50 Hz** 时，电磁打点计时器的振针每 **0.02 s** 打下一个点。

2. 电火花计时器

图 4 - 2 所示是电火花计时器的构造图。图中标出了几个主要部件的代号，它们的名称见图。

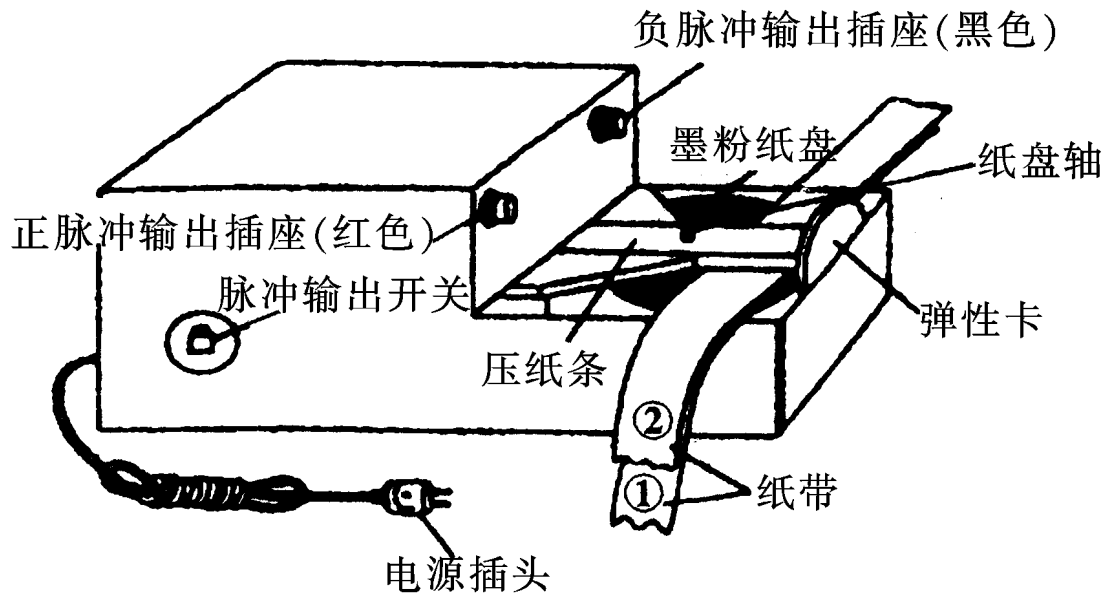


图 4 - 2

电火花计时器是利用火花放电使墨粉在纸带上打出墨点而显示出点迹的计时仪器。当电源的频率是 50 Hz 时，它的脉冲放电周期也是 0.02 s ，即每隔 0.02 s 打下一个点。

请你思考：

1. 为什么打点计时器不能使用直流电源？
2. 假设交流电源的频率不是 50 Hz ，而是 60 Hz ，打点计时器还是每隔 0.02 s 打一个点吗？这时它将每隔多长时间打下一个点？

基础梳理

打点计时器	打点计时器是一种记录物体运动 <u>位移</u> 和 <u>时间</u> 信息的仪器。
	<p>电磁打点计时器：工作电压为<u>6 V</u>以下，当接通电源时，在线圈和永久磁铁的作用下，振片便振动起来，振针也就跟着上下振动。如果电源的频率为50 Hz，振针就会通过复写纸每隔<u>0.02 s</u>在纸带上打出一个点。</p> <p>电火花计时器：使用时，<u>墨粉纸盘</u>套在纸盘轴上，接通<u>220 V</u>交流电源，按下脉冲输出开关时，计时器发出的脉冲电流经放电针、墨粉纸盘到纸盘轴，产生火花放电。当电源的频率是50 Hz时，每隔<u>0.02 s</u>在纸带上打出一个点。</p>
用打点计时器测速度	方法步骤
	(1)把电火花计时器固定在桌子上，检查 <u>墨粉纸盘</u> 是否已经正确地套在纸盘轴上。
	(2)把计时器上的电源插在 <u>220 V</u> 的 <u>交流电源</u> 上。
	(3)按下脉冲输出开关，用手水平地拉动两条纸带，纸带上就打上一列小点，随后立即 <u>关闭电源</u> 。
	(4)取下纸带，从能看得清的某个点开始，数一数纸带上共有多少个点。如果共有 n 个点，点的间隔数则为 $(n-1)$ 个，用 $t=0.02\text{ s}\times(n-1)$ 就可以计算出纸带的运动时间。
测瞬时速度	(5)用 <u>刻度尺</u> 测量出第一个点到第 N 个点的距离。
	<p>测平均速度：用毫米刻度尺量出某两个点间的距离 Δx，数出点迹的间隔数 n，则打这两点的时间间隔 $\Delta t=0.02n\text{ s}$，由 $\bar{v}=\frac{\Delta x}{\Delta t}$ 算出<u>平均速度</u>。</p> <p>测瞬时速度：先测量包括某点在内的两点间的平均速度，用来代替该点的<u>瞬时速度</u>，这两点离该点越近，平均速度越<u>接近</u>该点的瞬时速度。</p>
描绘速度	时间图象
<p>以<u>速度 v</u>为纵轴，<u>时间 t</u>为横轴，在坐标纸上建立直角坐标系。</p> <p>根据每隔 Δt 测得的速度值在坐标系中<u>描点</u>。</p> <p>然后用<u>平滑的曲线</u>将这些点连接起来，就得到了 $v-t$ 图象。</p>	

知识精析

一、计时器的使用

1. 电磁打点计时器的使用

(1) 用限位孔限定纸带，复写纸压在纸带的上面。通电，振片带动振针打点。若纸带运动，其上就会留下一行小点。

(2) 如由物体带动纸带运动，物体的位移就对应为纸带上相应点间的距离，运动时间可由该距离上点痕的数目计算。

2. 电火花计时器的使用

(1) 使用时，墨粉纸盘套在纸盘轴上，把纸带穿过限位孔。当接通电源、按下脉冲输出开关时，计时器发出的脉冲电流经放电针、墨粉纸盘到纸盘轴，产生火花放电，于是在运动的纸带上就打出一行点迹。

(2) 这种计时器工作时，纸带运动时受到的阻力比较

二、用打点计时器测量瞬时速度

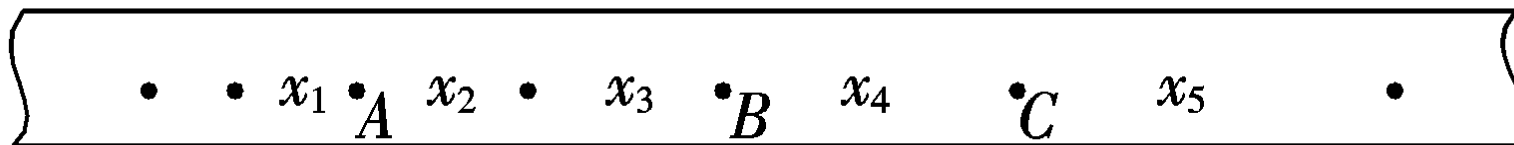


图 4-3

1. 根据平均速度的定义式 $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$, 当 Δt 很短时, 可以认为 $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ 表示 t 时刻的瞬时速度.

2. 图 4-3 所示为用打点计时器打出的一条纸带, 相邻两点间的时间间隔为 T , 则 A 、 B 、 C 三点对应的速度为: $v_A = \frac{x_1 + x_2}{2T}$, $v_B = \frac{x_3 + x_4}{2T}$, $v_C = \frac{x_4 + x_5}{2T}$.

三、用 $v - t$ 图象分析实验数据

1. $v - t$ 图象

在平面直角坐标系中，用纵轴表示速度，横轴表示时间，图象中的任一点表示某时刻的速度，得到速度—时间图象 ($v - t$ 图象)，简称速度图象。

2. $v - t$ 图象的意义

$v - t$ 图象反映的是速度随时间的变化关系，它并不是物体的运动轨迹。

3. 匀速直线运动的 $v - t$ 图象

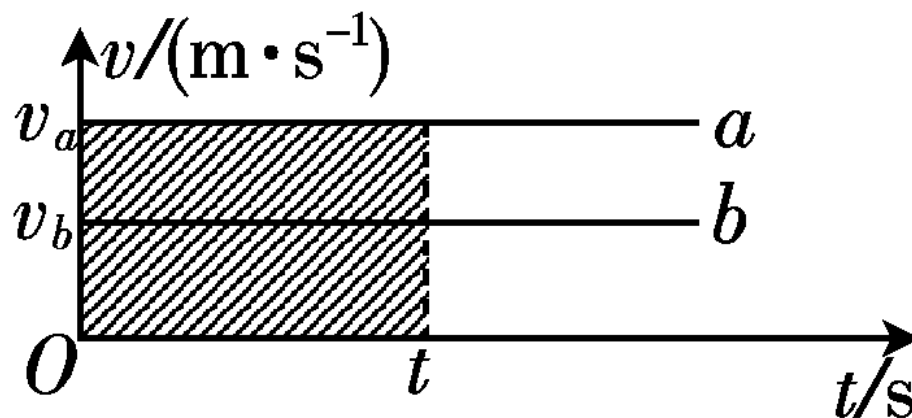


图 4-4

(1) 匀速直线运动的 $v - t$ 图象是与时间轴平行的直线，如图 4-4 所示。

(2) 速度不同的匀速直线运动的 $v - t$ 图象，是不同的平行于时间 t 轴的直线，它们纵轴的截距表示速度，截距越大，表示速度越大，如图 4-4 中， $v_a > v_b$ 。

(3) 匀速直线运动的图线与时间轴所围的面积表示该时间内物体的位移。图 4-4 中的阴影部分面积 $S = v_a \cdot t$ ， $v_a \cdot t$ 恰是 a 物体在 t 时间内的位移，即 $S = x = v_a t$ 。

4. 用 $v - t$ 图象描述纸带的运动

以速度 v 为纵轴，时间 t 为横轴，建立直角坐标系。用各点迹上对应的时间和瞬时速度描点，用一条平滑的曲线将这些点连接起来，即可用 $v - t$ 图象分析速度随时间的变化规律。

方法指导

一、纸带的处理方法

例 1 打点计时器所用电源的频率为 50 Hz ，某次实验中得到的一条纸带，用毫米刻度尺测量的情况如图 4-5 所示，纸带在 A 、 C 间的平均速度为 _____ m/s ，在 A 、 D 间的平均速度为 _____ m/s ， B 点的瞬时速度更接近于 _____ m/s .

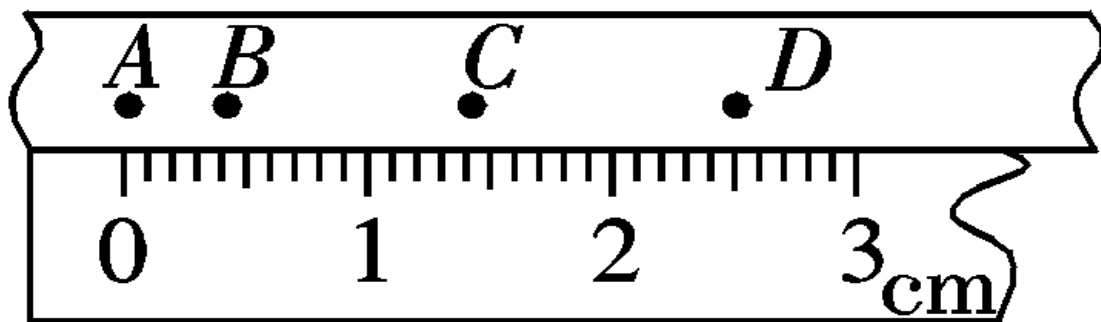


图 4-5

解析 由题意知，相邻两点间的时间间隔为 0.02 s ， A 、 C 间的距离为 $14\text{ mm} = 0.014\text{ m}$ ， A 、 D 间的距离为 $25\text{ mm} = 0.025\text{ m}$.

由公式 $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ 得， $v_{AC} = \frac{0.014}{0.02}\text{ m/s} = 0.35\text{ m/s}$

$v_{AD} = \frac{0.025}{0.06}\text{ m/s} \approx 0.42\text{ m/s}$

B 点的瞬时速度更接近于 0.35 m/s .

答案 0.35 0.42 0.35

点评 求某点瞬时速度时，我们应取此点两侧靠近此点的两点间的平均速度，但这两点并不是靠得越近越好。

二、实验误差分析

例 2 某同学在用打点计时器做实验时，得到的纸带如图 4—6 所示，这可能是因为（ ）

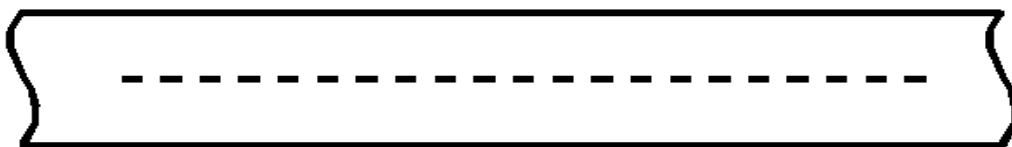


图 4—6

- A. 打点计时器错接在直流电源上
- B. 电源的电压不稳
- C. 电源的频率不稳
- D. 振针压得过紧

解析 正常情况下，振针应该恰好敲打在限位板上，这样在纸带上才能留下点。当振针与复写纸的距离过大时，振针可能打不到复写纸，这时会出现有时有点，有时无点。当振针与复写纸的距离过小时，振针就会有较长的时间与复写纸接触，这样就会在复写纸上留下一段一段的小线段。

答案 D

三、 $v-t$ 图象的应用

例 3 图 4-7 是甲、乙两物体运动的速度图象，下列说法正确的是 (

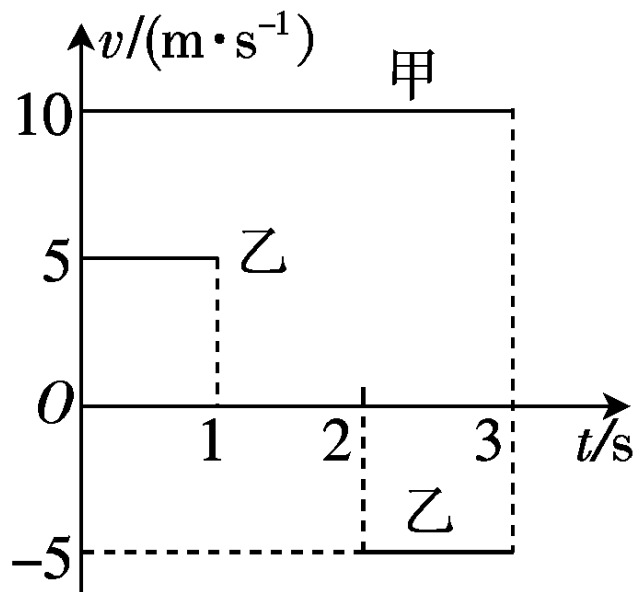


图 4-7

- A. 物体甲处于静止状态
- B. 物体乙刚开始时以 5 m/s 的速度与甲物体同向运动
- C. 物体乙在最初 3 s 内的位移是 10 m
- D. 物体乙在最初 3 s 内的路程是 10 m

解析 甲速度图象是平行于 t 轴的直线，因此甲做匀速直线运动，选项 A 错误；乙物体在第 1 s 内向正方向做速率为 5 m/s 的匀速直线运动，第 2 s 内静止，第 3 s 内沿负方向做速率为 5 m/s 的匀速直线运动，故选项 B 正确；乙在第 1 s 内的位移 $x_1 = v_1 t_1 = 5 \text{ m}$ ，在第 2 s 内的位移 $x_2 = 0$ ，在第 3 s 内的位移 $x_3 = v_3 t_3 = -5 \text{ m}$ ，所以物体乙在最初 3 s 内的位移 $x = x_1 + x_2 + x_3 = 0$ ，故选项 C 错误；物体乙在最初 3 s 内的路程 $l = |x_1| + |x_2| + |x_3| = 10 \text{ m}$ ，故选项 D 正确。

答案 BD

互动平台

育才老师与细心同学关于纸带位移测量的对话

育才：为尽量减小刻度尺在测量相邻计数点间位移的大小的过程中产生的误差，应如何操作？

细心：(1) 刻度尺的准确度要达到 1 mm ；(2) 不要分段测量相邻两点的位移，应尽可能一次测量完毕并分别测出第一个计数点到其他各计数点的位移，且读数时应估读到 mm 以下一位。

粗心同学与细心同学关于计数点的对话

细心：用逐差法求加速度至少要测出 6 个位移值来。

粗心：所以纸带上最少应有 7 个点。

细心：我们如果是每 5 个点取一个计数点呢？

粗心：唉，我又错了。应该是纸带上至少应有 7 个计数点，而每 5 个点取一个计数点，所以纸带上至少要有 31 个点。

同步达标

一、选择题（本题共 6 小题，每小题 5 分，共 30 分，每题至少有一个选项是正确的）

1. 在使用打点计时器时应（ ）
- A. 先接通电源，再使纸带运动
 - B. 先使纸带运动，再接通电源
 - C. 在使纸带运动的同时接通电源
 - D. 先使纸带运动或先接通电源都可以

答案 A

2. 下列说法正确的是 ()

A. 电磁打点计时器和电火花计时器的原理基本一样

B. 电磁打点计时器和电火花计时器外接的交流电压一样

C. 电磁打点计时器和电火花计时器外接的交流电频率是一样的

D. 电磁打点计时器和电火花计时器打点的时间间隔都是 0.02 s

解析 电磁打点计时器和电火花打点计时器原理和使用方法基本一样，所接交流电压不同，电磁打点计时器的工作电压为 $4\text{ V} \sim 6\text{ V}$ ，电火花计时器外接的电压为 220 V 。

答案 ACD

3. 运动物体拉动穿过打点计时器的纸带，纸带上打下一列小点，打点计时器打下的点直接记录了()

- A. 物体运动的时间
- B. 物体在不同时刻的位置
- C. 物体在相同时间内的距离
- D. 物体在不同时间内的位移

解析 因为打点计时器打点的时间间隔都是 0.02 s ，所以只要数出纸带上所打的点数，用 $t = 0.02\text{ s} \times (n - 1)$ 可以计算出物体运动的时间，选项 A 正确。打点计时器每打一个点与一个时刻对应，因此，打点计时器直接记录物体在不同时刻所在的位置，选项 B 正确。每两个相邻时间间隔一定是 0.02 s ，但这里的相同时间可以是任意相同时间。只要测量间隔相同点数的点迹之间的距离就可以了，但是相同的时间内距离不一定是相同的。而物体

在不同时间内的位移，只要经过再一次测量与该时间段对应的一段位移就可以知道，所以打下的点也直接记录了物体在不同时间内的位移，选项 D 正确。

答案 ABD

4. 打点计时器所用的电源是 50 Hz 的交流电, 其相邻点间的时间间隔是 T , 若纸带上共打出 N 个点, 该纸带上记录的时间为 t , 则 ()

A. $T = 0.1 \text{ s}$, $t = NT$

B. $T = 0.05 \text{ s}$, $t = (N - 1)T$

C. $T = 0.02 \text{ s}$, $t = (N - 1)T$

D. $T = 0.02 \text{ s}$, $t = NT$

解析 打点计时器的周期 $T = \frac{1}{50} \text{ s} = 0.02 \text{ s}$, 时间 $t =$

$(N-1)T$, N 表示点的个数.

答案 C

5. 我国使用的交流电的频率是 50 Hz，而美国使用的交流电的频率为 60 Hz，同样的纸带实验，纸带长度、拉动纸带的速度完全相同，在我国和美国两地区所得到的纸带上被打点的个数（ ）

A. 一样多

B. 在美国多

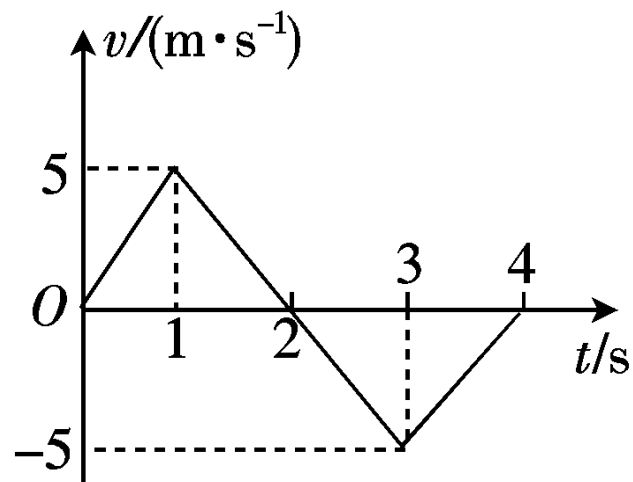
C. 在我国多

D. 不能确定

解析 长度、拉动速度完全相同的纸带运动的时间相同，频率越高，周期越小，打下的点个数就越多。

答案 B

6. 若一质点从 $t=0$ 开始由原点出发, 其 $v-t$ 图象如图所示, 则该质点 (



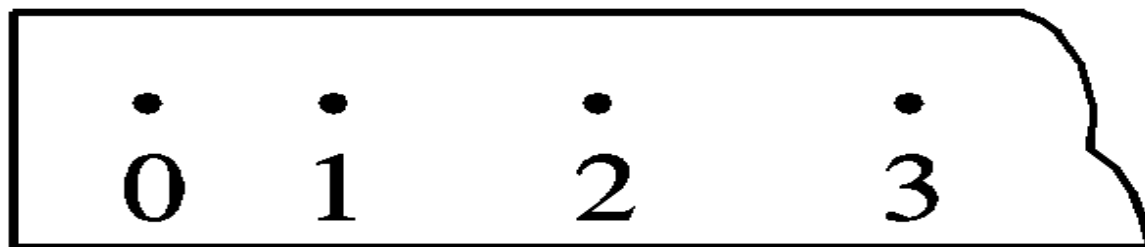
- A. 当 $t = 1\text{ s}$ 时, 离原点最远
- B. 当 $t = 2\text{ s}$ 时, 离原点最远
- C. 当 $t = 3\text{ s}$ 时, 回到原点
- D. 当 $t = 1\text{ s}$ 时, 回到原点

解析 这是一个速度—时间图象, 故曲线与 t 轴所夹面积表示位移大小, 所以 2 s 末离原点最远, 4 s 末回到原点

答案 BD

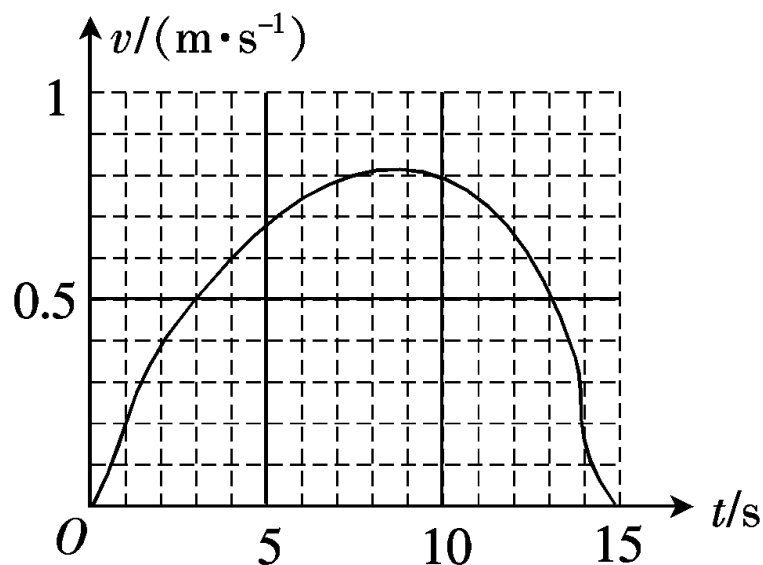
二、填空题 (9 分)

7. 用接在 50 Hz 交流电源上的打点计时器测定小车的运动情况. 某次实验中得到一条纸带如图所示, 从比较清晰的点起, 每 5 个打印点取一个计数点, 分别标明 0、1、2、3、... 量得 0 与 1 两点间的距离 $x_1=30$ mm, 2 与 3 两点间的距离 $x_2=48$ mm, 则小车在 0 与 1 两点间的平均速度为 $v_1=$ _____ m/s, 在 2 与 3 两点间的平均速度 $v_2=$ _____ m/s. 据此可判定小车做 _____ 运动.



三、计算题 (11 分)

8. 利用速度传感器与计算机结合, 可以自动作出物体运动的图象. 某同学在一次实验中得到运动小车的 $v-t$ 图象如图所示, 请据此回答:

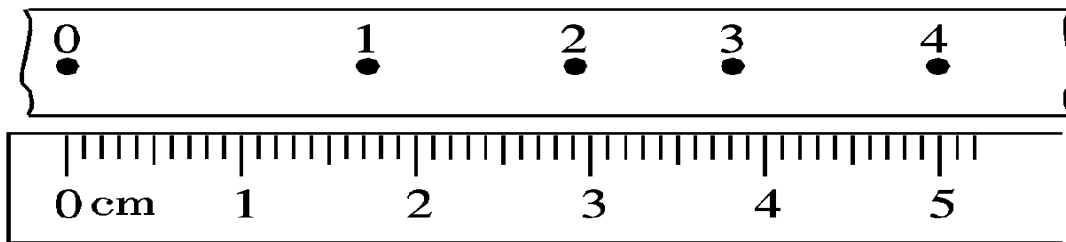


- (1) 小车做什么样的运动?
- (2) 小车运动的最大速度约为多少?
- (3) 小车运动的最大位移约为多少?

解析 由图象可知，在 $0 \sim 8 \text{ s}$ 时间内小车做加速运动，在 $8 \sim 14 \text{ s}$ 时间内小车做减速运动。图线的最大纵坐标表示小车运动的最大速度，约为 0.8 m/s 。曲线与横坐标轴（时间）所包围的“面积”表示小车运动的最大位移，通过割补法处理可得，约为 8.3 m 。

附加探究题 (10 分)

9. 图示是一打点计时器所打的纸带，将直尺靠在纸带边，零刻度线与纸带上打的第一个点对齐。由 0 到 1、2、3、…点的距离分别用 d_1 、 d_2 、 d_3 … 表示，初时刻 0 到 1、2、3… 点的时间分别用 t_1 、 t_2 、 t_3 … 表示，测量出 d_1 、 d_2 、 d_3 … 的值并填入表中，假设打点计时器所用交流电的频率为 50 Hz，在这五个时间段内位移和时间有什么对应



距离	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5
测量值 (cm)					

探究思路

直接由图可读出 d_1 、 d_2 、 d_3 、 d_4 、 d_5 的值，分别是 1.75 cm、2.90 cm、3.80 cm、4.50 cm、5.00 cm，根据打点计时器的性质和图可知：

$t_1 = 0.08 \text{ s}$ ， $t_2 = 0.14 \text{ s}$ ， $t_3 = 0.20 \text{ s}$ ， $t_4 = 0.26 \text{ s}$ ， $t_5 = 0.32 \text{ s}$ ，且 $t_{21} = t_{32} = t_{43} = t_{54} = 0.06 \text{ s}$ 。

观察图知，随着时间的延续，位移在不断地增大，但相同时间内发生的位移越来越小，说明物体运动得越来越慢。

课时 5 速度变化快慢的描述——加速度

课前导航

发令枪响的瞬间

100 米决赛就要开始了，运动员已各就各位，坐在看台上的观众也屏住气息，等待发令枪响激动人心的一刹那。随着一声清脆的枪响，运动员像离弦的箭一样冲出了起跑线，飞似的奔向终点。

可以肯定，发令枪响的瞬间，运动员、坐在看台上的观众的速度都是零。因为若枪响瞬间运动员速度不为零的话，必然是抢跑了，裁判就要判他犯规；若看台上观众的速度不为零的话，看台上的秩序就大乱了。

请你思考：

1. 枪响瞬间运动员、观众速度都是零，但他们此时的加速度也都是零吗？
2. 你体会到了速度和加速度的区别了吗？

基础梳理

加速度

定义:速度的变化量与发生这一变化所用时间的比值.

$$\text{公式: } a = \frac{\Delta v}{\Delta t}, \text{ 即 } a = \frac{v - v_0}{\Delta t}.$$

单位:在国际单位制中,加速度的单位是:米每二次方秒,符号是m/s²,常用的单位还有 cm/s².

物理意义:表示速度改变快慢的物理量.

加速度是矢量,其方向与速度的变化量的方向相同.在加速度直线运动中,加速度的方向与初速度方向相同;在减速直线运动中,加速度的方向与初速度方向相反.

加速度

从 $v-t$ 图象看加速度:在 $v-t$ 图象中,过图线某一点切线的斜率表示该点对应时刻物体的加速度,斜率的大小等于加速度的大小,斜率的正负表示加速度的正负(即加速度的方向).

知识精析

一、理解速度、速度变化量、加速度的区别与联系

1. 含义

(1) v 表示运动的快慢程度.

(2) Δv 表示速度改变的多少.

(3) a 表示速度改变的快慢, 是速度的变化率.

2. 方向: 三个量都有大小也有方向, 都可用“+”、“-”表示方向.

(1) v 指物体运动的方向.

(2) Δv 指速度改变的方向, 也是矢量, 由初末速度共同决定.

(3) a 与 Δv 的方向相同, 与 v 的方向没有必然关系.

3. 大小：三个量的大小没有相互决定关系。

(1) v 由位移和所用时间共同确定， $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ 。

(2) Δv 由初末速度共同确定， $\Delta v = v_{\text{末}} - v_{\text{初}}$ 。

(3) a 由速度变化量和所用时间共同确定， $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ 。

4. 图象

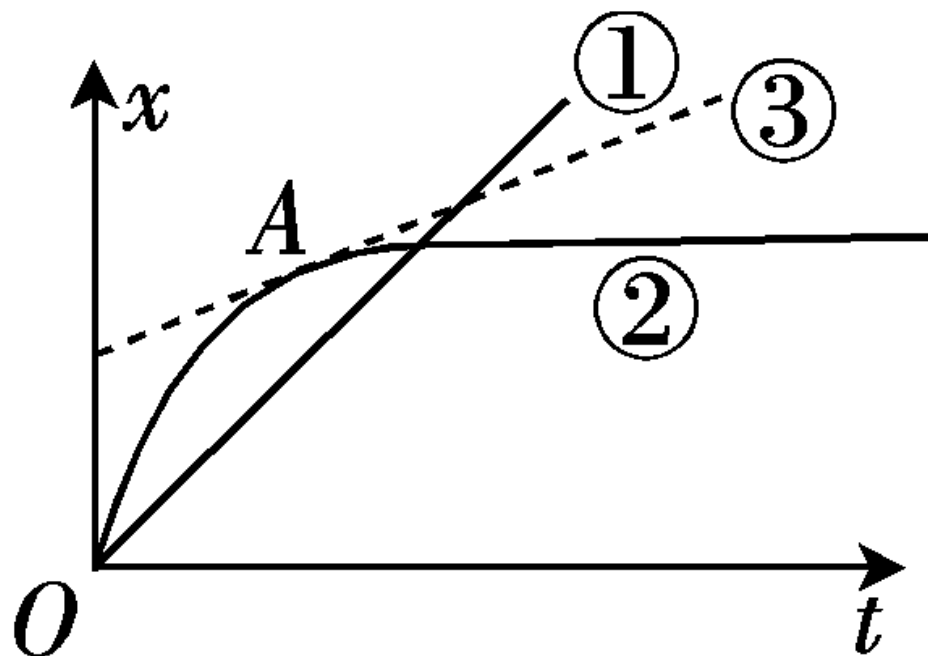


图 5 - 1

(1) $x - t$ 图象，如图 5 - 1 所示，由斜率表示速度。

①表示匀速直线运动。

②表示速度越来越小的直线运动。

③斜率表示 A 点的瞬时速度。

(2) $v - t$ 图象，如图 5 - 2 所示，由斜率表示加速度，由两点纵坐标的差表示速度变化量。

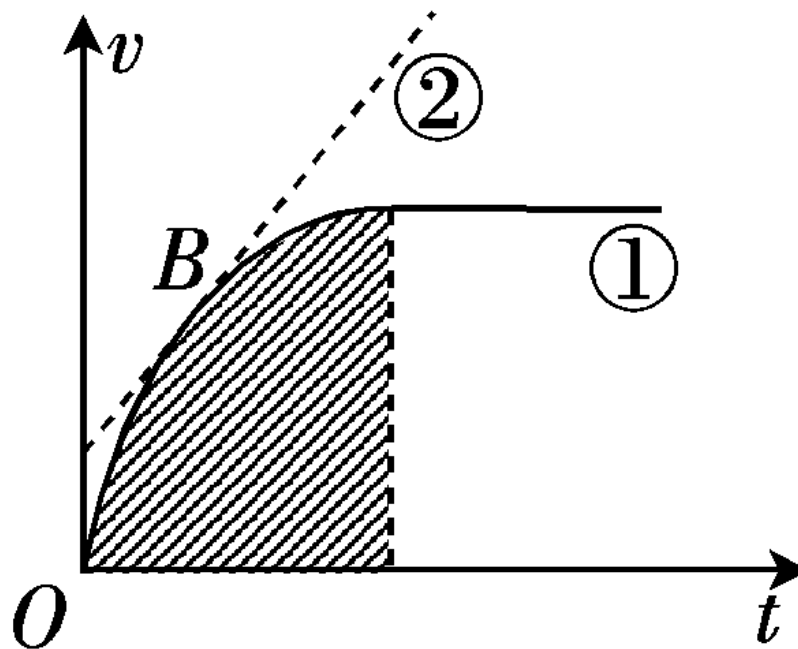


图 5 - 2

①表示加速度越来越小的加速直线运动。

②斜率表示 B 点的加速度。

二、运动的判断

判断物体是加速运动还是减速运动的方法有两个：

1. 根据 $v - t$ 图象，看随着时间的增加，速度的大小如何变化，若越来越大，则加速，反之则减速；

2. 根据加速度方向和速度方向间的关系。只要加速度方向和速度方向相同，就是加速；加速度方向和速度方向相反，就是减速。这与加速度的变化和加速度的正负无关。

可总结如下：

a 和 v_0 同向 \rightarrow 加速 \rightarrow 运动



a 和 v_0 同向 \rightarrow 加速 \rightarrow 运动

a 增大， v 增加得快



a 减小， v 增加得慢

a 增大， v 减得快

a 减减， v 减得慢

方法指導

一、对加速度的理解

例 1 甲、乙两个物体沿同一直线向同一方向运动时，取物体的初速度方向为正，甲的加速度恒为 2 m/s^2 ，乙的加速度恒为 -3 m/s^2 ，则下列说法正确的是（ ）

- A. 两物体都做加速直线运动，乙的速度变化快
- B. 甲做加速直线运动，它的速度变化快
- C. 乙做减速直线运动，它的速度变化率大
- D. 甲的加速度比乙的加速度大

分析 物体做加速运动还是减速运动，取决于速度方向与加速度方向是否相同，比较加速度的大小关系时，只比较它们的绝对值，不考虑方向。

解析 因为两物体的运动方向相同，即速度方向相同，

加速度一正一负，说明加速度方向相反，两者只有一个是做加速运动，所以选项 A 错误；加速度的负号说明加速度的方向与所取的正方向相反，比较加速度的大小时，应比较加速度的绝对值。乙的加速度的绝对值大，所以它的速度变化快，选项 B、D 均错误；所以本题应选 C。

答案 C

变式训练 1

(1) 例 1 中, 若 $a_{甲} = -4 \text{ m/s}^2$, $a_{乙} = 3 \text{ m/s}^2$, 则甲、乙两物体将做什么运动?

(2) 例 1 中, 若规定初速度方向为负方向, 且 $a_{甲} = 2 \text{ m/s}^2$, $a_{乙} = -3 \text{ m/s}^2$, 则甲、乙两物体各做什么运动?

解析 (1) 由于甲物体加速度方向与速度方向相反, 乙物体加速度方向与速度方向相同, 故甲做减速运动, 乙做加速运动.

(2) 由于甲物体加速度方向与初速度方向相反, 乙物体加速度方向与初速度方向相同, 故甲做减速运动, 乙做加速运动.

答案 (1) 减速运动 加速运动 (2) 减速运动 加速

二、加速度与速度、速度变化量的关系

例 2 下列说法正确的是 ()

- A. 加速度为零, 则速度一定为零, 速度变化也为零
- B. 加速度越大, 则速度变化也越大
- C. 加速度不为零, 则速度越来越大
- D. 速度很大时, 加速度可能很小

解析 根据加速度定义式 $a = \frac{v_t - v_0}{t}$ 可知,

若 $a=0$, 则 $v_t - v_0 = 0$, 由于 v_0 不一定为零, 所以 v_t 也不一定为零, 只是 $v_t = v_0$, 故物体可能静止, 也可能做匀速直线运动, 所以选项 A 错误.

从加速度定义式可知 $\mathbf{v}_t - \mathbf{v}_0 = at$ ，这说明速度的变化大小不仅由加速度决定，也同时由时间 t 决定。当 t 为定值时 ($t \neq 0$)，这时速度的变化和加速度成正比，此时 a 越大，则 $(\mathbf{v}_t - \mathbf{v}_0)$ 也越大；但如果 a 为定值 ($a \neq 0$)，则 $(\mathbf{v}_t - \mathbf{v}_0)$ 与 t 成正比，当 $t = 0$ 时，无论 a 多大， $(\mathbf{v}_t - \mathbf{v}_0)$ 都为零，故选项 B 错误。

加速度是矢量，它不仅有大，还有方向。在直线运动中，当 $a \neq 0$ 时，若 a 与 \mathbf{v}_0 同方向时（以 \mathbf{v}_0 方向为正），则 $a > 0$ ，所以 $(\mathbf{v}_t - \mathbf{v}_0) > 0$ ，则物体运动速度越来越大；若 a 与 \mathbf{v}_0 反向，则 $a < 0$ ，所以 $(\mathbf{v}_t - \mathbf{v}_0) < 0$ ，此时 $a \neq 0$ ，但速度越来越小，故选项 C 错误。

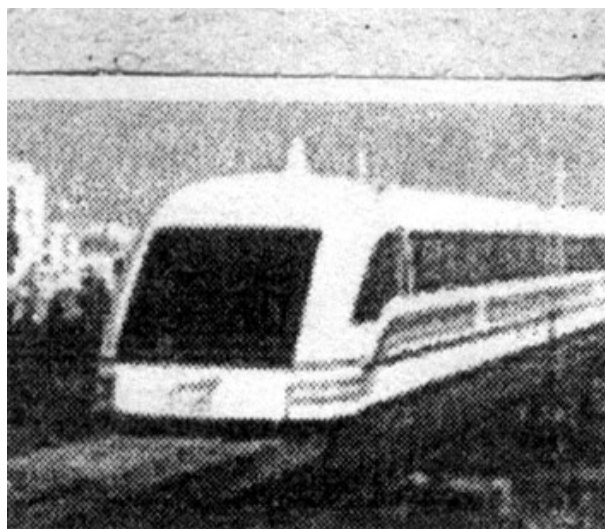
物体以很大的速度做匀速直线运动时，加速度为零，所以选项 D 正确。

答案 D

点评 加速度表示速度变化的快慢，可用速度的变化量

三、加速度的求解方法

例 3 列车以 30 m/s 的速度行驶，司机发现前方路段给出“低速行驶”的信号，于是采取制动措施，在 10 s 内使列车的速度减小到 10 m/s ，试求列车运动的加速度。



解析 要求解加速度，必须正确地求出速度的变化量 Δv ，必须先规定正方向，并注意初末速度的正负问题。

设初速度 v_0 的方向为正方向，则列车的初速度 $v_0=30 \text{ m/s}$ ，末速度 $v_t=10 \text{ m/s}$ ，故列车的加速度为：

$$a = \frac{v_1 - v_0}{t} = \frac{10 - 30}{10} \text{ m/s}^2 = 2 \text{ m/s}^2.$$

“-”号说明加速度的方向与初速度的方向相反。

答案 2 m/s^2 ，与初速度的方向相反

点评 (1) 本题还可有另外一种解法，规定初速度 v_0 的方向为负方向，则 $v_0 = -30 \text{ m/s}$

$$v_t = -10 \text{ m/s}, \quad a = \frac{v_1 - v_0}{t} = \frac{-10 - (-30)}{10} \text{ m/s}^2 = 2$$

m/s^2 ， a 的方向与规定的正方向相同，即与 v_0 方向相反。

对比以上两种解法可以看出，加速度的方向与规定的正方向无关，只不过在一般情况下习惯于取初速度 v_0 的方向为正方向。

(2) 在解答本题时，同学们经常在方向上出现错误，因此同学们在解题前必须先规定正方向，坚持按步骤解题，逐渐养成清晰，严密的思维习惯。

变式训练 2

一只足球以 10 m/s 的速度沿正东方向运动，运动员飞起一脚，足球以 20 m/s 的速度向正西方向飞去，运动员与足球的作用时间为 0.1 s ，求足球获得加速度的大小和方向

答案 300 m/s^2 方向向西

四、利用图象分析物体运动

例 4 图 5-3 所示为某物体做直线运动的 $v-t$ 图象。试分析物体在

各阶段加速度的大小和方向

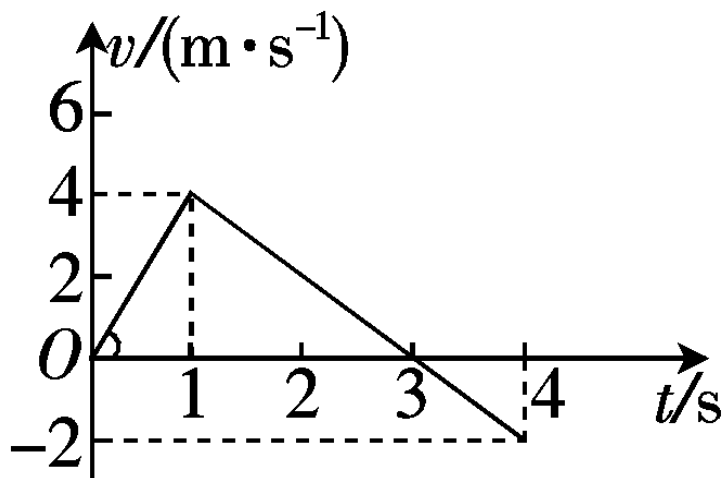


图 5-3

分析 根据速度大小的变化情况可判断出加速度的方向与初速度方向间的关系，根据 $v - t$ 图象中图线斜率的意义求出加速度。

解析 质点在 $0 \sim 1 \text{ s}$ 内做加速直线运动，速度变化量为：

$$\Delta v_1 = 4 \text{ m/s} - 0 = 4 \text{ m/s}$$

$$\text{加速度 } a_1 = \frac{\Delta v_1}{\Delta t_1} = 4 \text{ m/s}^2, \text{ 方向为正}$$

质点在 $1 \text{ s} \sim 3 \text{ s}$ 内做减速直线运动，速度变化量为：

$$\Delta v_2 = 0 - 4 \text{ m/s} = -4 \text{ m/s}$$

$$\text{加速度 } a_2 = \frac{\Delta v_2}{\Delta t_2} = -2 \text{ m/s}^2, \text{ 方向为负}$$

质点在 $3 \text{ s} \sim 4 \text{ s}$ 内做加速直线运动，速度变化量为：

$$\Delta v_3 = -2 \text{ m/s} - 0 = -2 \text{ m/s}$$

$$\text{加速度 } a_3 = \frac{\Delta v_3}{\Delta t_3} = -2 \text{ m/s}^2, \text{ 方向为负.}$$

互动平台

育才老师、粗心和细心同学关于速度图象及其加速度的对话

育才：图 5 - 4 所示是做匀加速直线运动的物体的速度图象，你们怎样求出物体运动的加速度？

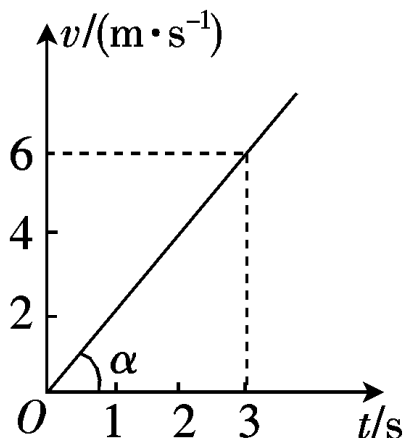


图 5 - 4

粗心：因为做匀变速直线运动的物体的速度图象是一条直线，直线的斜率就等于物体的加速度，因此只要用量角器测出直线与 t 轴的夹角 α ，就可得到 $a = \tan \alpha$ 。

细心：该题的 $\alpha = 45^\circ$ ，那么 $a = 1 \text{ m/s}^2$?

粗心：哎呀！作图不会是出问题了吧？

细心：横轴表示时间，纵轴表示速度，相同单位长度可以表示不同数值的物理量大小。怎么会出现矛盾呢？

育才：问题就出在把物理问题当做纯数学问题处理了

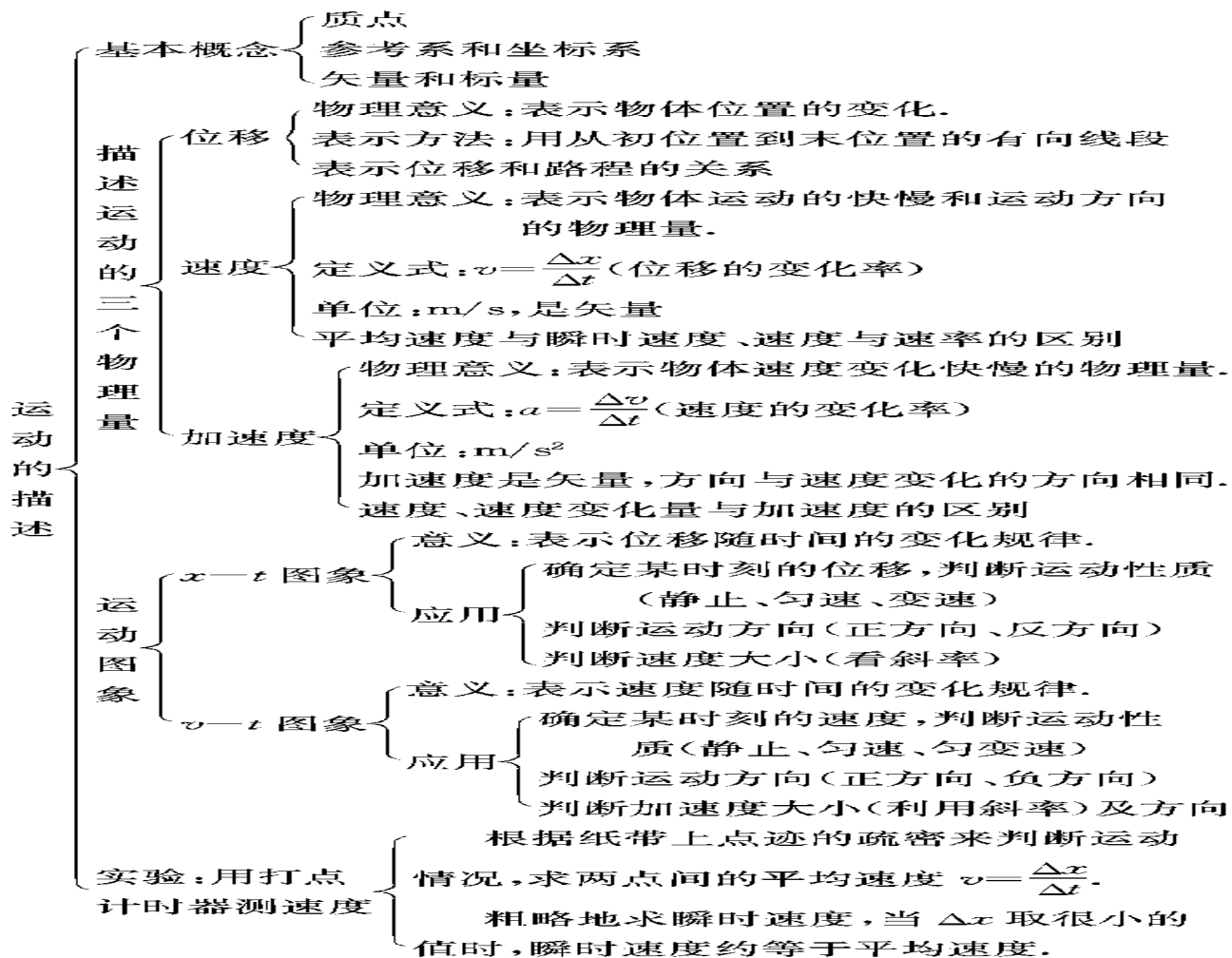
细心：我明白了，要利用图象纵坐标增量与横坐标增量的比值求斜率。

粗心：哦，加速度应为 2 m/s^2 。

育才：对啦！

课时 6 《运动的描述》单元小结

本单元知识梳理



技巧、方法归纳

一、准确理解概念间的区别和联系

1. 时间与时刻

(1) 时间表示段时间。

(2) 时刻表示点时间。

注意时间和时刻在时间轴上的表示，如图 6-1 所示

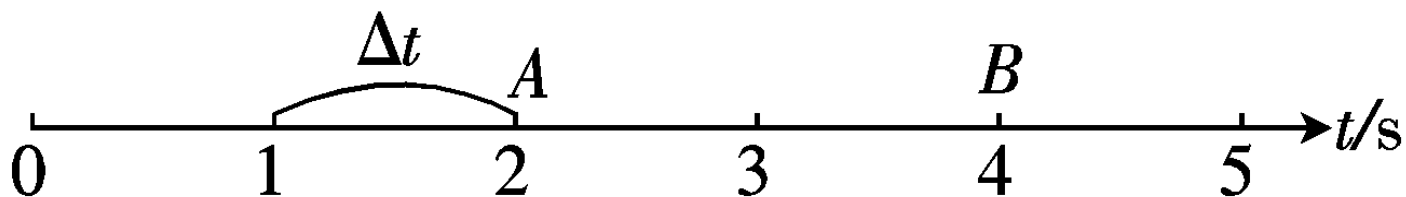


图 6-1

① A 点对应的时刻为：第 2 s 末或第 3 s 初。

② Δt 对应的时间为：第 2 s 或 1 s。

③ A 、 B 间对应的时间为 2 s。

2. 位移与路程的区别

(1) 位移表示位置的变化，是矢量。

(2) 路程指运动轨迹的长度，是标量。

3. 速度和速率 ,(1) 速度指物体运动的快慢，是矢量。

(2) 速率指速度的大小，是标量。

(3) 平均速度对应某个过程中物体运动的平均快慢，
4. 等速度、速度变化量、加速度

(1)速度 $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$.

(2)速度变化量 $\Delta v = v_2 - v_1$.

(3)加速度 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$.

例 1 下列说法正确的是 ()

- A. 物体的加速度不为零时，速度可能为零
- B. 物体的速度大小保持不变时，加速度可能不为零
- C. 速度变化越快，加速度一定越大
- D. 加速度减小，速度一定减小

解析 竖直上抛的物体运动到最高点时，速度为零，但加速度不为零，故选项 A 正确；物体速度大小不变，方向变化时，加速度不为零，故选项 B 正确；加速度描述了速度变化的快慢，故选项 C 正确；加速度减小时，说明速度变化慢了，但速度可能增大，也可能减小，故选项 D 错误。

答案 ABC



二、图象的理解及应用

1. $x - t$ 图象：位移随时间的变化规律如图 6 - 2 所示，斜率表示速度。

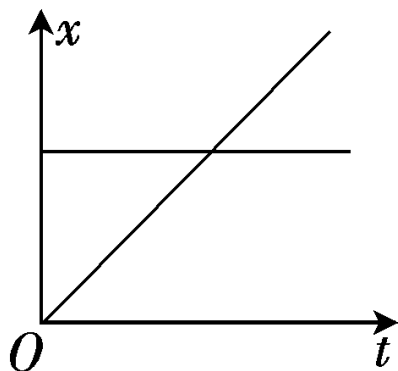


图 6 - 2

2. $v - t$ 图象：速度随时间的变化规律，如图 6 - 3 所示，斜率表示加速度。

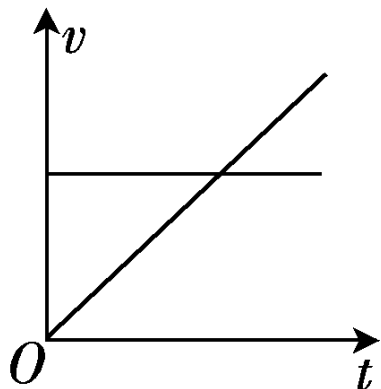


图 6 - 3

例 2 图 6-4 所示是曲线形状相同的 $v-t$ 图象甲和 $x-t$ 图象乙. 试分析两图各自表示的运动情况.

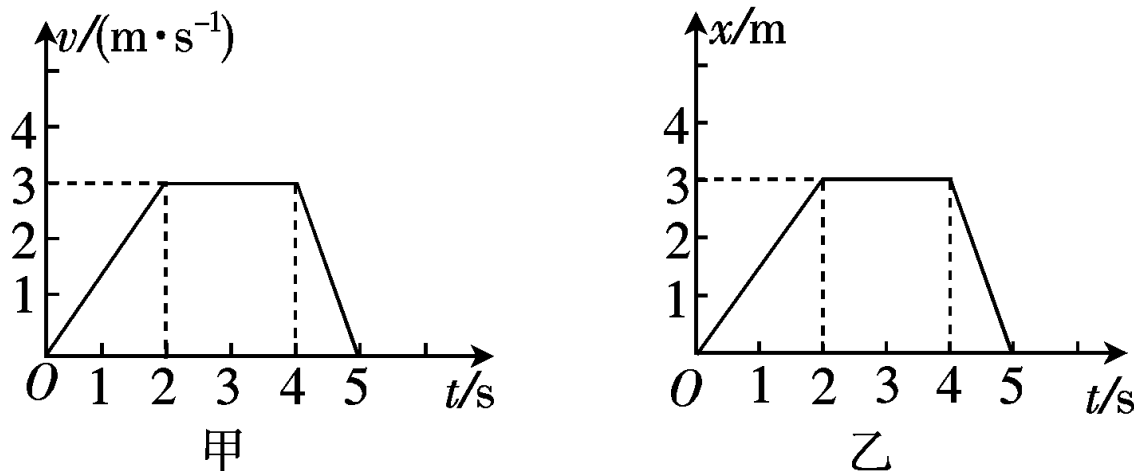


图 6-4

解析

甲图: $0 \sim 2\text{ s}$ 内, 物体做加速运动, 加速度为 1.5 m/s^2

;

$2 \sim 4\text{ s}$ 内, 物体做匀速直线运动, 速度为 3 m/s ;

$4 \sim 5\text{ s}$ 内, 物体做减速运动, 加速度的大小为 3 m/s^2 .

乙图: $0 \sim 2\text{ s}$ 内, 物体做匀速直线运动, 速度为 1.5 m/s ;

$2 \sim 4\text{ s}$ 内, 物体静止;

$4 \sim 5\text{ s}$ 内, 物体做反向的匀速直线运动, 速度的大小为 3 m/s .

课时 7 实验：探究小车速度的随时间变化的规律

课前导航

如图 7-1 所示， xOy 平面直角坐标系中有一条斜线 OP ，站在数学角度看，其直线方程为 $y = \frac{3}{4}x$ 。

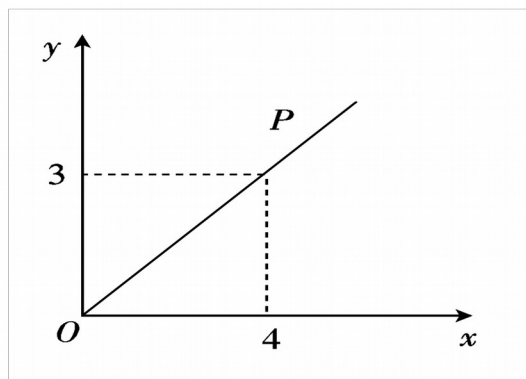


图 7-1

请你思考：

1. 若 $x(s)$ 表示物体运动时间， $y(m)$ 表示物体运动位移，则斜线 OP 的含义如何？“ $\frac{3}{4}$ ” 的含义又如何？
2. 若 $x(s)$ 表示物体运动时间， $y(m/s)$ 表示物体运动速度，则斜线 OP 的含义如何？“ $\frac{3}{4}$ ” 的含义又如何？
3. 若 $x(s)$ 表示物体运动时间， $y(m/s)$ 表示物体运动速度，则斜线 OP 与横轴围成的面积表示什么？

知识精析

一、实验步骤

1. 把附有滑轮的长木板放在实验桌上，把打点计时器固定在长木板上不带滑轮的一侧，将细绳绕过滑轮，下端挂适当的钩码，将纸带连在小车后面，并穿过打点计时器。

2. 将小车停在靠近打点计时器的位置，启动打点计时器，释放纸带，打点计时器在纸带上打下一行小点，然后关闭电源，取下纸带。

3. 换上纸带重复操作两次。

4. 在三条纸带中选择一条最清晰的，舍弃开头一些过于密集的点，找一个适当点作为计时起点。

5. 选择相隔 0.1 s 的若干计数点进行测量，把数据填入设计好的表格。

6. 增减所挂钩码数，再做两次实验。

二、数据分析

1. 根据实验记录数据，计算出各计数点瞬时速度，填入表中。
2. 以速度 v 为纵轴，时间 t 为横轴，建立直角坐标系，根据表中数据描点，将这些点连成一条直线。连线时应使尽量多的点落在直线上，不在直线上的点要尽量对称分布在直线两侧。误差较大的点可舍去。
3. 分析 $v - t$ 图象，描述出小车运动速度随时间变化的规律。

三、注意事项

1. 开始释放小车时，应使小车靠近打点计时器。
2. 先接通电源，等打点稳定后，再释放小车。
3. 取下纸带前，先断开电源。

5. 要防止钩码落地，避免小车跟滑轮相碰，当小车到达滑轮前及时用手按住。

6. 要区分打点计时器打出的计时点和人为选取的计数点，一般在纸带上每隔 4 个点取一个计数点，即时间间隔 $T = 0.02 \times 5 \text{ s} = 0.1 \text{ s}$ 。

7. 在坐标纸上画 $v - t$ 图象时，注意坐标轴单位长度的选取，使图象分布在坐标平面的大部分面积。

四、误差分析

1. 根据纸带测量的位移有误差。
2. 根据位移计算的瞬时速度有误差。
3. 木板的粗糙程度并非完全相同。

方法指导

一、根据纸带判断物体速度随时间变化的规律

例 1 在“探究小车速度随时间变化的规律”的实验中，图 7-2 甲给出了从 0 点开始，每 5 个点取一个计数点的纸带，其中 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 都为计数点。测得： $x_1 = 1.40 \text{ cm}$ ， $x_2 = 1.90 \text{ cm}$ ， $x_3 = 2.38 \text{ cm}$ ， $x_4 = 2.88 \text{ cm}$ ， $x_5 = 3.39 \text{ cm}$ ， $x_6 = 3.87 \text{ cm}$ 。那么：

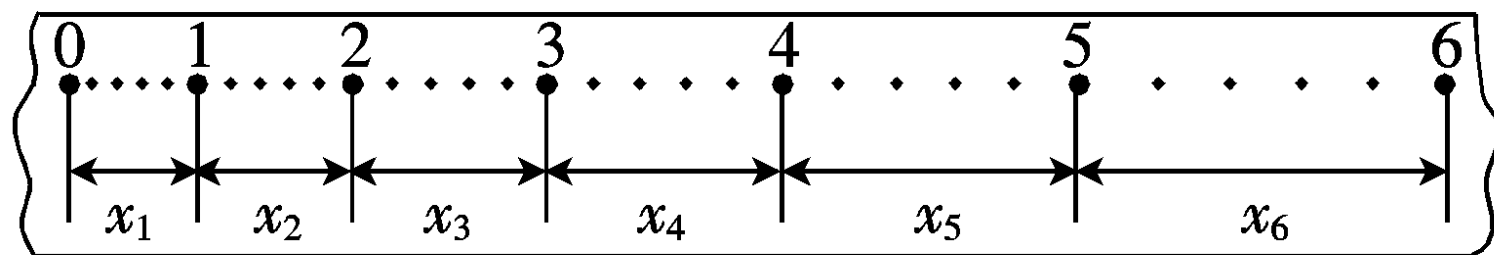


图 7-2 甲

(1) 在计时器打出点 1,2,3,4,5 时, 小车的速度分别为:

$$\mathbf{v}_1 = 16.50 \text{ cm/s}, \quad \mathbf{v}_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm/s}, \quad \mathbf{v}_3 = 26.30 \text{ cm/s},$$
$$\mathbf{v}_4 = 31.35 \text{ cm/s}, \quad \mathbf{v}_5 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm/s}.$$

(2) 在平面直角坐标系中作出 $v - t$ 图象.

(3) 分析小车运动速度随时间变化的规律.

解析 (1)显然, 两相邻的计数点之间的时间间隔 $T=0.02 \times 5 \text{ s}=0.1 \text{ s}$, 对应各点的速度分别为:

$$\mathbf{v}_2 = \frac{x_2 + x_3}{2T} = \frac{1.90 + 2.38}{2 \times 0.1} \text{ cm/s} = 21.40 \text{ cm/s}$$

$$\mathbf{v}_5 = \frac{x_5 + x_6}{2T} = \frac{3.39 + 3.87}{2 \times 0.1} \text{ cm/s} = 36.30 \text{ cm/s}.$$

(2) 利用描点法作出 $v - t$ 图象，如图 7 - 2 乙所示。

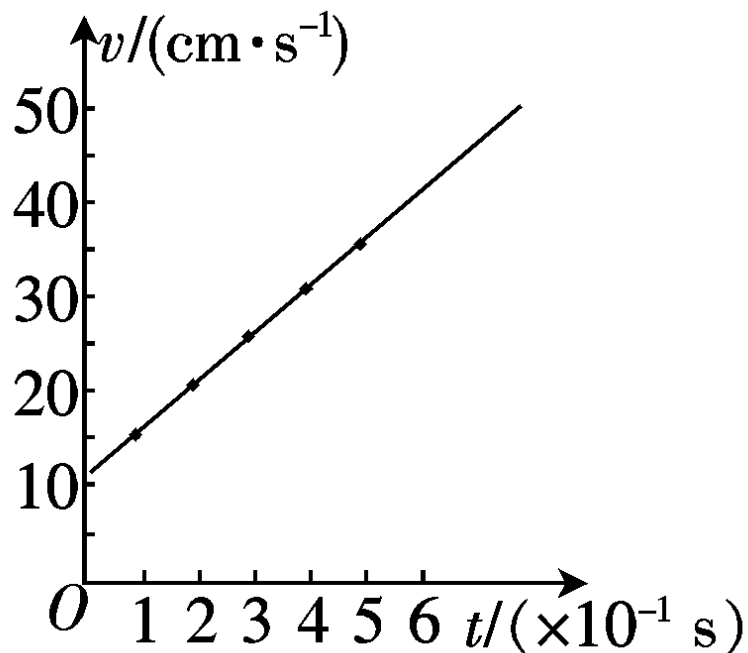


图 7 - 2 乙

(3) 小车运动的 $v - t$ 图象是一条倾斜向上的直线，说明速度随时间均匀增加，它们是“线性关系”。

答案 (1)21.40 36.30

(2) 如图 7 - 2 乙所示 (3) 略

二、根据纸带求匀变速直线运动的加速度

例 2 某同学在“探究小车运动速度随时间变化的规律”的实验中，用打点计时器记录被小车拖动的纸带的运动情况，在纸带上确定出 A 、 B 、 C 、 D 、 E 、 F 、 G 共 7 个计数点，其相邻点间的距离如图 7-3 甲所示，每两个相邻的计数点之间的时间间隔为 0.1 s 。

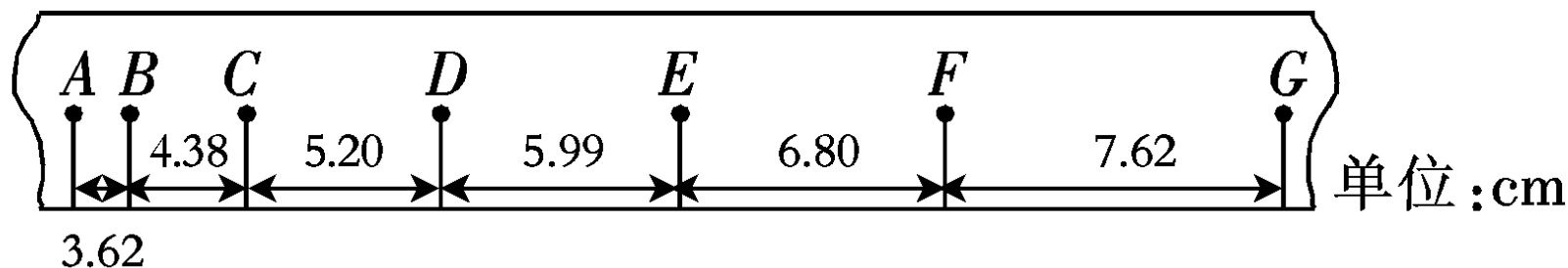


图 7-3 甲

(1) 若从纸带上打 A 点的时刻开始计时，将 B 、 C 、 D 、 E 、 F 各个时刻的瞬时速度标在如图 7-3 乙所示的坐标纸上，并画出小车的瞬时速度随时间变化的关系图线。

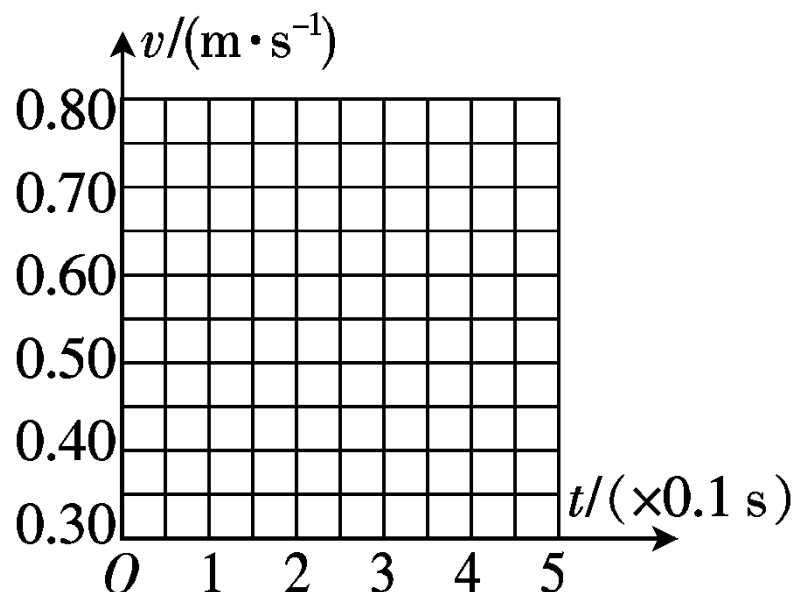


图 7-3 乙

(2) 计算加速度的大小是多少？

解析 (1) 由 $\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ 得小车的速度分别为:

$$v_B = \frac{x_{AC}}{2T} = 0.400 \text{ m/s}$$

$$v_C = \frac{x_{bd}}{2T} = 0.479 \text{ m/s}$$

$$v_D = \frac{x_{CE}}{2T} = 0.560 \text{ m/s}$$

$$v_E = \frac{x_{DF}}{2T} = 0.640 \text{ m/s}$$

$$v_F = \frac{x_{EG}}{2T} = 0.721 \text{ m/s}$$

根据计算得出的速度及其对应的时刻，得到如图 7 — 3 丙所示的 5 个圆点，用描点法作出的小车瞬时速度随时间变化的关系图线如图 7 — 3 丙所示。

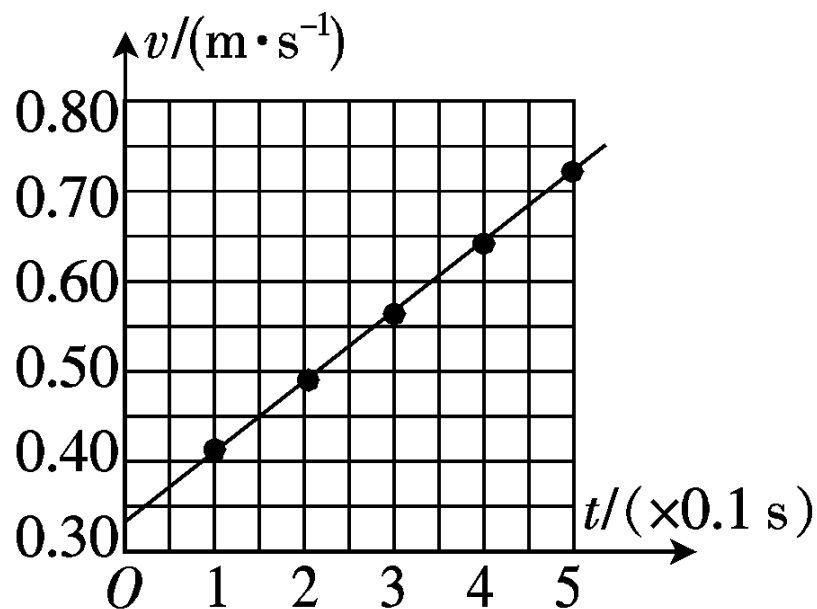


图 7 — 3 丙

(2)在速度图象上选取两点,如 0.1 s 对应的点和 0.4 s 对应的点,坐标分别为(0.1,0.4)和(0.4, 0.64),此时计算出斜率就是加速度的大小.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0.640 - 0.400}{0.4 - 0.1} \text{ m/s}^2 = 0.8 \text{ m/s}^2.$$

答案 (1)如图 7-3 丙所示 (2)0.8 m/s²

点评 在分析纸带数据时,沿用第一章求瞬时

速度的方法,即 $v_n = \frac{x_n + x_{n+1}}{2T}$, 求出各点的速度,

作图象时要进行线性拟合,由图象特点知直线的

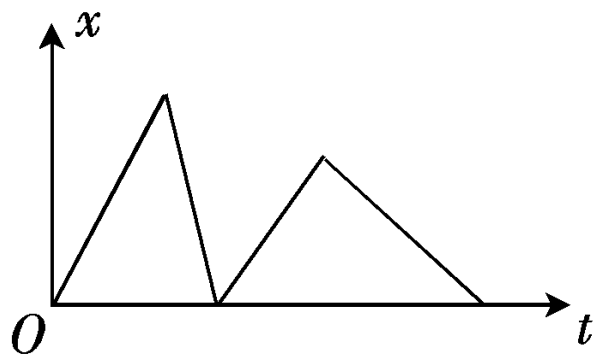
斜率 $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ 应为物体运动的加速度.

互动平台

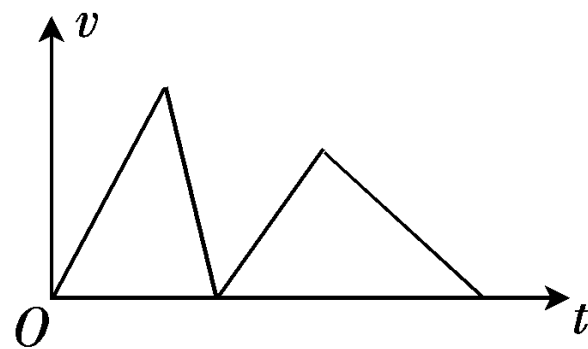
育才老师和细心同学关于位移图象和速度图象的对话

细心：有些位移图象和速度图象看起来十分相似，但表示的意义截然不同。

育才：对。例如图 7-4 中的甲、乙两图，一个是位移图象，一个是速度图象，差别就在于它们的纵轴表示的物理意义不同，你能简单地说一下两图分别代表什么运动吗？



甲



乙

图 7-4

细心：甲图表示的是物体先向前匀速直线运动，接着倒回来匀速运动，回到原出发点，然后又向前和返回，直到再次回到出发点。乙图表示的是物体先向前匀加速直线运动，接着向前匀减速直线运动，然后再向前做匀加速和匀减速运动，而物体是始终朝前走。

育才：看来你对这些运动图象掌握得非常好。

课时 8 匀变速直线运动的速度与时间的关系

课前导航

轮船为什么总是逆水靠岸？

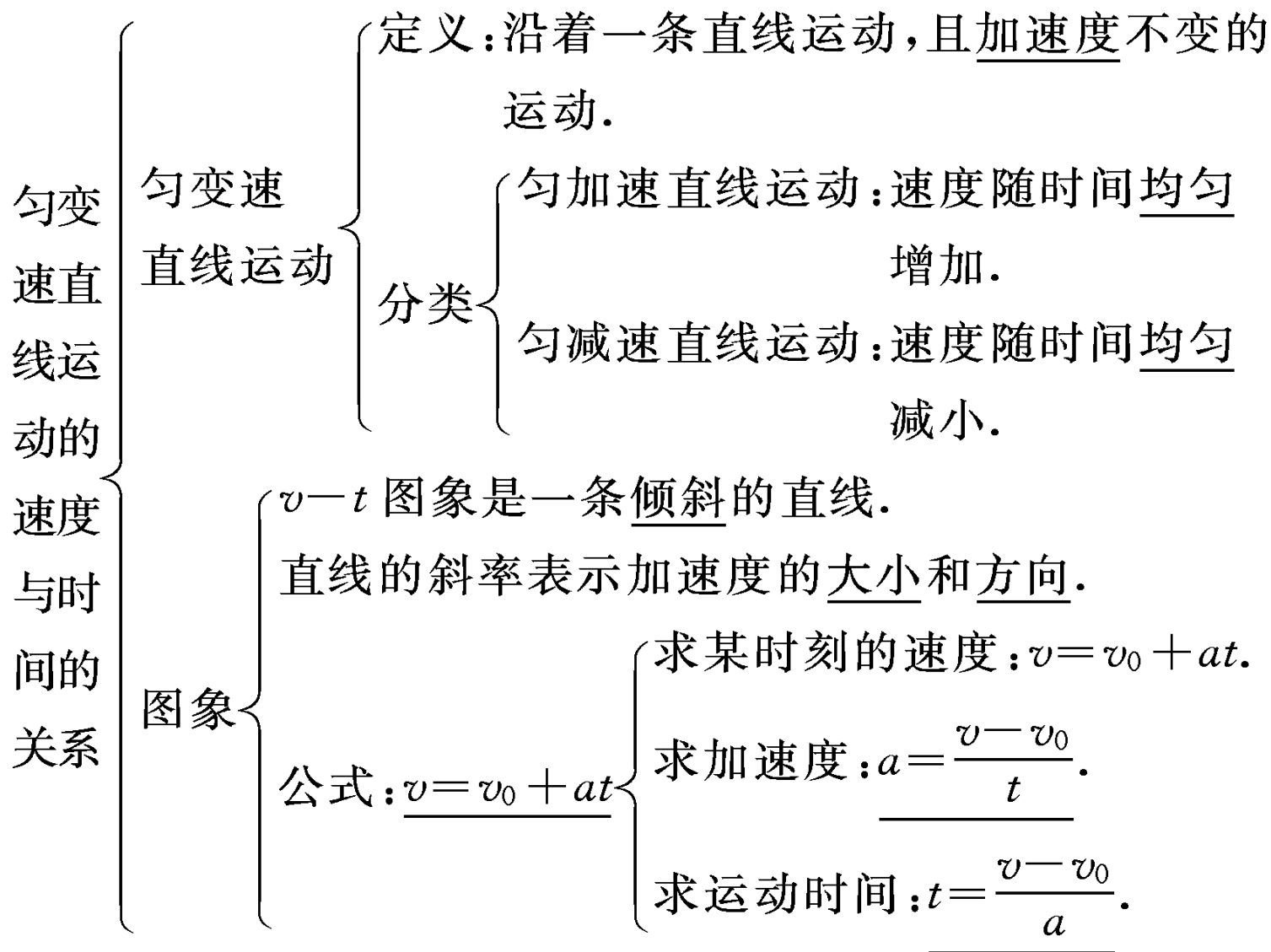
如果你乘坐轮船，就会发现一个很有趣的现象：每当轮船要靠岸的时候，总是要把船头顶着流水，慢慢地驶向码头，然后平稳靠岸。在长江或其他大河里顺流而下的船只，当它们到岸时，不会立刻靠岸，都要掉头，使船变成逆着水流方向行驶以后，才缓缓靠岸。实际上这是利用了流水对船身的阻力，起到了使船“刹车”的作用。

请你思考：

1. 在船逆水靠岸停下的过程中，船的加速度方向与船的速度方向相同还是相反？如果以船速为正方向，船的加速度是正还是负？

2. 假设船停下的过程中，加速度大小恒为 a ，船速由 v 减到零，船逆水航行的距离应为多长？

基础梳理



知识精析

一、匀变速直线运动的速度公式

1. 注意弄清公式中各符号的意义:

(1) v_0 、 v 分别表示物体的初、末速度.

(2) a 为时间 t 范围内的加速度, 且 a 为恒量.

2. 公式 $v = v_0 + at$ 是个矢量式:

(1) 一般规定 v_0 的方向为正方向, a 与 v_0 同向时表明物体的速度随时间均匀增加, a 与 v_0 反向时, 表明物体的速度随时间均匀减小.

(2) 应用公式 $v = v_0 + at$ 进行计算时, 除“+”外, 其他各量要根据正方向的规定情况加上相应的“正负”号.

3. 几种特殊的匀变速直线运动:

(1) 当 $a = 0$ 时, 公式为 $v = v_0$.

(2) 当 $v_0 = 0$ 时, 公式为 $v = at$.

二、识别 $v - t$ 图象

如图 8-1 所示, $v - t$ 图象描述速度随时间的变化关系, 记录了任意时刻物体的速度, 用图象法处理物理问题的优点是: 形象直观、清晰便捷, 能清楚地反映运动物体的速度随时间变化的情况, 便于从整体上认识运动的过程、运动的特点.

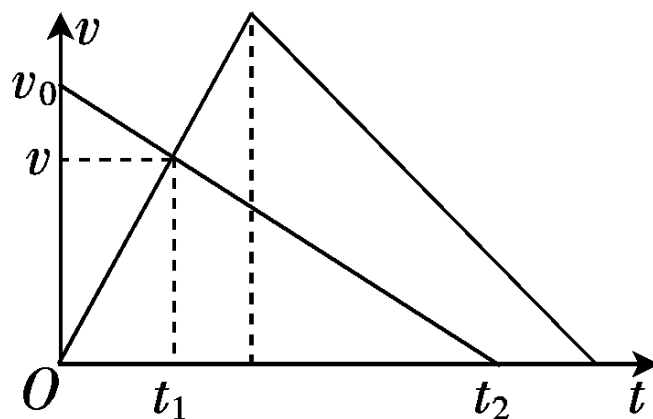


图 8-1

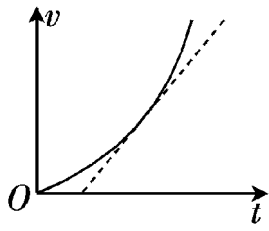
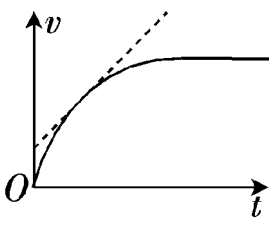
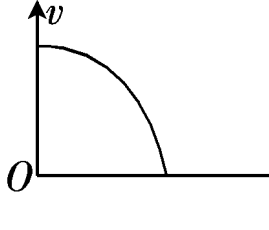
1. 两图线的交点: 表示该时刻两物体速度相同.
2. 图线与坐标轴的交点:
 - (1) 与 t 轴的交点: 表示速度为零, 方向改变.
 - (2) 与 v 轴的交点: 表示初速度.

3. 图线的拐点 (折点):

表示加速度改变, 速度出现极值.

4. 几个常见弯曲图线: (图线的斜率表示物体的加

速度)

图线	物理意义
	<p>表示物体运动的加速度越来越大, 速度越来越大.</p>
	<p>表示物体运动的加速度越来越小, 最后为零; 速度越来越大, 最后匀速.</p>
	<p>表示物体运动的加速度越来越大, 速度越来越小, 最后为零.</p>

方法指导

一、速度时间关系式的应用

例 1 某汽车在某路面紧急刹车时，加速度的大小是 6 m/s^2 ，如果必须在 2.5 s 内停下来，则该汽车的行驶速度最大不能超过多少？（假设汽车刹车后做匀减速运动）

解析 我们研究的是汽车从开始刹车到停止运动这个过程。在这个过程中，汽车做匀减速运动，加速度的大小是 6 m/s^2 。由于是减速运动，加速度的方向与速度方向相反，如果设汽车运动的方向为正，则汽车的加速度方向为负，我们把它记为 $a = -6 \text{ m/s}^2$ 。这个过程的末速度 v 是零，初速度就是我们所求的允许最高速度，记为 v_0 ，过程的持续

时间 $t = 2.5 \text{ s}$ 。



解法一 根据 $v = v_0 + at$ ，有 $v_0 = v - at = 0 -$

$(-6 \text{ m/s}^2) \times 2.5 \text{ s} = 15 \text{ m/s} = 54 \text{ km/h}$ ，汽车的速度不能超过 54 km/h 。

解法二 反过来汽车可以看做是初速度为零的匀加速运动。则 $v = at = 6 \times 2.5 = 15 \text{ m/s} = 54 \text{ km/h}$ 。

答案 不能超过 54 km/h

点评 根据匀加速直线运动的速度公式即可得出答案。不过要注意加速度是负值。匀减速到零的直线运动可以反过来看做是初速度为零的匀加速直线运动，这样解起来很方便。车最终停下来，所以末速度为零，这一点容易忽略，导致缺少条件，解不出答案。

变式训练 1

汽车以 40 km/h 的速度匀速行驶，

(1) 若汽车以 0.6 m/s^2 的加速度加速，则 10 s 后速度能达到多少？

(2) 若汽车刹车以 0.6 m/s^2 的加速度减速，则 10 s 后速度减为多少？

(3) 若汽车刹车以 3 m/s^2 的加速度减速，则 10 s 后速度为多少？

解析 汽车做匀加速运动时，可直接应用公式 $v = v_0 + at$ ，求 10 s 后的速度，汽车做匀减速运动时，要先验证减速为零时所用时间与 10 s 的关系，若大于 10 s，则直接应用公式 $v = v_0 + at$ ，若小于 10 s，则 10 s 后的速度为

(1)初速度 $v_0=40 \text{ km/h} \approx 11 \text{ m/s}$

加速度 $a=0.6 \text{ m/s}^2$, 时间 $t=10 \text{ s}$

10 s 后的速度为:

$$v=v_0+at=11 \text{ m/s}+0.6 \times 10 \text{ m/s}=17 \text{ m/s}.$$

(2)汽车刹车所用时间 $t_1=\frac{v_0}{a_1}=\frac{11}{0.6} \text{ s} > 10 \text{ s}$

则 $v_1=v_0-a_1t$

$$=11 \text{ m/s}-0.6 \times 10 \text{ m/s}$$

$$=5 \text{ m/s}.$$

(3)汽车刹车所用时间为:

$$t_2=\frac{v_0}{a_2}=\frac{11}{3} \text{ s} < 10 \text{ s}$$

所以 10 s 后汽车已经刹车完毕, 则 10 s 后汽车速度为零.

答案 (1)17 m/s (2)5 m/s (3)0

二、利用 $v - t$ 图象分析物体的运动

例 2 分析如图 8-2 所示的图线，物体在各段时间内做何种运动？哪一时间内的加速度最大？

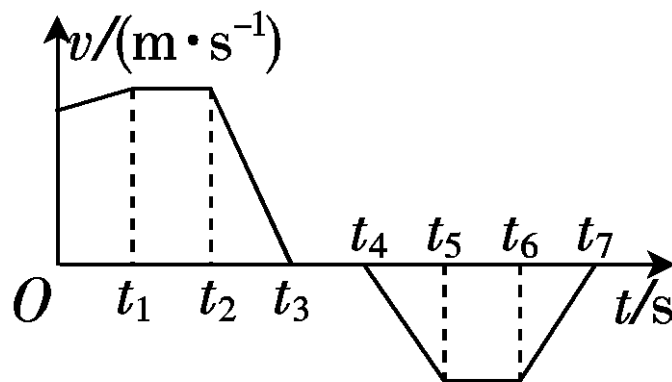


图 8-2

解析 $v - t$ 图象的斜率等于加速度的大小，负斜率表示加速度方向与规定的正方向相反。

由 $v - t$ 图象的意义可知，物体在 $0 \sim t_1$ 、 $t_4 \sim t_5$ 时间内做匀加速运动； $t_2 \sim t_3$ 、 $t_6 \sim t_7$ 时间内做匀减速直线运动；在 $t_1 \sim t_2$ 、 $t_5 \sim t_6$ 时间内做匀速直线运动。

$v - t$ 图象的斜率大小等于加速度大小， $t_2 \sim t_3$ 段斜率最大，所以加速度最大。

答案 略

点评 速度大小的变化情况仅由速度和加速度方向的关系确定，不要认为加速度为负值，就做匀减速运动，如在本题中 $t_4 \sim t_5$ 时间内，虽然加速度为负值，但速度也为负值，即两者方向相同，物体做匀加速直线运动。

变式训练 2

某质点的运动图象如图 8—3 所示，则质点 ()

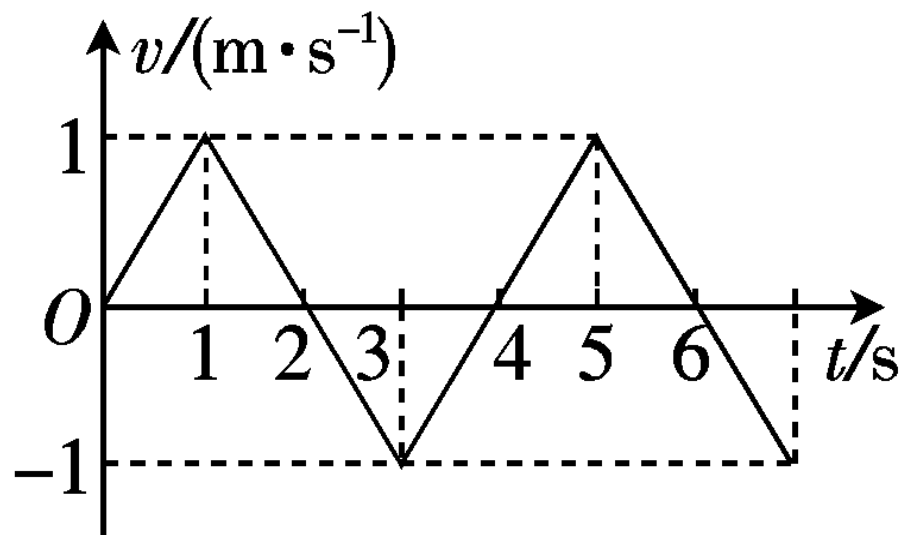


图 8—3

- A. 在第 1 s 末运动方向发生变化
- B. 在第 2 s 末运动方向发生变化
- C. 在第 2 s 内速度越来越大
- D. 在第 3 s 内速度越来越大

解析 题图为 $v - t$ 图象，由图可知，第 1 s 末速度达到最大，运动方向不变，选项 A 错误；第 2 s 末速度为零，然后反向加速，速度方向改变，选项 B 正确；第 2 s 内质点做减速运动，速度减小，选项 C 错误；第 3 s 内质点做反向的加速运动，速度增大，选项 D 正确。

答案 BD

三、物体分阶段运动问题

例 3 发射卫星一般采用多级火箭，第一级火箭点火后，使卫星向上做匀加速运动的加速度为 50 m/s^2 ，燃烧 30 s 后第一级脱离，第二级火箭没有马上点火，所以卫星向上做加速度为 10 m/s^2 的匀减速运动， 10 s 后第二级火箭启动，卫星的加速度为 80 m/s^2 ，这样经过 1 分半钟等第二级火箭脱离时，卫星的线速度为多大？

解析 整个过程中卫星的运动不是匀变速直线运动，但可以分解为三个匀变速直线运动处理。

第一级火箭燃烧完毕时的速度为：

$$v_1 = a_1 t_1 = 1500 \text{ m/s}$$

减速上升 10 s 后的速度为：

$$v_2 = v_1 - a_2 t_2 = 1400 \text{ m/s}$$

第二级火箭熄火时的速度为：

$$v_3 = v_2 + a_3 t_3 = 8600 \text{ m/s.}$$

答案 8600 m/s

点评 对于过程复杂的运动，我们可以将其分为几个简单运动，然后在每段运动中运用公式解答，从而达到化繁为简的目的。

变式训练 3

升降机由静止开始以加速度 a_1 匀加速上升 2 s 后速度达到 3 m/s，接着匀速运动了一段时间，最后再以大小为 1 m/s² 的加速度匀减速上升才停下来。求：

- (1) 升降机匀加速上升的加速度 a_1 。
- (2) 升降机匀减速上升的时间 t_2 。

解析 设升降机向上运动的方向为正方向。

(1) 匀加速上升过程，初速度 $v_0 = 0$ ，末速度 $v_1 = 3$ m/s， $t_1 = 2$ s。根据 $v_t = v_0 + at$ ，得

(1) 匀加速上升过程, 初速度 $v_0=0$, 末速度 $v_1=3 \text{ m/s}$,

$t_1=2 \text{ s}$. 根据 $v_t=v_0+at$, 得

$$a_1 = \frac{v_1 - v_0}{t_1} = \frac{3 - 0}{2} \text{ m/s}^2 = 1.5 \text{ m/s}^2.$$

(2) 匀减速上升过程, 初速度为 $v_1=3 \text{ m/s}$, 末速度 $v_2=0$, 加速度 $a_2=-1 \text{ m/s}^2$.

根据 $v_t=v_0+at$, 得 $t_2 = \frac{v_2 - v_1}{a_2} = \frac{0 - 3}{-1} \text{ s} = 3 \text{ s}$.

答案 (1) 1.5 m/s^2 (2) 3 s

互动平台

育才老师、粗心和细心同学关于匀减速运动规律的理解的对话

育才：汽车以 36 km/h 的速度行驶，刹车得到的加速度大小为 4 m/s²，从刹车开始计时，前 3 s 内汽车通过的距离是多少？

粗心：应用位移公式不就迎刃而解了吗？

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$= 10 \times 3 \text{ m} + \frac{1}{2} \times (-4) \times 3^2 \text{ m} = 12 \text{ m}.$$

育才：3 s 末的速度怎样了？

粗心：速度公式伺候着呢！

$$v = v_0 + at = 10 \text{ m/s} - 4 \times 3 \text{ m/s} = -2 \text{ m/s}$$

啊，怎么会出现了负值？

细心：刹车怎么成了倒车了呢？其实刹车用

不着3 s的时间，因为刹车时间 $t = \frac{0 - v_0}{a} = \frac{-10}{-4} \text{ s} = 2.5 \text{ s}$ ，剩余0.5 s车已停在原地歇着了。

粗心：匀减速运动还有这么个“陷阱”呀！

育才：对。“刹车类”匀减速运动，最长的

运动时间 $t = \frac{v_0}{a}$ ，对应汽车的最大位移 $s = \frac{v_0^2}{2a}$ 。若运

动时间 $t > \frac{v_0}{a}$ ，则不能死代公式，盲目求解。

细心：老师，解这类习题是否可不管三七二十一，先判断一下刹车后经过多长时间速度为零，且要在解题开始就写出来，做到心中有数？

育才：这样处理很好！

细心：老师，是不是可以这样求解？

$$\text{车停下来的时间 } t = \frac{0 - v_0}{a} = \frac{-10}{-4} \text{ s} = 2.5 \text{ s} < 3 \text{ s}.$$

说明，刹车时车只运动了2.5 s，剩下0.5 s静止在原地，故3 s的位移实际就是前2.5 s的位移，即

$$\begin{aligned} x &= v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \\ &= 10 \times 2.5 \text{ m} + \frac{1}{2} \times (-4) \times 2.5^2 \text{ m} = 12.5 \text{ m}. \end{aligned}$$

育才：完全正确。

课时 9 匀变速直线运动的位移与时间的关系

匀变速直线运动的位移与速度的关系

课前导航

在平直的公路上，自行车与同方向行驶的一辆汽车同时经过某一个路标，从此时刻开始计时。它们的位移 x 随时间 t 的变化规律为：汽车 $x_1 = 10t - t^2$ ，自行车 $x_2 = 6t$ 。

请你思考：

1. 汽车和自行车各做什么运动？能写出它们的速度随时间变化的表达式吗？
2. 是汽车追自行车，还是自行车追汽车？多少时间能追上？

基础梳理

匀变速直
线运动的
位移与时
间的关系

匀速直线运动

匀变速直线运动

位移公式: $x=vt$.

$v-t$ 图象是与时间轴平行的直线.

位移等于时间轴、速度图线、这段
时间的初末时刻所包围的一
块矩形的面积.

位移公式: $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$.

推论公式: $v^2-v_0^2=2ax$.

- 匀变速
直线运
动的常
用公式
- 匀变速直线运动的位移与速度关系： $v^2 - v_0^2 = 2ax$.
 - 不涉及时间时常选用公式 $v^2 - v_0^2 = 2ax$.
 - 不涉及末速度时常选用公式 $x = v_0t + \frac{1}{2}at^2$.
 - 不涉及加速度时常选用公式 $x = \frac{v_0 + v_t}{2}t$.
 - 不涉及位移时常选用公式 $v = v_0 + at$.

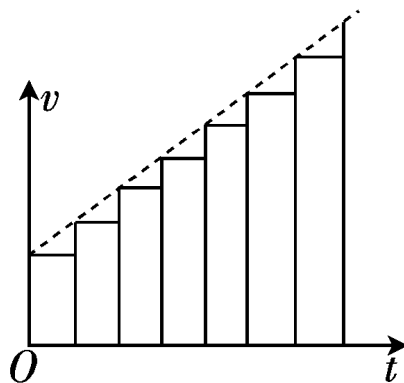
知识精析

一、匀变速直线运动位移公式的推导

1. 在匀速直线运动中，物体的位移等于 $v-t$ 图线下面矩形的面积。

2. 在匀变速直线运动中，其 $v-t$ 图象是一条倾斜的直线，要求 t 时间内物体的位移，我们可以把时间分成 n 小段，每小段起始时刻的速度乘以时间就近似等于这段时间的位移，

各段位移可用一高而窄的小矩形的面积表示，把所有小矩形的面积相加，就近似等于总位移，如图 9-1 所示



如果 n 的取值趋向于无穷大，那么结果就很精确了，实际上 $v - t$ 直线下面梯形的面积就表示了物体的位移。如图 9 - 2 所示，面积为： $S = (OC + AB) \times OA$ ，换上对应的物理量得： $x = (v_0 + v)t$ ，把 $v = v_0 + at$ 代入即得 $x = v_0 t + at^2$ 。

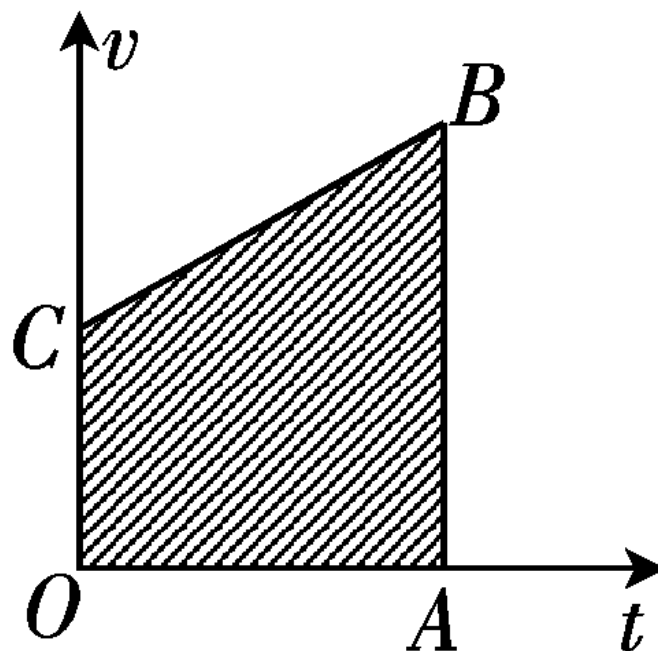


图 9 - 2

二、匀变速直线运动的三个基本公式

三个基本公式：

$$v = v_0 + at; \quad x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2; \quad v^2 - v_0^2 = 2ax.$$

其中包含五个物理量： v_0 、 a 、 t 、 v 、 x ，已知其中任意三个，可求其余两个。公式的选用原则是：

1. 若题目相关物理量无位移，选公式 $v = v_0 + at$.
2. 若题目相关物理量无末速度，一般选公式 $x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$.
3. 若题目相关物理量无时间，一般选公式 $v^2 - v_0^2 = 2ax$.

三、两个有用的结论

1. 匀变速直线运动的平均速度

(1) 结论：做匀变速直线运动的物体在一段时间 t 内的平均速度等于这段时间中间时刻的瞬时速度，还等于这段时间初末速度矢量和的一半。

(2) 公式：
$$\bar{v} = v_{\frac{t}{2}} = \frac{v_0 + v}{2}.$$

(3) 推导：
$$v_{\frac{t}{2}} = v_0 + a\frac{t}{2}$$

$$v = v_2 + a \frac{t}{2}$$

联立可得： $v_2 - v = v_0 - v_2$

所以 $v_2 = \frac{v_0 + v}{2}$

又由 $x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ 得：

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

联立解得： $\bar{v} = v_2 = \frac{v_0 + v}{2}$

2. 任意两个连续相等时间间隔 T 内，位移之差是常量.

(1)公式: $\Delta x = x_2 - x_1 = aT^2$

(2)推导 $x_1 = v_0 T + \frac{1}{2} a T^2$

$$x_1 + x_2 = v_0 \cdot 2T + \frac{1}{2} a (2T)^2$$

联立可得: $x_2 = v_0 T + \frac{3}{2} a T^2$

所以得: $x_2 - x_1 = aT^2$.

四、追及相遇问题

1. 同时同位

两物体相遇一定是同一时刻处在同一位置.

(1) 位移关系: $x_2 = x_0 + x_1$

x_0 表示开始运动时两物体间的距离, x_1 表示前面被追物体的位移, x_2 表示后面追赶物体的位移.

(2) 时间关系: $t_1 = t_2 = t$

即追及过程经历时间相同, 但 t_1 、 t_2 不一定是两物体运动的时间.

2. 临界状况

当两物体速度相等时可能出现恰能追及、恰好避免相撞、相距最远、相距最近等情况，即该四种情况的临界条件为 $v_1 = v_2$ 。

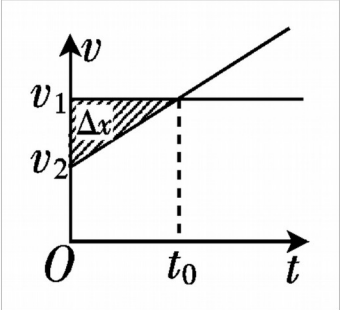
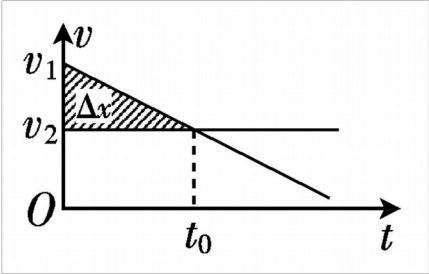
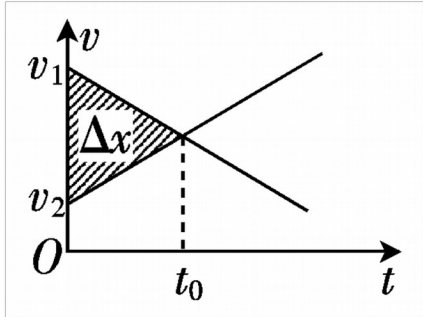
3. 分析 $v - t$ 图象

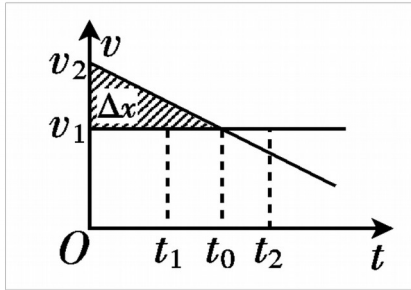
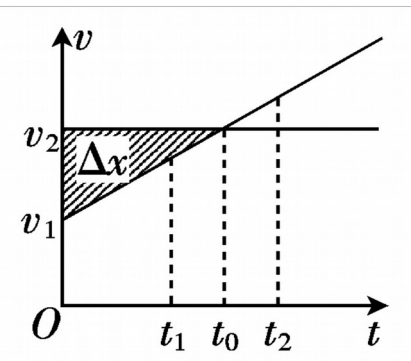
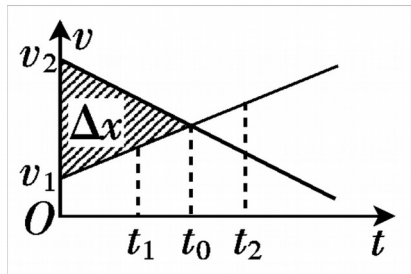
说明： (1) Δx 是开始追及以后，后面物体因速度大而不是前面物体多运动的位移；

(2) x_0 是开始追及以前两物体之间的距离；

(3) $t_2 - t_0 = t_0 - t_1$ ；

(4) v_1 是前面物体的速度， v_2 是后面物体的速度。

类型	图 象	说 明
匀加速 追匀速		<p>① $t=t_0$ 以前, 后面物体与前面物体间距离增大.</p> <p>② $t=t_0$ 时, 两物体相距最远为 $x_0 + \Delta x$.</p> <p>③ $t=t_0$ 以后, 后面物体与前面物体间距离减小.</p> <p>④ 能追及且只能相遇一次.</p>
匀速追 匀减速		
匀加速追 匀减速		

类型	图 象	说 明
<p>匀减速追 匀速</p>		<p>开始追及时，后面物体与前面物体间的距离在减小，当两物体速度相等时，即 $t=t_0$ 时刻：</p> <p>①若 $\Delta x = x_0$，则恰能追及，两物体只能相遇一次，这也是避免相撞的临界条件。</p> <p>②若 $\Delta x < x_0$，则不能追及，此时两物体最小距离为 $x_0 - \Delta x$。</p> <p>③若 $\Delta x > x_0$，则相遇两次，设 t_1 时刻 $\Delta x_1 = x_0$，两物体第一次相遇，则 t_2 时刻两物体第二次相遇。</p>
<p>匀速追 匀加速</p>		
<p>匀减速追 匀加速</p>		

方法指导

一、匀变速直线运动位移公式的应用

例 1 由静止开始做匀加速直线运动的汽车，第 1 s 内通过 0.4 m 的位移，问：

(1) 汽车在第 1 s 末的速度为多大？

(2) 汽车在第 2 s 内通过的位移为多大？

解析 先求出汽车运动的加速度，再利用位移公式求出第 2 s 内的位移，利用速度公式求出第 1 s 末的速度。

(1)由 $x=\frac{1}{2}at^2$ 得:

$$a=\frac{2x}{t^2}=\frac{2\times 0.4}{1^2} \text{ m/s}^2=0.8 \text{ m/s}^2$$

所以汽车在第1 s末的速度为:

$$v_1=at_1=0.8\times 1 \text{ m/s}=0.8 \text{ m/s}.$$

(2)汽车在前2 s内的位移为:

$$x'=\frac{1}{2}at'^2=\frac{1}{2}\times 0.8\times 2^2 \text{ m}=1.6 \text{ m}$$

所以第2 s内汽车的位移为:

$$x_2=x'-x=1.6 \text{ m}-0.4 \text{ m}=1.2 \text{ m}.$$

答案 (1)0.8 m/s (2)1.2 m

二、灵活应用匀变速直线运动公式

例 2 火车沿平直铁轨匀加速前进，通过一路标时的速度为 10.8 km/h

1 min 后变成 54 km/h，又需经一段时间，火车的速度才能达到 64.8 km/h. 求所述过程中火车的位移是多少。

解析 火车一直做匀加速运动，其位移可由 $x = \bar{v}t$ 、 $x = v_0t + \frac{1}{2}at^2$ 或 $x = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$ 三种不同方法求解。

解法一 整个过程的平均速度为：

$$\bar{v} = \frac{v_1 + v_3}{2} = \frac{3 + 18}{2} \text{ m/s} = \frac{21}{2} \text{ m/s}$$

由 $v = v_0 + at$ 得火车的加速度为:

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t_1} = \frac{15 - 3}{60} \text{ m/s}^2 = 0.2 \text{ m/s}^2$$

所以整个过程火车运动的时间为:

$$t = \frac{v_3 - v_1}{a} = \frac{18 - 3}{0.2} \text{ s} = 75 \text{ s}$$

所以火车的位移 $x = \bar{v}t = \frac{21}{2} \times 75 \text{ m} = 787.5 \text{ m}$.

解法二 由 $x = v_0t + \frac{1}{2}at^2$ 得:

$$x = 3 \times 75 \text{ m} + \frac{1}{2} \times 0.2 \times 75^2 \text{ m} = 787.5 \text{ m}.$$

解法三 由 $v^2 - v_0^2 = 2ax$ 得:

$$x = \frac{v_3^2 - v_1^2}{2a} = \frac{18^2 - 3^2}{2 \times 0.2} \text{ m} = 787.5 \text{ m}.$$

答案 787.5 m

点评 (1) 由于运动学公式较多, 同一个题目往往有不同求解方法, 具体选用哪一种, 要视情况而定.

(2) 为确定解题结果是否正确, 用不同方法求解是一有效措施.

变式训练 1

一物体做匀加速直线运动，第 5 s 内的位移为 10 m，第 7 s 内的位移为 20 m，求物体的加速度大小。（至少用两种方法求解）

解析 解法一 第 5 s 内、第 7 s 内的平均速度分别等于第 4.5 s 和第 6.5 s 的瞬时速度，即

答案 5 m/s^2 $v_{4.5} = \frac{x_5}{t} = \frac{10}{1} \text{ m/s} = 10 \text{ m/s}$

$$v_{6.5} = \frac{x_7}{t} = \frac{20}{1} \text{ m/s} = 20 \text{ m/s}$$

$$\text{所以 } a = \frac{v_{6.5} - v_{4.5}}{t'} = \frac{20 - 10}{2} \text{ m/s}^2 = 5 \text{ m/s}^2.$$

解法二 由于 $x_7 - x_5 = 2at^2$

$$\text{所以 } a = \frac{x_7 - x_5}{2t^2} = \frac{20 - 10}{2 \times 1^2} \text{ m/s}^2 = 5 \text{ m/s}^2.$$

三、刹车类问题分析

例 3 以 10 m/s 的速度匀速行驶的汽车，刹车后做匀减速直线运动。若汽车刹车后第 2 s 内的位移为 6.25 m(刹车时间超过 2 s)，则刹车后 6 s 内汽车的位移是多大？

解析 先求出汽车刹车过程中的加速度，再求出汽车刹车所用的时间 t ，把此时间与题给时间比较，若小于题给时间，则在汽车减速为零以后的时间内汽车保持静止。

设汽车刹车时的加速度为 a ，则有：

$$\Delta x_2 = v_0 t_2 + \frac{1}{2} a t_2^2 - (v_0 t_1 + \frac{1}{2} a t_1^2)$$

其中 $v_0=10$ m/s, $\Delta x_2=6.25$ m, $t_2=2$ s, $t_1=1$

S

代入数据解得: $a=-2.5$ m/s²

汽车从刹车到速度减为零所经历的时间为:

$$t' = \frac{0 - v_0}{a} = \frac{0 - 10}{-2.5} \text{ s} = 4 \text{ s} < 6 \text{ s}$$

所以刹车后6 s内汽车的位移为:

$$x = \frac{0 - v_0^2}{2a} = \frac{-10^2}{-2 \times 2.5} \text{ m} = 20 \text{ m}.$$

答案 20 m

四、追及相遇问题

例 4 甲、乙两辆汽车在平直的公路上沿同一方向做直线运动， $t = 0$ 时刻同时经过公路旁的同一个路标。在描述两车运动的 $v - t$ 图中（如图 9 - 3 所示），直线 a 、 b 分别描述了甲、乙两车在 $0 \sim 20$ s 的运动情况。关于两车之间的位置关系，下列说法正确的是（ ）

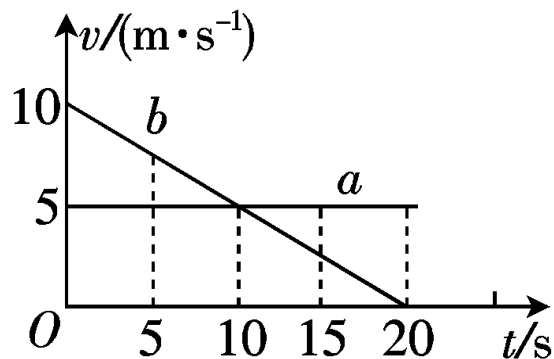


图 9 - 3

- A. 在 $0 \sim 10$ s 内，两车逐渐靠近
- B. 在 $10 \sim 20$ s 内，两车逐渐远离
- C. 在 $5 \sim 15$ s 内，两车的位移相等
- D. 在 $t = 10$ s 时，两车在公路上相遇

分析 由 $v-t$ 图象与时间轴所围面积的关系，可分析判断不同时间段内两物体的位移关系。另外要明确 $v-t$ 图线交点的物理意义。

解析 根据 $v-t$ 图线与时间轴所围面积表示位移可知：在 $0 \sim 10 \text{ s}$ 内，两车的位移差逐渐增大，即两车在远离，选项 A 错误；在 $10 \sim 20 \text{ s}$ 内，甲的位移增加得多，两车在靠近，到 20 s 末两车相遇，选项 B 错误；在 $5 \sim 15 \text{ s}$ 内，由图线的对称关系知两图线在此时间段与时间轴所围面积相等，故两车位移相等，选项 C 正确； $v-t$ 图线的交点表示该时刻速度相等，选项 D 错误。

答案 C

变式训练 2

在例 4 的已知条件下, (1) 甲追上乙之前, 甲、乙之间的最大距离是多少?

(2) 5 ~ 15 s 内乙车的位移大小是多少?

解析 (1) $v-t$ 图象的面积之差表示位移之差, 甲追上乙之前, 甲、乙之间的最大距离

$$\Delta x = \frac{1}{2} \times 10 \times 5 \text{ m} = 25 \text{ m}.$$

(2) 在 5 ~ 15 s 内, 甲、乙两车位移相同, 即

$$x_{\text{乙}} = x_{\text{甲}} = v_{\text{甲}} t = 5 \times 10 \text{ m} = 50 \text{ m}.$$

答案 (1) 25 m (2) 50 m

互动平台

育才老师和细心同学关于一个公式的证明方法的对话

育才：物体做匀变速直线运动时，设连续两段相等的时间 T 内的位移分别为 x_n 、 x_{n+1} ，则在这两段位移内的平均速度恰等于中间时刻的瞬时速度，如图 9-4 所示。

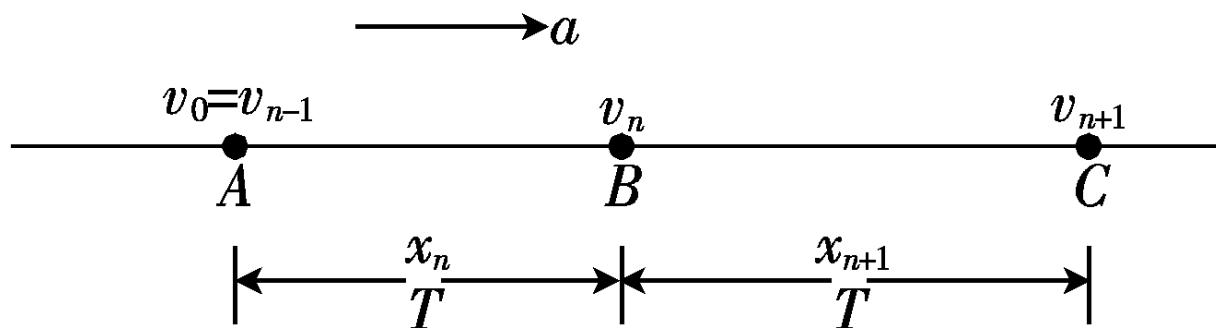


图 9-4

细心：写成公式就是 $v_n = \frac{x_n + x_{n+1}}{2T}$

育才：请你说出这一重要公式的几种证明方法

细心：方法一(利用公式 $\Delta x = aT^2$)

$$x_{n+1} = x_n + aT^2$$

$$x_n + x_{n+1} = 2x_n + aT^2$$

$$\text{因为 } x_n = v_0 T + \frac{1}{2} a T^2 = T(v_0 + \frac{1}{2} a T) = T(v_0 + aT - \frac{1}{2} a T) = T(v_n - \frac{1}{2} a T)$$

$$\text{所以 } x_n + x_{n+1} = 2T(v_n - \frac{1}{2} a T) + aT^2 = 2Tv_n - aT^2 + aT^2 = 2Tv_n$$

$$\text{解得： } v_n = \frac{x_n + x_{n+1}}{2T}.$$

方法二(直接利用位移公式)

$$x_n = v_0 T + \frac{1}{2} a T^2$$

$$x_{n+1} = v_n T + \frac{1}{2} a T^2 = (v_0 + aT) T + \frac{1}{2} a T^2$$

$$\begin{aligned} \text{所以 } \frac{x_n + x_{n+1}}{2T} &= \frac{v_0 T + \frac{1}{2} a T^2 + (v_0 + aT) T + \frac{1}{2} a T^2}{2T} \\ &= \frac{2(v_0 T + aT^2)}{2T} = v_0 + at \end{aligned}$$

$$\text{解得: } v_n = \frac{x_n + x_{n+1}}{2T}.$$

方法三(利用速度公式和平均速度公式)

$$\mathbf{v}_n = \mathbf{v}_0 + aT$$

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{x_n + x_{n+1}}{2T} = \frac{\mathbf{v}_0 \cdot 2T + \frac{1}{2}a(2T)^2}{2T} = \mathbf{v}_0 + aT$$

$$\text{得 } \mathbf{v}_n = \frac{x_n + x_{n+1}}{2T}.$$

方法四(利用位移和速度的关系式)

$$x_n + x_{n+1} = \frac{(\mathbf{v}_{n+1})^2 - (\mathbf{v}_{n-1})^2}{2a}$$

式中 $\mathbf{v}_{n-1} = \mathbf{v}_0 = \mathbf{v}_n - aT$, $\mathbf{v}_{n+1} = \mathbf{v}_n + aT$, 因此

$$x_n + x_{n+1} = \frac{(\mathbf{v}_n + aT)^2 - (\mathbf{v}_n - aT)^2}{2a} = 2T\mathbf{v}_n$$

$$\text{解得: } \mathbf{v}_n = \frac{x_n + x_{n+1}}{2T}$$

某物体做匀变速直线运动的 $v-t$ 图象如图9-5所示.在连续两段相等时间 T 内的位移等于图线下方与 t 轴围成的面积, 显然其平均速度

$\bar{v} = \frac{x_n + x_{n+1}}{2T} =$

v_n .

还可以利用 $v-t$ 图象来证明, 更直观简单.

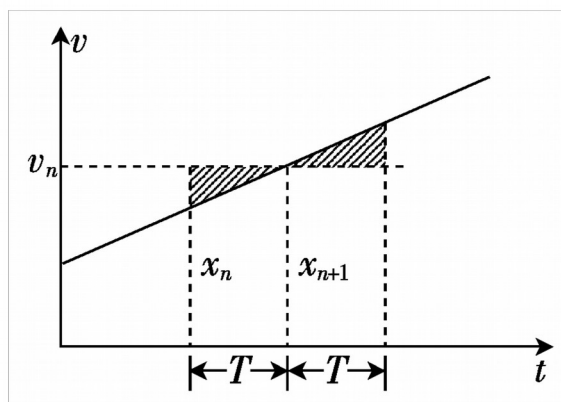


图9-5

育才：很好！

课时 10 自由落体运动

伽利略对自由落体运动的研究

课前导航

雨滴、飘落的树叶、失手掉落的物体等，都是落体。大家由经验知道，若树叶和砖头从相同的高度同时落下，砖头会先到达地面，这类事件不免让人们认为重量越大的物体下落越快。

但是，科学之所以为科学，在于它并不满足于经验。把硬币和羽毛放在一根玻璃管的底部，并抽去管里的空气，然后把它倒竖起来，你会看到它们同时到达管的另一端，而并

非物体越重下落得越快。美国阿波罗飞船登上几乎没有大气的月球后，宇航员特地做了使羽毛和重锤从同一高度同时下落的实验，无数观众从电视机屏幕上看到，它们并排下降，且同时落到月球表面。

请你思考：

1. 物体只在重力作用下下落的快慢与其重力有关系吗？
2. 空气阻力对重的物体与轻的物体下落造成的影响有何不同？

基础梳理

自由落体运动

定义：物体只在重力作用下从静止开始下落的运动。
做自由落体运动的条件：只受重力作用和初速度为零。
在有空气的空间里，如果空气阻力的作用比起重力的作用很小，可以忽略不计，则物体的下落可看做自由落体运动。

自由落体运动

自由落体加速度 g

一切物体做自由落体运动的加速度都相同，这个加速度叫自由落体加速度，也叫重力加速度，用 g 来表示。
 g 是矢量，方向竖直向下；在通常的计算中一般取 9.8 m/s^2 ，在粗略计算中，还可以取 10 m/s^2 。
 g 的大小随地理位置的变化而略有变化，在地球表面上赤道处最小，两极最大，即随纬度的增大而增大； g 的大小还随高度的增加而减小。



自由落体运动的规律

自由落体运动是初速度为零的匀加速直线运动。
 匀变速直线运动的基本公式及其推论公式都适用于自由落体运动, 只要将初速度取零, 加速度取为 g 就可以了. 基本公式为: $v = \underline{gt}$, $x = \underline{\frac{1}{2}gt^2}$, $v^2 = \underline{2gx}$.

伽利略对自由落体运动的研究

绵延两千年的错误: 物体下落的快慢是由它们所受重力的大小决定的, 物体越重, 下落得越快.

伽利略的观点 { 重物与轻物应该下落得同样快.
 他猜想落体运动物体的速度应该是均匀变化的.

实验验证 { 小球沿斜面滚下的运动确是匀加速直线运动.
 合理的外推: 如果斜面的倾角增大到 90° , 小球仍然会保持匀加速运动的性质, 而且所有物体下落时的加速度都是一样的!

伽利略的科学方法: 核心是把实验和逻辑推理 (包括数学推演) 和谐地结合起来.

知识精析

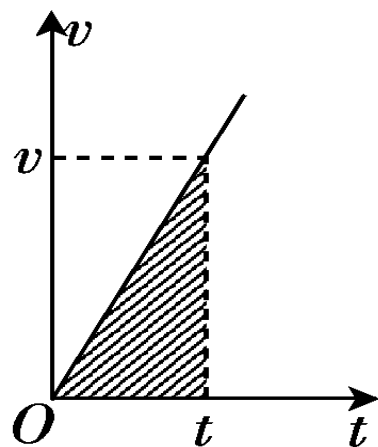
一、探究自由落体运动及其加速度

1. 理想模型：自由落体运动是一种理想化模型，只有当自由下落物体所受空气阻力可以忽略时才可看做自由落体。

2. 产生条件： $v_0 = 0$ ， $a = g$ 。

3. 相关图象

(1) $v - t$ 图象：因为 $v = gt$ ，所以是一条过原点的倾斜直线；斜率表示加速度，图中阴影部分表示位移，如图 10 - 1 所示。



(2) $x - t$ 图象：因为 $x = gt^2$ ，所以是一条抛物线，斜率表示该时刻的速度，如图 10 - 2 所示。

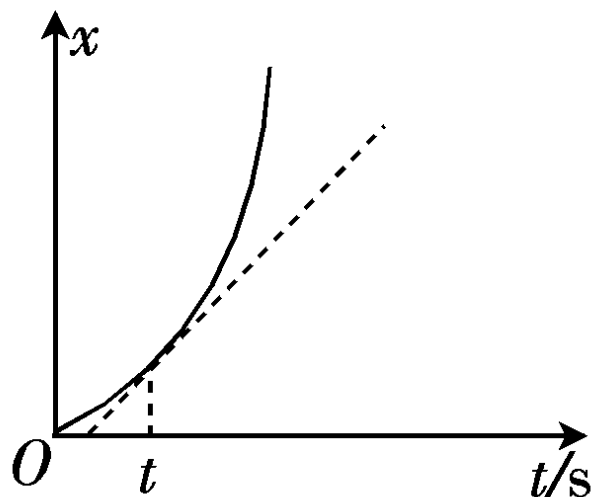


图 10 - 2

4. 加速度

(1) 在同一地点，所有做自由落体运动的物体的加速度相同，均为 g 。

(2) 任意时间内速度变化量 $\Delta v = gt$ ，方向竖直向下。

二、重力加速度的测量

1. 用频闪照相研究自由落体运动

频闪照相机可间隔相等的时间拍摄一次，利用频闪照相机可追踪记录做自由落体运动的物体在各时刻的位置。利用照片，可以研究自由落体是否为匀变速运动 (Δx 是否为恒量)，可以测量重力加速度 (若 T 已知，利用 $\Delta x = gT^2$ 求解)，可以测量物体在某一位置的瞬时速度。

2. 应用电磁打点计时器或电火花计时器，研究自由落体运动，通过对纸带的分析和计算，测得当地的重力加速度值，这是测定重力加速度的一种方法。

三、探讨伽利略的科学方法

1. 伽利略第一次把实验和逻辑推理（包括数学推演）和谐地结合了起来，打开了近代科学的大门，从前的学者只注重思辨不重视实验。尊重事实，敢于质疑权威是创新的必备素质。伽利略把自己的科学方法付诸应用，成功地解决了自由落体运动的运动性质问题，其中有观察，有猜想，有实验，有逻辑（包括数学推演）。他的研究方法为后人所采用，创造了科学的奇迹。

2. 伽利略的研究方法

从教材内容我们能感受到伽利略敢于向旧观念挑战的精神、高超的推理能力、运用数学工具的能力和利用实验不断探索的精神。

(1) 伽利略运用“归谬法”否定了亚里士多德关于重的物体下落快、轻的物体下落慢的论断。

(2) 伽利略有克服困难的勇气。当时只有“快慢”之分，而他竟然在没有“速度”概念的条件下，想到速度的均匀增加，并建立速度的概念，再继续研究加速度。

(3) 伽利略提出自由落体运动是一种最简单的变速运动——匀变速运动的假说。（并考虑到是相对时间，还是相对位移均匀变化的问题）

(4) 伽利略用间接验证的方法得出自由落体运动是匀变速运动。

①运用数学推导的方法得出初速度为零的匀变速直线运动符合 $x \propto t^2$.

②理想斜面实验

a. 运用斜面实验测出小球沿光滑斜面向下的运动符合 $x \propto t^2$ ，是匀变速直线运动。

b. 不同质量的小球沿同一倾角的斜面运动， $x \propto t^2$ 的值不变，说明它们运动的情况相同。

c. 不断增大斜面倾角，得出的值随之增大，说明小球做匀变速直线运动的加速度随倾角的增大而增大。

d. 伽利略将斜面实验结果外推到斜面倾角增大到 90° 的情况——小球自由下落，认为小球仍会保持匀变速直线运动的性质。

③自由落体太快，当时用滴水计时无法解决，他想到利用斜面上物体的运动来“冲淡”重力。

伽利略对自由落体运动的研究，创造了研究自然规律的科学方法——抽象思维、数学推导和科学实验相结合。这种方法到现在仍然一直是物理学乃至整个自然科学最基本的研究方法，不但标志着物理学的真正开端，也有力地推进了人类科学认识的发展，近代科学研究的大门从此打开。

3. 伽利略对自由落体运动的研究给我们的启示

(1) 要善于观察，勤于思考，勇于发现问题和提出问题。

(2) 要合理地进行猜想与假设。

方法指导

一、自由落体运动规律的应用

例 1 从离地 500 m 的空中由静止开始自由落下一个小球，取 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ，求：

(1) 小球经过多少时间落到地面。

(2) 从开始落下的时刻起，小球在第 1 s 内的位移和最后 1 s 内的位移。

(3) 小球落下一半时间的位移。

解析 由 $h = 500 \text{ m}$ 和运动时间，根据位移公式可直接算出落地时间、第 1 s 内位移和落下一半时间的位移。最后 1 s 内的位移是下落总位移和前 $(n - 1) \text{ s}$ 下落位移之差

(1)由 $h=\frac{1}{2}gt^2$ ，得落地时间为：

$$t=\sqrt{\frac{2h}{g}}=\sqrt{\frac{2\times 500}{10}}\text{ s}=10\text{ s}.$$

(2)第1 s内的位移为：

$$h_1=\frac{1}{2}gt_1^2=\frac{1}{2}\times 10\times 1^2\text{ m}=5\text{ m}$$

因为从开始运动起前9 s内的位移为：

$$h_9=\frac{1}{2}gt_9^2=\frac{1}{2}\times 10\times 9^2\text{ m}=405\text{ m}$$

所以最后1 s内的位移为：

$$h_{10}=h-h_9=500\text{ m}-405\text{ m}=95\text{ m}.$$

(3) 落下一半时间即 $t' = 5 \text{ s}$ ，其位移为：

$$h_5 = \frac{1}{2}gt'^2 = \frac{1}{2} \times 10 \times 25 \text{ m} = 125 \text{ m}.$$

答案 (1)10 s (2)5 m 95 m (3)125 m

点评 匀变速直线运动规律公式较多，解题时要注意

灵活应用，如对某段时间内的位移，可用总时间内的位移

与前段时间内位移的差表示。

变式训练 1

一质点从 h 高处自由下落，经过最后 196 m 所用的时间是 4 s，若空气阻力不计，求物体下落的总时间 t 和下落的总高度 h 。(取 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$)

答案 7 s 240.1 m

二、分阶段处理落体运动问题

例 2 从 160 m 高空静止的气球上自由落下一物体，此物体下落 2 s 后张开降落伞匀速下落，问物体共经历多长时间落到地面？(取 $g = 10 \text{ m/s}^2$)

解析 先求出自由落体运动阶段的末速度及下落的高度，再根据匀速运动阶段的速度及下落高度求出运动时间，最后将两段时间加起来即为总的运动时间。

前 2 s 内物体做自由落体运动，这段时间内的位移 x_1

和末速度 v_1 分别为：

$$x_1 = \frac{1}{2}gt_1^2 = \frac{1}{2} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (2 \text{ s})^2 = 20 \text{ m}$$

$$v_1 = gt_1 = 10 \text{ m/s}^2 \times 2 \text{ s} = 20 \text{ m/s}$$

以后做匀速直线运动，由 $x = vt$ 知，所用时间为：

$$t_2 = \frac{x_2}{v_1} = \frac{140}{20} \text{ s} = 7 \text{ s}$$

所用总时间 $t = t_1 + t_2 = 2 \text{ s} + 7 \text{ s} = 9 \text{ s}$.

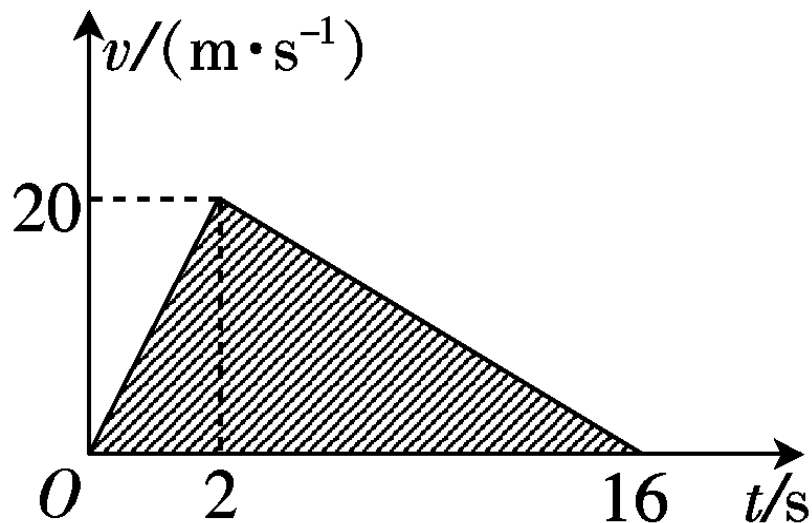
答案 9 s

变式训练 2

从 160 m 高空静止的气球上自由落下一物体，此物体下落 2 s 后张开降落伞匀减速下落，且到达地面时物体速度恰好为零。

- (1) 求物体共经历多长时间落到地面。
- (2) 作出 $v - t$ 图象，并在图中指明已知量。

解析



(1) 前 2 s 内物体仍做自由落体运动，以后物体做匀减速直线运动，则 $x_2 = v_1 t_2$ ，解得 $t_2 = 14$ s

总时间 $t = t_1 + t_2 = 16$ s.

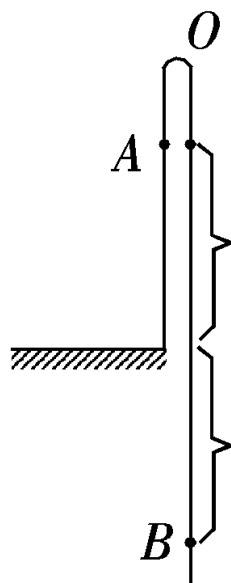
(2) 已知三角形的面积 $x = 160$ ，三角形的高 $v = 2 \times 10$ m/s = 20 m/s，所以三角形的底边 $t = 16$ s.

答案 (1) 16 s (2) 见解析图

三、竖直上抛运动过程分析

例 3 某人在高层楼房的阳台外侧以 20 m/s 的速度竖直上抛一个石块，石块运动到离抛出点 15 m 处时，所经历的时间为多少？（不计空气阻力，取 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ）

解析 石块落地之前在空中的运动（包括上升阶段和下落阶段）是匀变速直线运动，分析时可以分阶段，也可以直接应用公式。



石块运动到离抛出点 15 m 处可能在抛出点上方，也可在抛出点下方，抛出后能上升的最大高度 $H = 20 \text{ m} > 15 \text{ m}$ ，如图所示，离抛出点 15 m 处的位置有三个，所经历的时间必定有三个。石块上升到最大高度所用的时间为： $t = 2 \text{ s}$ 。

2 s 前石块第一次通过“离抛出点 15 m 处”；2 s 时石块到达最高点，速度为零，随后石块开始做自由落体运动，会第二次经过“离抛出点 15 m 处”；当石块落到抛出点下方时，会第三次经过“离抛出点 15 m 处”。

当石块在抛出点上方“离抛出点15 m处”时，取向上为正方向，则位移 $x=15\text{ m}$ ， $a=-10\text{ m/s}^2$ ，代入公式 $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ ，解得 $t_1=1\text{ s}$ ， $t_2=3\text{ s}$ ， $t_1=1\text{ s}$ 对应着石块上升时到达“离抛出点15 m处”时所用的时间，而 $t_2=3\text{ s}$ 则对应着从最高点往回落时第二次经过“离抛出点15 m处”时所用的时间。由于石块上升的最大高度 $H=20\text{ m}$ ，所以石块落到抛出点下方“离抛出点15 m处”时，自由下落的总高度 $H_{OB}=20\text{ m}+15\text{ m}=35\text{ m}$ ，下落这段位移所用的时间 $t_{OB}=\sqrt{\frac{2H_{OB}}{g}}=\sqrt{7}\text{ s}$ 。这样石块从抛出到第三次经过“离抛出点15 m处”时所用的时间为： $t_3=2\text{ s}+\sqrt{7}\text{ s}=(2+\sqrt{7})\text{ s}$ 。

答案 1 s、3 s或 $(2+\sqrt{7})\text{ s}$

互动平台

粗心同学和细心同学关于牛顿管实验的对话

粗心：牛顿管抽成真空后，物体不受重力作用了，怎么它还会做自由落体运动呢？

细心：牛顿管虽然抽成真空，但内部空间的物体在地球表面仍受到地球的吸引力，重力仍存在且保持不变，所以物体仍可做自由落体运动，只不过下落时不受阻力作用了。

育才老师和细心同学对生活中一个自由落体现象的对话

细心：老师，我们生活中常常看到这样一种现象。如图 10 - 3 所示，我们适当调整开关，可以看到水龙头流出的水柱越来越短，越来越细，再断裂成很短很短的水柱，

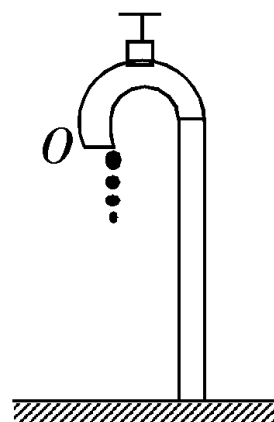


图 10 - 3

育才：你不愧为“细心”，对生活现象观察得很仔细。这确实是一个用来做自由落体实验的好仪器。打开水龙头，由于水压的作用，水以较大初速度流出。当你调整开关时，水流越细，水速越小。细到一定的程度，稍下部位的细水柱在向下流动的同时在积累，积累较大时就断裂成水滴（其实是很短很短的水柱），这时水滴有初速度，不是自由落体。继续调整开关，已没有水流流出，在如图 10 - 3 所示的 O 位置，水积累成水滴后落下，这才是自由落体。

课时 11 《匀变速直线运动的研究》单元小结

本单元知识梳理

匀 变 速 直 线 运 动	规 律	实验:探究小车速度随时间变化的规律
		基本公式
		推论
		特例:自由落体运动

速度公式: $v = v_0 + at$

位移公式: $x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$

速度位移关系式: $v^2 - v_0^2 = 2ax$

平均速度: $\bar{v} = \frac{v_0 + v}{2} = v \frac{t}{2}$

位移差: $\Delta x = aT^2$

$$a = g \begin{cases} v_0 = 0 \\ v = gt \\ h = \frac{1}{2} gt^2 \\ v^2 = 2gh \end{cases}$$

伽利略的科学研究方法

方法归纳

一、匀变速直线运动的基本公式和推论

1. 基本公式

(1) 速度公式: $v = v_0 + at$

(2) 位移公式: $x = v_0t + at^2$

(3) 位移速度关系式: $v^2 - v_0^2 = 2ax$

三个公式都是矢量式，应用时要注意各物理量的符号

2. 常用推论

(1) 中间时刻的瞬时速度

$$\overline{v}^t = \overline{v}_t = \frac{1}{2}(v_0 + v) \quad \text{①}$$

(2) 连续相等时间 T 内的位移之差

$$\Delta x = x_2 - x_1 = aT^2 \quad \text{②}$$

推论： $x_n - x_m = (n - m)aT^2 \quad \text{③}$

注意： 以上两个推论常被用来分析纸带问题，例如利用①式求纸带上某点的瞬时速度，或利用②③式求纸带运动的加速度。

3. 初速度为零的匀加速直线运动

(1) 1 s 末、2 s 末、3 s 末... n s 末的速度之比为:

$$v_1 : v_2 : v_3 : \dots : v_n = 1 : 2 : 3 : \dots : n$$

(2) 1 s 内、2 s 内、3 s 内... n s 内的位移之比为:

$$x_1 : x_2 : x_3 : \dots : x_n = 1 : 4 : 9 : \dots : n^2$$

(3) 第 1 s 内、第 2 s 内、第 3 s 内... 第 n s 内的位移之比为:

$$x_1' : x_2' : x_3' : \dots : x_n' = 1 : 3 : 5 : \dots : (2n - 1)$$

(4) 第 1 个 t 、第 2 个 t 、第 3 个 t ... 第 n 个 t 相邻相等位移的时间之比为:

$$\sqrt{2} : \dots : (\sqrt{n} - \sqrt{n-1})$$

注意: (1) 以上公式对自由落体运动同样适用.

(2) 末速度为零的匀减速直线运动也可以认为是反向的初速度为零的匀加速直线运动.



(2) 末速度为零的匀减速直线运动也可以认为是反向的初速度为零的匀加速直线运动.

例 1 一小球自屋檐自由下落，在 $\Delta t = 0.25 \text{ s}$ 内通过高度 $\Delta h = 2 \text{ m}$ 的窗口，求窗口的顶端距屋檐多少米。（取 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ）

解析 设窗顶离屋檐的距离为 h ，球落到窗顶处的速度为 v_1 ，球落到窗底处的速度为 v_2 ，则：

$$v_1 = gt_1$$

$$v_2 = g(t_1 + \Delta t)$$

$$v_2 - v_1 = 2g\Delta h$$

联立解得： $t_1 = 0.675 \text{ s}$

所以 $h = gt_1^2 = \frac{1}{2} \times 10 \times 0.675^2 \text{ m} \approx 2.28 \text{ m}$.

也可以用另外的解法:

设球经过窗口 $\Delta h=2$ m过程的中间时刻的瞬时速度为 v' , 从屋檐到速度为 v' 历时 t' , 则有:

$$v' = \frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{2}{0.25} \text{ m/s} = 8 \text{ m/s}$$

$$\text{由 } v' = gt' \text{ , 得 } t' = \frac{v'}{g} = \frac{8}{10} \text{ s} = 0.8 \text{ s}$$

$$\text{所以 } t_1 = t' - \frac{\Delta t}{2} = 0.675 \text{ s, } h = \frac{1}{2}gt_1^2 = 2.28 \text{ m.}$$

答案 2.28 m

二、追及相遇问题

“追及”、“相遇”是运动学中研究同一直线上两个物体的运动时常常涉及的两类问题，两者的基本特征相同，处理方法也大同小异。

1. “追及”、“相遇”的特征

“追及”的主要条件是：两个物体在追赶过程中处在同一位置。

两物体恰能“相遇”的临界条件是两物体处在同一位置时，两物体的速度恰好相同。

2. 解“追及”、“相遇”问题的思路

(1) 根据对两物体运动过程的分析，画出物体的运动示意图。

(2) 根据两物体的运动性质，分别列出两个物体的位移方程。注意要将两物体运动时间的关系反映在方程中

(3) 由运动示意图找出两物体位移间的关联方程。

(4) 联立方程求解。

3. 分析“追及”、“相遇”问题时应注意的问题

(1) 分析“追及”、“相遇”问题时，一定要抓住一个条件、两个关系。一个条件是两物体的速度满足的临界条件，如两物体距离最大、最小，恰好追上或恰好追不上等。两个关系是时间关系和位移关系。一定要养成画草图分析问题的良好习惯。

(2) 若被追赶的物体做匀减速运动，一定要注意在追上前，该物体是否已经停止运动。

(3) 仔细审题，注意抓住题目中的关键字眼，充分挖掘题目中的隐含条件。

4. 解决“追及”和“相遇”问题的方法

(1) 数学方法：因为在匀变速运动的位移表达式中有时间的二次方，我们可列出方程，利用二次函数求极值的方法求解，有时也可借助 $v - t$ 图象进行分析。

(2) 物理方法：即通过对物理情景和物理过程的分析，找到临界状态和临界条件，然后列出方程求解。

例 2 汽车正以 10 m/s 的速度在平直的公路上前进，突然发现正前方有一辆自行车以 4 m/s 的速度做同方向的匀速直线运动，汽车立即关闭油门做加速度大小为 6 m/s^2 的匀减速运动，汽车恰好不碰上自行车，求关闭油门时汽车离自行车多远。

解析 当汽车恰好不碰上自行车，有：

$$v_{\text{汽车}} = v_{\text{自}} = 4 \text{ m/s}$$

$$x_{\text{汽}} - x_0 = x_{\text{自}}, \quad v_t = v_0 + at$$

汽车：由 $4 \text{ m/s} = 10 \text{ m/s} - 6 \text{ m/s}^2 \cdot t$

解得： $t = 1 \text{ s}$

$$\begin{aligned} x_0 &= x_{\text{汽}} - x_{\text{自}} \\ &= \frac{10 \text{ m/s} + 4 \text{ m/s}}{2} \end{aligned}$$

$$\cdot 1 \text{ s} - 4 \text{ m/s} \cdot 1 \text{ s}$$

$$= 7 \text{ m} - 4 \text{ m} = 3 \text{ m}.$$

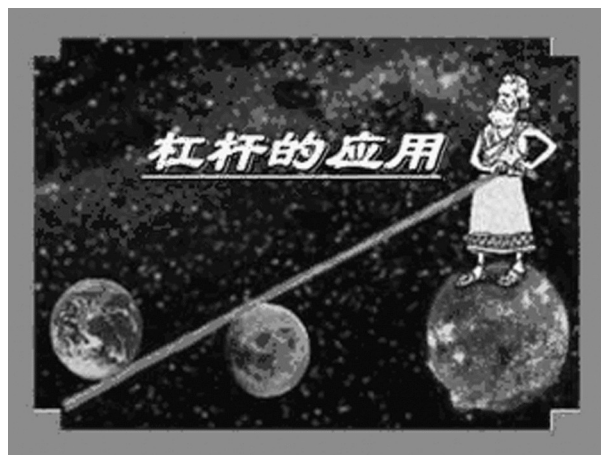
答案 3 m

课时 12 重力 基本相互作用

课前导航

力是物体对物体的作用

古希腊有一个科学家叫阿基米德，他有一句名言：“给我一个支点，我就可以撬动地球。”



我国东汉时期有一个著名唯物主义思想家王充，他在《论衡·效力篇》中说：“古之多力者，身能负荷千钧，手能决角引钩，使之自举，不能离地。”（大意是力气再大的人，自己也不能把自己举起来）

西楚霸王项羽“力拔山兮气盖世”，真不知道是他双手拔山的力大，还是他双脚蹬地的力大。

缺少支点就撬不起地球；大力士不能自举；若双手拔山，必“脚踏实地”，这些都向我们显示了一个道理：力是物体与物体间的相互作用，施力物体和受力物体必同时存在。

请你思考：

1. 力的实质是什么？
2. 力能离开物体而存在吗？
3. 施力物体与受力物体一定同时存在吗？

基础梳理

重力
基本
相互
作用

物体运动状态的改变:物体的运动状态用速度来描述,只要物体的速度变化了,不管是大小还是方向改变了,都认为这个物体的运动状态发生了变化.

力:在物理学中,人们把改变物体的运动状态、使物体产生形变的原因,即物体与物体之间的相互作用称做力.力是矢量,它不但有大小,而且有方向.力的大小可以用弹簧秤来测量.在国际单位制中,力的单位是牛顿,简称牛,符号是N.

力的三要素:力的大小、方向、作用点称为力的三要素.

力的图示:力可以用一根带箭头的线段来表示,线段是按一定的比例(标度)画出的,它的长短表示力的大小,它的指向表示力的方向,箭头(或箭尾)表示力的作用点,线段所在的直线叫做力的作用线.这种表示力的方法,叫做力的图示.在分析力学问题时,若只需画出力的方向和作用线,这种表示力的方法叫做力的示意图.

重力
基本
相互作用

重力:地球表面附近的一切物体都受到地球的吸引,由于地球的吸引而使物体受到的力叫做重力.物体受到的重力 G 与物体质量 m 的关系为 $G=mg$,其中 g 就是自由落体的加速度.重力的方向总是竖直向下的,我们可以认为物体各部分受到的重力作用集中于一点,这一点叫做物体的重心.

四种基本相互作用:自然界中的四种基本相互作用是万有引力、电磁相互作用、强相互作用和弱相互作用.重力是万有引力在地球表面附近的表现.强相互作用的作用范围只有约 10^{-15} m,即原子核的大小.

知识精析

一、相互作用的特点

1. 力的产生离不开物体 (施力物体——产生力的物体, 受力物体——受到力的物体), 而且有两个物体同时存在才能产生力.

2. 物体之间的力是相互的, 甲物体作用于乙物体, 乙物体也同时作用于甲物体, 施力物体必然也是受力物体, 受力物体必然也是施力物体, 物体间的这一对相互作用力总是同时产生, 同时消失, 不存在先后和因果关系.

3. 物体间发生相互作用有两种情况: 一是两个物体直接接触时可能发生相互作用. 如: 用手压桌子时产生的压力就是直接接触产生的; 二是两个物体并未直接接触而发生相互作用. 例如: 两块磁铁相隔一定距离时虽未直接接触, 但它们之间存在磁场力.

4. 力的作用效果有时表现为形变 (如: 物体被拉伸、压缩、扭转、剪切等), 有时表现为物体运动状态的改变 (如: 物体运动速度的大小改变、方向改变或大小和方向同时改变), 有时两者同时出现.

二、力的图示和力的示意图

1. 用力的图示来表示力的三要素的具体步骤.

(1) 选定标度, 选某一长度表示多少牛顿的力.

(2) 沿力的方向并从力的作用点开始, 按一定比例画出一线段.

(3) 在线段的末端标出箭头, 表示方向.

2. 选标度时, 注意根据力的大小做恰当的选择, 能在图中非常直观、方便地看到这个力, 还要使画图匀称美观, 还要注意不能用不同标度画同一物体受到的力.

3. 力的图示是用作图法直观形象地表示力，力的三要素均能在力的图示中找到，力的示意图则不同，它可以表示出力的作用点和方向，但线段的长短并不表示力的大小。

三、探究重力

1. 对重力的认识

(1) 重力的产生：重力是由于物体受到地球的吸引而产生的。即重力的施力物体是地球，但不能说重力就是地球对物体的吸引力，由于地球自转的影响，重力一般不等于地球对物体的吸引力。重力是非接触力，它与物体的运动情况和接触面的情况无关。

(2) 重力的大小：重力的大小是由物体的质量和所处的地理位置共同决定的，即 $G = mg$ 。在同一地点，重力大小与质量成正比，在不同地点，如：在地球上的不同纬度，离地面的高度不同， g 有微小改变，则同一物体的重力



(3) 重力的方向：重力的方向是竖直向下，不能说成“垂直向下”，也不能说成“指向地心”。“竖直向下”是垂直于当地的水平面向下，而“垂直向下”可以垂直于任何支持面向下；物体只有在赤道或两极上时，重力的方向才指向地心，其他位置并不能指向地心。重力的方向也不受其他作用力的影响，与物体的运动状态也没有关系。

2. 对重心的理解

(1) 重心概念的提出，采用了“等效”的观点，“等效”意味着作用效果相同。

(2) 重心是重力的“等效”作用点，认为物体各部分受到的重力集中于一点，可以使研究的问题大大简化。它不是物体上实际存在的特殊点，也不是物体上最重的点。

(3) 物体重心的位置可以在物体上，也可以在物体外。例如：一个圆形平板的重心在板上，而一个质量分布均匀的铁环的重心就不在环上。

(4) 重心的位置与物体所在的位置及放置状态和运动状态无关。但一个物体的质量分布发生变化时，其重心的位置也将发生变化。

方法指导

一、正确理解力的概念

例 1 下列说法正确的是 ()

A. 拳击手一拳击出，没有击中对方，这时只有施力物体，没有受力物体

B. 运动员将足球踢出，球在空中飞行是因为球受到一个向前的推力

C. 甲用力把乙推倒，说明只是甲对乙有力，而乙对甲没有力

D. 两个物体发生相互作用不一定相互接触

分析 力是物体对物体的作用，有力的产生必定同时有施力物体和受力物体，利用力的相互性和物质性可以判断一个力是否存在。

解析

选项	内容指向，联系分析	结论
A	拳击手未击中对方，说明拳击手与对方之间没有相互作用，因为没有受力物体的力是不存在的，所以此时也不存在拳击手是施力物体的问题。	错误
B	踢出去的球向前运动，并没有受到向前的推力，因为找不到这个力的施力物体，而没有施力物体的力是不存在的。	错误
C	由力作用的相互性可知，甲推乙的同时，乙也推甲。	错误
D	物体间发生相互作用时，可以直接接触也可以不相互接触。如磁铁之间的相互作用。	正确
误区警示	本题易误选 B. 误认为运动的物体一定受到力的作用，如果一个物体力，则一定能找到施加这个力的施力物体。据此可判断 B 是错误的。	

二、力的图示

例 2 一个铁球在空中飞行，所受重力为 120 N ，方向竖直向下，试画出重力的图示和示意图，并说明施力物体和受力物体。

解析 要严格按以下步骤画力的图示。

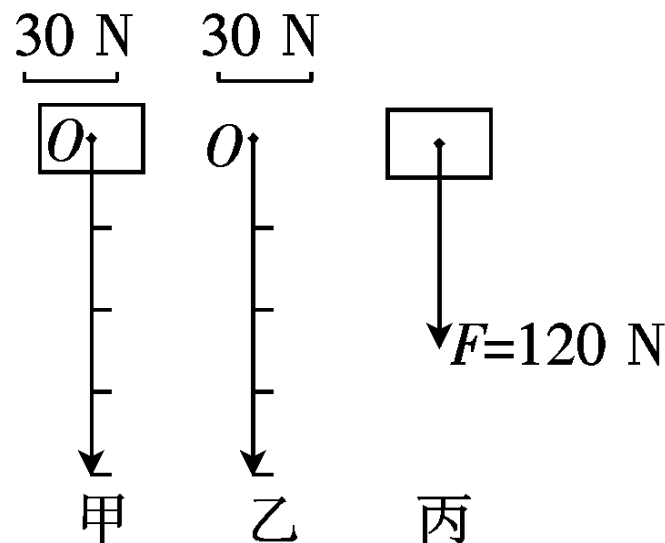
(1) 选定标度：选 1 cm 长的线段表示 30 N 的力；

(2) 用一矩形表示物体，从作用点沿力的方向画一线段，线段的长度按选定的标度和力的大小画，线段上加上刻度，如图甲所示，从 O 点竖直向下画一条 4 倍于标度 (1 cm) 的线段；

(3) 在线段上加上箭头表示力的方向。

也可以按照如图乙所示那样，不画物体，而用 O 点表示物体，画出力 F 的图示。

画力的示意图。如图丙所示，用一矩形表示物体，从物体上向力的方向画一线段，并加上箭头，表示方向。然后标明 $F = 120\text{ N}$ 即可。这个重力的施力物体是地球，受力物体是铁球。

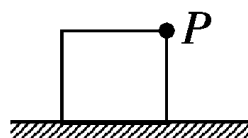


点评 (1) 画力的图示时一定要先选定合适的标度，并且同一个图中只能选定一个标度，力的图示一定要把力的三要素充分体现出来。

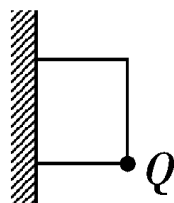
(2) 力的示意图只是粗略地分析物体受到的某个力或几个力。只注重力的方向和作用点，对力的大小表示没有严格要求，在以后对物体进行受力分析时，只画力的示意图就可以了。注意要把各力的作用点画在物体上。

变式训练 1

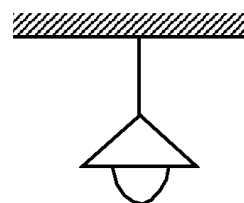
在图甲中木箱的 P 点，用与水平方向成 30° 角斜向上的 150 N 的力拉木箱；在图乙中木块的 Q 点，用与竖直方向成 60° 角斜向上的 20 N 的力把木块抵在墙壁上。试作出甲、乙两图中所给力图示，并作出图丙中电灯所受重力和拉力的示意图。



甲

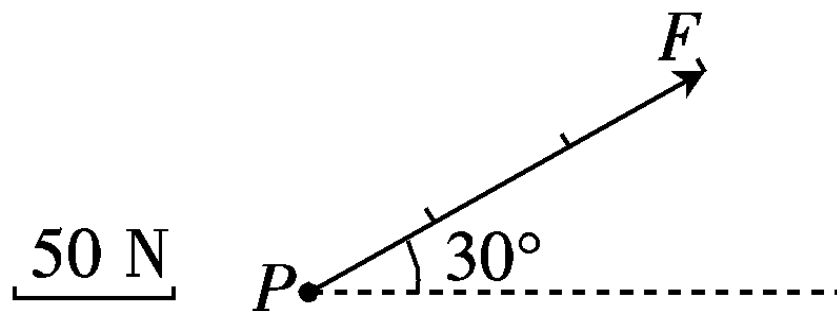


乙

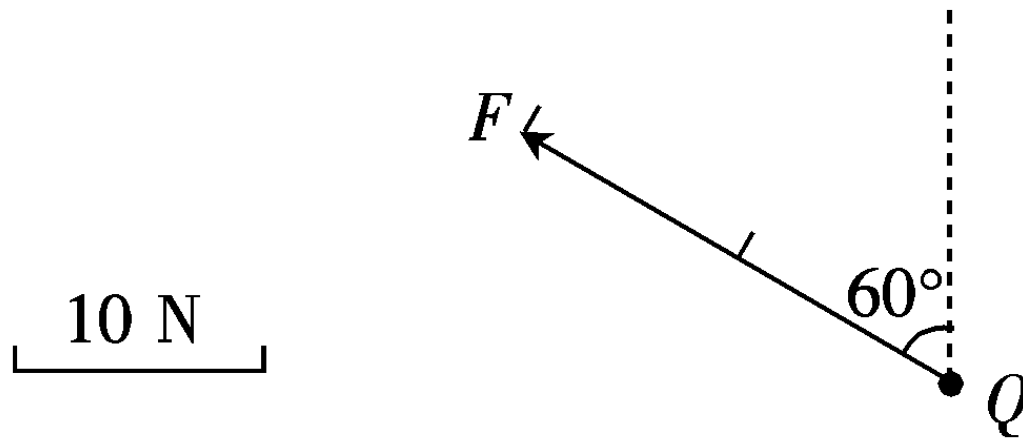


丙

解析 甲图：选 6 mm 线段表示 50 N 的力。



乙图：选 1 cm 线段表示 10 N 的力。



丙图：



三、重力与重心

例 3 关于重力的大小及重心的位置，下列说法正确的是 ()

A . 重力是物体本身具有的力，大小与物体的质量成正比

B . 静止在水平面上的物体对水平面的压力一定小于其所受的重力

C . 重力只作用在物体的重心上，重心的位置总在物体的几何中心

D . 重力是由于地球对物体的吸引而产生的，重力的施力物体是地球

解析 解答此类问题必须弄清楚两点：

(1) 重力的大小由 m 、 g 共同决定，而 g 的值又与物体所处的地理位置有关。

(2) 物体重心的位置与物体的形状和质量分布均有关系。

重力是由于地球对物体的吸引而使物体受到的力，而不是物体本身具有的力。物体的重力的计算式 $G = mg$ ，其中 g 的值与物体所处的地理位置有关，同一地点， g 值相同，物体的重力与物体的质量成正比，不同地点，不同高度， g 值一般不同，因此，不能说物体的重力大小与物体的质量成正比，选项 A 错误；静止在水平面上的物体，对水平面的压力大小等于物体的重力，选项 B 错误；重心是物体所受重力的等效作用点，重心的位置与物体的形状和质量分布均有关，只有质量均匀分布时，重心的位置才总在物体的几何中心，故选项 C 也错误；由重力的产生可知，选项 D 正确。

变式训练 2

(1) 用测力计如何测出物体的重力？

(2) 如果知道当地的重力加速度的值为 g ，能否借助测力计测出物体的质量？

解析 (1) 将物体竖直悬挂在测力计上，保持物体和测力计静止，则测力计的示数即为物体重力的大小。

(2) 先用上述方法测出物体的重力大小 G ，再由 $G =$

mg 算出 $m = \frac{G}{g}$ 即可。

互动平台

育才老师和细心同学关于力是物体对物体的作用的对话

细心：力是不能够脱离物体而存在的，有受力物体必有施力物体，有施力物体的同时也有受力物体。我原来总以为飞出去的标枪会受到一个向前的推动力，现在明白了，根本不存在施加推动力的施力物体，当然对标枪的推动力就不存在。

育才：有个成语叫“鬼使神差”，人们常用来形容事情出现得荒唐，其实说的就是当不存在施力物体时，所有的作用都是虚无缥缈的。因此，在分析物体受力时，一定要找到哪个是受力物体，哪个是施力物体，这样，才不致产生人为地增加力或丢掉力的错误。

细心同学和粗心同学关于力的图示的对话

粗心：由力的图示的作图方法可知，画一个力的图示就是用一条有方向的线段把力的三要素（大小、方向和作用点）表示出来，随便画一条线段表示力的大小，箭头指向表示力的方向，箭头或箭尾表示力的作用点就可以了。

细心：你怎么确定你所画的那一条线段的长短就表示那个力的大小呢？那一条线段我也可以认为表示任意一个大小的力。例如，你说它表示 8 N ，我也可说它表示 3 N 、 5 N 、 10 N 等等。

粗心：我知道了，要使某一线段表示某个力的大小，应选取一个标准长度（明确多长线段表示多大力），然后按选好的标度画出来的线段才可以唯一地表示某个力的大小。

细心：力的图示是把数字的力用几何语言表达，为以后应用几何知识解决力学问题奠定了基础。

粗心：看起来以后的物理学习中肯定少不了与几何知识打交道了。

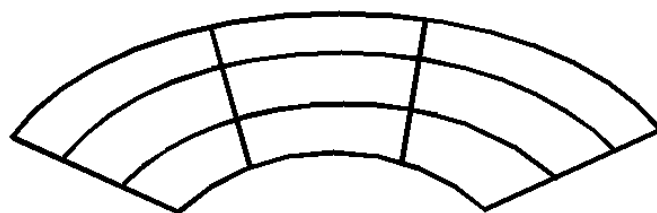
课时 13 弹 力

课前导航

芦苇、大树和橡皮

一根高 2 m 的芦苇，直径不足 1 cm，其高度与直径的比超过 200 : 1. 细长的芦苇在大风中也难以折断，这得益于它中空的结构. 大诗人杜甫笔下有一棵大树“霜皮溜雨四十围，黛色参天二千尺”，经过科学家沈括考证，四十围的周长折合成直径是 7 尺，这棵树的高度与直径的比竟高达 286 : 1，无怪乎沈括惊叹“无乃太细长乎？”看来诗人笔下的这棵大树的结构也应像芦苇一样，大概也是中空的，起码这棵树的中间结构应是十分疏松的，高达 300 m 的法国埃菲尔铁塔，也是中空的.

找一块长条橡皮，在橡皮的侧面画上几个等间距的格子，弯曲橡皮，方形的格子变成了扇形，外层伸长里层压缩了（如图 13-1 所示）。注意观察正中间的格子，几乎不伸长也不压缩，也就是说中间的格子几乎没有形变，没有形变就没有弹力，看来中间这一层对于抵抗弯曲没有作用，只是白白地增加了重量，还不如把它去掉，于是大自然这位高明的“设计师”就“创造”了空心芦苇。



弯曲的橡皮

图 13-1

请你思考：

1. 弹力产生的条件是什么？
2. 形变与弹力的关系是怎样的？

基础梳理

- 弹性形变：物体在力的作用下形状或体积发生改变，叫做形变。有些物体在形变后能够恢复原状，这种形变叫做弹性形变。
- 弹力：发生弹性形变的物体由于要恢复原状，对与它接触的物体产生力的作用，这种力叫做弹力，如果形变过大，超过一定的限度，撤去作用力后，物体就不能完全恢复原来的形状，这个限度叫做弹性限度。
- 弹力的方向：压力和支持力的方向总是垂直于物体的接触面而指向被压或被支持的物体；绳的拉力的方向总是沿着绳子而指向绳收缩的方向。
- 胡克定律：弹簧发生弹性形变时，弹力的大小 F 跟弹簧的伸长量（或压缩量）成正比，即 $F=kx$ 。式中的 k 称为弹簧的劲度系数，单位是牛顿每米，用符号 N/m 来表示。

知识精析

一、弹力存在的判定

判断弹力的有无一般有以下三种方法：

1. 根据弹力产生的条件来判断：看物体是否存在弹性形变及弹性形变的方向。

2. 利用假设法判断

可假设在该处将与物体接触的另一物体去掉，看物体还能否在原位置保持原来的状态，从而判断该物体是否受弹力作用。

例如：如图 13 - 2 所示，将甲图中与小球接触的斜面去掉，小球无法在原位置保持静止，而把乙图中的斜面去掉，小球仍静止，故甲球受斜面的弹力，乙球不受斜面的弹力。

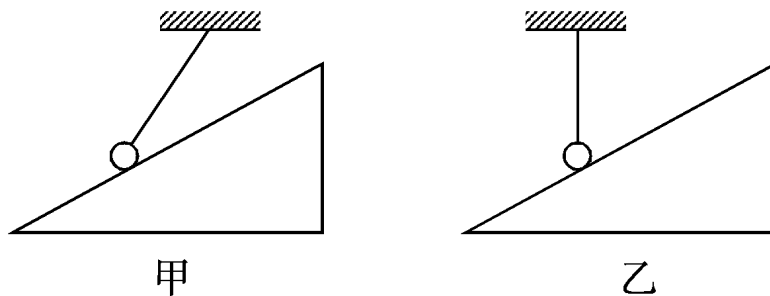


图 13 - 2

3. 利用力的作用效果分析

如图 13 - 3 所示，光滑水平面上的球靠在竖直面上静止，竖直面是否对球产生力的作用？假设竖直面对于球产生了力的作用，由力的作用效果可知，球不会静止，故可判定没有水平弹力产生。

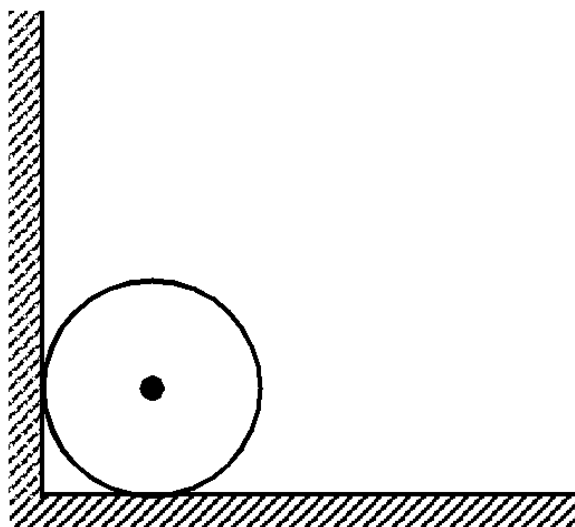
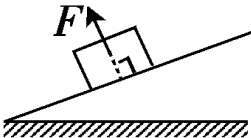
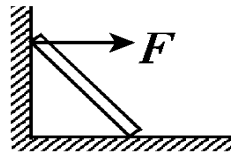
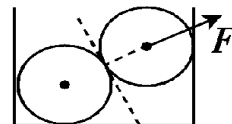

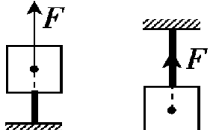
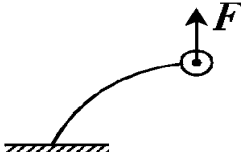


图 13 - 3

二、弹力方向的确定

弹力是接触力，不同的物体，不同的接触方式，弹力方向的判断方法也有所不同，具体比较见下表所示：

类 型		方 向	图 示
接 触 方 式	面与面	垂直公共接触面	
	点与面	过点垂直于面	
	点与点	垂直于切面	
轻绳		沿绳收缩方向	
轻杆		可沿杆	
		可不沿杆	

三、弹力大小的计算

对弹力大小的计算可分为弹簧弹力和非弹簧弹力两种情况：

1. 弹簧弹力的大小：应用胡克定律 $F = kx$ 求解。

其中 x 是弹簧的形变量（可能是拉伸量，也可能是压缩量）， $x = |\text{现长} - \text{原长}|$ ； k 是比例常数，它是一个反映弹簧形变难易程度的物理量，是由弹簧本身的材料、长度、粗细、匝数等条件决定的。

2. 非弹簧弹力的大小：与物体的形变程度有关，一般要借助于物体所遵循的物理规律求解。

如静止在桌面上的物体受到桌面向上的弹力和自身的重力作用，由二力平衡可知，弹力的大小等于物体重力的大小。

方法指导

一、形变与弹力

例 1 关于弹力，下列说法正确的是（ ）

A．拉力、压力、支持力在性质上均为弹力

B．物体由于发生了弹性形变，会对使其发生弹性形变的物体施加弹力作用

C．对于同一根弹簧，弹性形变越大，弹力越大

D．许多物体可以在不发生形变的条件下对物体施以弹力作用

解析 准确掌握弹力产生的条件、弹力大小的相关因素是解答此问题的关键，具体分析见下表所示：

选项	内容指向，联系分析	结论
A	拉力、压力、支持力均是由弹性形变产生的，所以均为弹力。	正确
B	发生弹性形变的物体，会对使其发生弹性形变的物体产生弹力的作用。	正确
C	弹簧弹力大小由弹簧的劲度系数和弹性形变大小共同决定，对于同一根弹簧，劲度系数一定，弹性形变越大，弹力越大。	正确
D	要产生弹力作用必须发生弹性形变。	错误
误区警示	本题易误选 D. 根据经验，有很多形变是肉眼观察不到的，故而错选。	

答案 ABC

二、弹力方向的判定

例 2 三个相同的支座上分别搁着三个质量和直径都相同的光滑圆球 a 、 b 、 c ，支点 P 、 Q 在同一水平面上， a 的重心位于球心， b 和 c 的重心位于球心的正上方和正下方，如图 13-4 甲所示，三球皆静止，试分析三种情况下支点 P 、 Q 对球的弹力方向是怎样的。

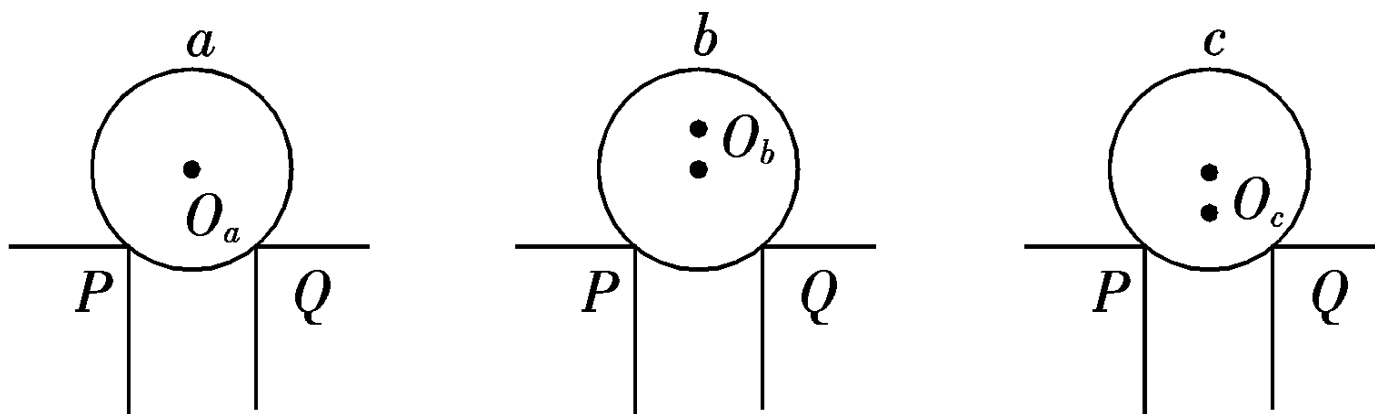


图 13-4 甲

解析 相互作用的物体属于点与曲面接触，弹力的方向垂直于曲面的过接触点的切面，且指向球心，与重心位置无关，故三种情况下弹力方向是一致的。如图 13-4 乙所示。

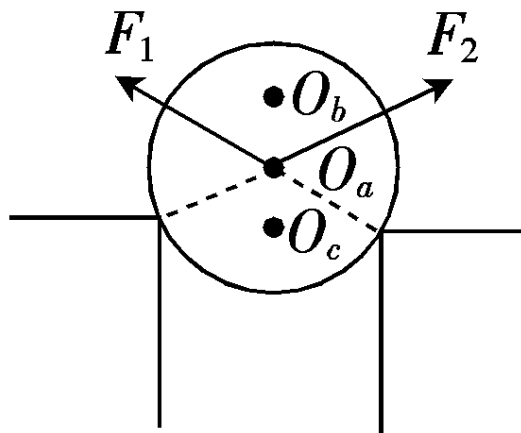


图 13-4 乙

点评 在分析弹力时要先判断弹力是否存在，弹力的方向可用如下方法判定：

- (1) 若接触面之一为平面，则弹力一定垂直于该平面。
- (2) 若接触面之一为球面，则弹力一定过球心。
- (3) 若接触面为曲面，则弹力一定垂直于曲面的过接触点的切面。

变式训练 1

画出图 13-5 中物体 A 所受弹力的示意图。

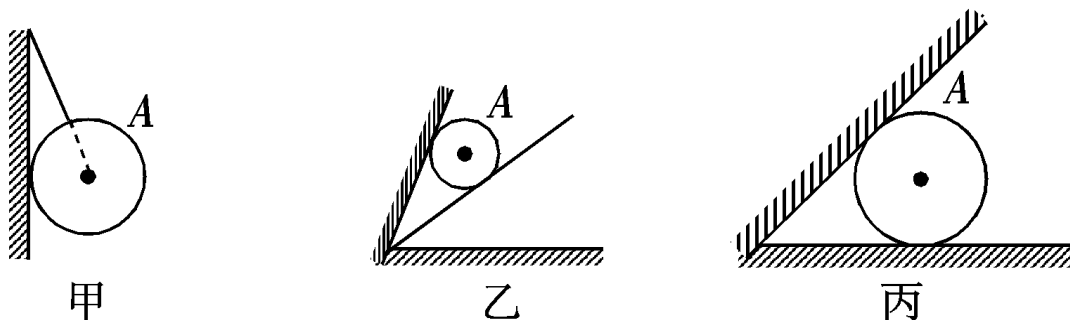
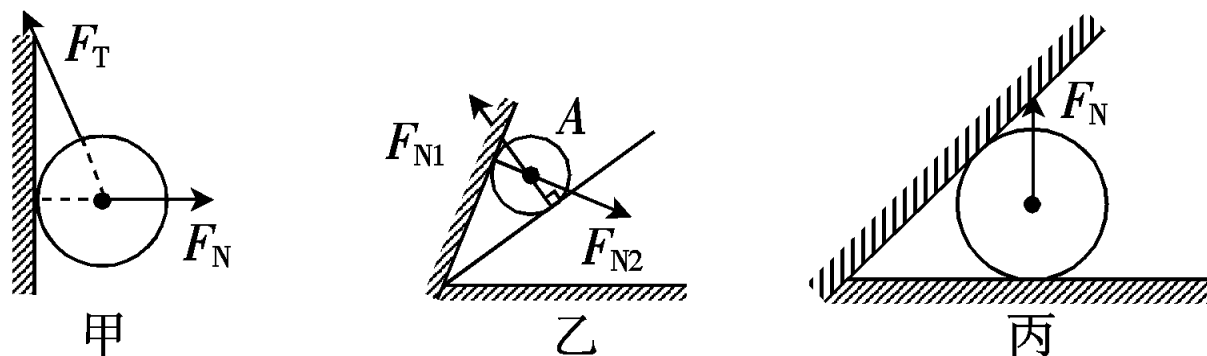


图 13-5

解析 弹力的方向应垂直于接触面，指向受力物体，丙图中注意分析 A 球上方接触点处无弹力，而甲图中上方绳的拉力的方向沿绳向上。

答案 如图甲、乙、丙所示



三、胡克定律及应用

例 3 如图 13-6 所示，两木块质量分别为 m_1 和 m_2 ，两轻质弹簧的劲度系数分别为 k_1 和 k_2 ，上面木块压在上方的弹簧上（但不拴接），整个系统处于平衡状态。试求两弹簧的压缩量 x_1 和

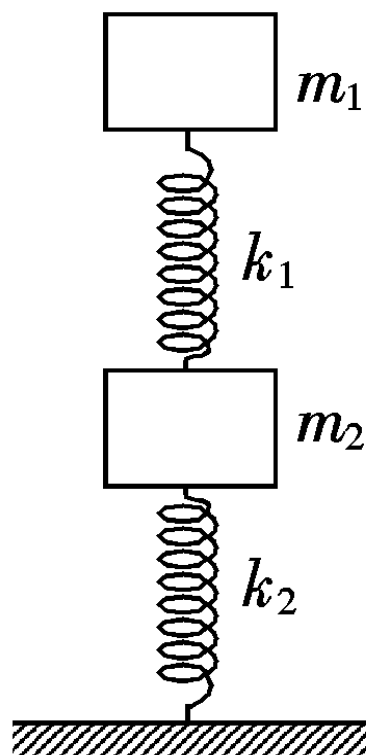


图 13-6

解析 解答此类问题时，应先根据物体的受力情况求出弹簧的弹力，然后再根据胡克定律求出弹簧的形变量。

根据二力平衡，上面弹簧对 m_1 的弹力 F_1 与 m_1 的重力 m_1g 是一对平衡力，有： $F_1 = m_1g$ ；根据胡克定律 $F_1 = k_1x_1$ ，得上面弹簧的压缩量 $x_1 = \frac{m_1g}{k_1}$ 。把 m_1 和 m_2 看做一个整体，根据二力平衡，下面弹簧对整体的弹力 F_2 与总重力 $(m_1 + m_2)g$ 是一对平衡力，有： $F_2 = (m_1 + m_2)g$ ；根据胡克定律 $F_2 = k_2x_2$ ，得下面弹簧的压缩量 $x_2 = \frac{(m_1 + m_2)g}{k_2}$ 。

答案 $\frac{m_1g}{k_1}$ $\frac{(m_1 + m_2)g}{k_2}$

变式训练 2

(1) 在例 3 的已知条件下，现缓缓上提上面的木块，直到它刚离开上面的弹簧。在这个过程中，下面木块上移的距离 Δh_2 为多大？

(2) 能否求出在上述过程中，上面木块 m_1 上移的距离 Δh_1 ？**解析** (1) 当上提到上面的木块刚离开上面的弹簧时，上面弹簧处于原长状态，弹力为零，据二力平衡很容易得到下面弹簧的弹力 F_2'

$$= m_2 g. \text{由胡克定律可以得出此时下面弹簧的压缩量 } x_2' = \frac{F_2'}{k_2} = \frac{m_2 g}{k_2},$$

所以下面木块上移的距离为：

$$\Delta h_2 = x_2 - x_2' = \frac{(m_1 + m_2)g}{k_2} - \frac{m_2 g}{k_2} = \frac{m_1 g}{k_2}.$$

(2) 设两弹簧的原长分别为 l_1 、 l_2 ，上提 m_1 之前， m_1 离地面的高度 $h_1 = l_1 - x_1 + l_2 - x_2$ ，上提 m_1 直到刚离开上面弹簧时， m_1 离地面的高度 $h' = l_1 + l_2 - x_2'$ ，所以上面木块 m_1 上移的距离 $\Delta h_1 = h' - h_1 = x_1 + x_2$

$$- x_2' = \frac{m_1 g}{k_1} + \frac{(m_1 + m_2)g}{k_2} - \frac{m_2 g}{k_2} = \frac{k_1 + k_2}{k_1 k_2} m_1 g.$$

答案 (1) $\frac{m_1 g}{k_2}$ (2) $\frac{k_1 + k_2}{k_1 k_2} m_1 g$

互动平台

育才老师与细心同学关于弹力的对话

育才：我们谈谈弓箭吧，弓箭可是弹力知识的具体运用。很久以前，人类对弹力就有所认识和发现，并能加以利用了。我国考古学家曾发掘出一枚石镞，这枚石镞是用燧石制成的，距今已有 30000 年了，这差不多是世界上最早的石镞了。可见，弓箭的发明在我国有多么早。战国时期，楚国神射手养由基不但能百步穿杨，还能箭穿七层铠甲。

细心：有个神话故事叫“羿射九日”，能箭射太阳，后羿的弓的弹力一定很大。苏东坡则更厉害，会“挽雕弓如满月，西北望，射天狼”，箭射天狼星可比射太阳难度



育才：我国不但弓箭的发明很早，而且对弹力的规律也有正确的认识。我国东汉时期学者郑玄 (127 — 200) 认为，对于一张弓来说“每加物一石，则张一尺”，这正揭示了胡克定律中“力与物体的形变成正比”。可见，郑玄早于胡克 1500 年发现了弹性定律。现在有学者主张将胡克定律改称“郑玄—胡克定律”。

细心：我又想起了一首唐诗，诗中的弓箭也是够厉害的。唐·卢纶《塞下曲》：“林暗草惊风，将军夜引弓。平明寻白羽，没在石棱中。”

课时 14 摩 擦 力

课 前 导 航

不“听话”的铅笔

伸出两个食指，使两手指平行且位于同一水平面，把一根铅笔放在这两个指头上，这时候使两个指头慢慢地向中间靠拢，通过移动手指的办法来移动铅笔，会发现一个有趣的现象：铅笔总是先相对一指滑动一下，再相对另一指滑动一下，相对两指交替移动，有时动得多，有时动得少。到底哪个手指能够使铅笔移动，完全不受操纵者支配，铅笔似乎很不“听话”。

请你思考：

1. 是什么力使铅笔在手指上发生了移动？是不是摩擦力？
2. 为什么铅笔总是相对手指交替移动？关键在哪里？
3. 如果给一只手指戴上一只绒布手套，再做这个实验，跟以前相比，铅笔变得“听话”一些了吗？
4. 你猜到影响摩擦力大小的因素有哪些了吗？

基础梳理

摩擦力

摩擦力:两个相互接触的物体,当它们发生相对运动或具有相对运动的趋势时,就会在接触面上产生阻碍相对运动的力,这种力叫做摩擦力.

静摩擦力:一个物体在另一个物体表面上有相对运动趋势而又保持相对静止时,所受到的另一个物体阻碍它相对运动趋势的力,叫做静摩擦力.静摩擦力的方向总是沿着接触面,并且跟物体相对运动趋势的方向相反.

静摩擦力的大小:静摩擦力有一个最大限度,即最大静摩擦力 F_m ,静摩擦力的大小在零和最大静摩擦力之间变化,即 $0 < F \leq F_m$.

滑动摩擦力:一个物体在另一个物体表面上有相对滑动时,受到另一个物体阻碍它相对滑动的力,这种力叫做滑动摩擦力.滑动摩擦力的方向总是沿接触面,并且跟物体相对运动的方向相反.

摩
擦
力

滑动摩擦力的大小:滑动摩擦力的大小跟正压力成正比,与相对运动的速度及接触面的大小无关.用公式表示为 $F = \mu F_N$,式中的 μ 叫做动摩擦因数,其大小跟相互接触的两个物体的材料有关,还跟接触面的粗糙程度有关.

滚动摩擦:滚动摩擦是一个物体在另一个物体表面上滚动时产生的摩擦.当压力相同时,滚动摩擦比滑动摩擦小得多.

知识精析

一、摩擦力及产生条件

1. 摩擦力产生的条件是：(1) 两物体相互压紧有弹力作用；(2) 接触面不光滑；(3) 有相对运动或相对运动趋势。这三个条件必须同时满足才有摩擦力产生。

2. 静摩擦力中的“静”和滑动摩擦力中的“动”都是相对的，指的是接触面之间的相对静止或相对运动，而不是物体对地的运动，因此，静止的物体也可能受到滑动摩擦力作用，而运动的物体也可能受到静摩擦力作用。

3. 摩擦力阻碍的是接触物体之间的相对运动或相对运动趋势，而不是阻碍物体对地的运动，因此，摩擦力可以是阻力，也可以是动力。

4. 摩擦力的方向与接触面相切，与相对运动或相对运动趋势方向相反，但可能与物体的运动方向同向、反向或有一定夹角。例如趴在匀速行驶的火车车厢后壁上的一只壁虎，受到的静摩擦力的方向竖直向上以阻止它的下滑，与运动方向夹角为 90° 。

二、静摩擦力的方向与大小

1. 判断静摩擦力是否存在，可用如下两种方法。

(1) 条件判断法

根据是否满足静摩擦力存在的条件判定，其中“看物体间有没有相对运动趋势”是关键也是难点。

相对运动趋势：如果两物体间光滑，物体会发生相对运动，由于两物体间不光滑（有摩擦力），物体保持相对静止，这样的物体就有“相对运动趋势”。

(2) 假设法

在判断物体间是否存在静摩擦力时，先假设接触面是光滑的，看物体是否会发生相对运动；如果物体仍保持相对静止，则物体不受静摩擦力，反之则受静摩擦力。

2. 静摩擦力的方向一定沿接触面，与物体相对运动趋势方向相反。相对运动趋势方向可以采用假设法判断：假设接触面光滑，原来保持相对静止但有相对运动趋势的物体，就有了相对运动，物体的运动方向也就是原来的相对运动趋势方向。另外也可以用二力平衡条件判定，如图14-1所示，用手握住酒瓶静止不动时，由二力平衡知，手对酒瓶的静摩擦力一定竖直向上（与重力反向）。



图 14-1

3. 静摩擦力的大小没有固定的计算公式，这一点与滑动摩擦力是不同的，静摩擦力的大小随着相对运动趋势强弱变化而在 0 到最大静摩擦力 F_{\max} 之间变化，跟接触面相互挤压的力无直接关系，求解大小时一般用平衡条件（当然，当我们学习了牛顿运动定律后，也可用牛顿运动定律求解）。而最大静摩擦力略大于滑动摩擦力，无特殊说明时，可认为它们的数值相等。

三、滑动摩擦力的大小计算

1. 公式法：根据公式 $F = \mu F_N$ 计算。

说明：(1) 公式中的 F_N 是两个物体表面间的压力，称为正压力（垂直于接触面的力），性质上属于弹力，它不是物体的重力，许多情况下需结合物体的平衡条件等加以确定。

(2) 式中的 μ 为动摩擦因数，与材料和接触面的粗糙程度有关，与接触面的大小无关。

(3) 滑动摩擦力 F 的大小与物体的运动速度无关，与接触面的大小也无关。

2. 二力平衡法：物体处于平衡状态（匀速、静止）时
根据二力平衡条件求解



方法指導

一、理解摩擦力

例 1 下列說法正確的是 ()

- A . 兩個互相接觸的物體之間一定有彈力作用
- B . 一個物體靜止在另一個物體的表面上，它們之間一定不存在摩擦力的作用
- C . 兩個物體之間如果有彈力的作用，就一定有摩擦力的作用
- D . 兩個物體之間如果有摩擦力的作用，就一定有彈力的作用

解析 准确理解摩擦力的概念是解答此类问题的关键，具体分析如下：

选项	内容指向，联系分析	结论
A	两物体相接触仅是弹力产生的条件之一，要产生弹力，两物体接触面处必须发生弹性形变。	错误
B	两物体相对静止，可能有静摩擦力存在。	错误
C	两物体间有弹力仅是物体间存在摩擦力的条件之一，要有摩擦力产生，还必须满足表面粗糙和有相对运动或相对运动趋势。	错误
D	两物体间有弹力是摩擦力存在的前提条件。	正确
误区警示	本题易错选 C. 原因是没弄清弹力与摩擦力的存在条件，弹力是摩擦力存在的必要条件，有摩擦力一定有弹力，有弹力不一定有摩擦力。	

答案 D

二、摩擦力的判定

例 2 如图 14-2 所示, A 、 B 两物体竖直叠放在水平面上, 今用水平力 F 拉 B 物体, 两物体均静止, 那么物体 A 是否受静摩擦力作用呢?

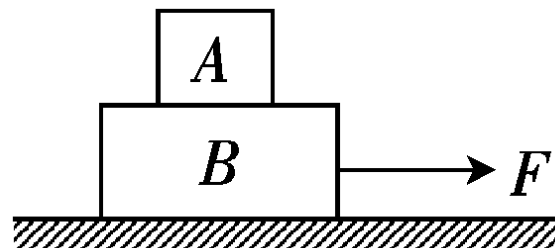


图 14-2

解析 由于力作用在物体 B 上, 且 A 、 B 均静止, 故 A 相对 B 无运动趋势, 所以物体 A 不受静摩擦力作用。

该题还可以用假设法: 假设 A 受到静摩擦力作用, 该摩擦力方向一定与接触面平行, 即沿水平方向。根据力的作用效果知, A 物体在摩擦力作用下不可能处于平衡状态, 与题意是矛盾的, 故 A 物体不受静摩擦力作用。

答案 不受

变式训练 1

(1) 在例 2 的已知条件下，若用水平力 F 作用于 A 物体，两物体均静止，那么 A 、 B 两物体所受静摩擦力情况如何？

(2) 在例 2 的已知条件下，若两大小相等的水平力 F 分别作用于物体 A 、 B 上。如图 14-3 所示，两物体均静止， A 、 B 两物体所受静摩擦力的情况又如何？

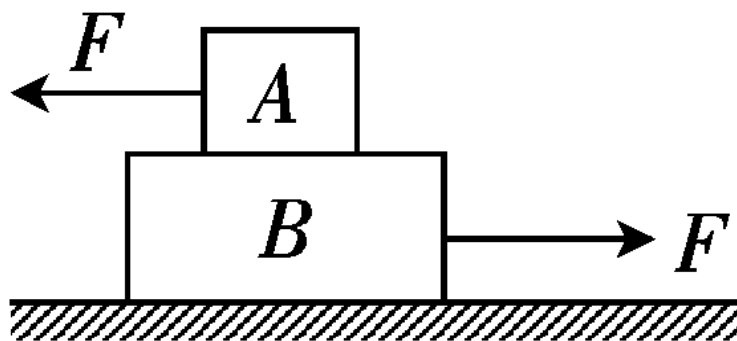


图 14-3

解析 (1) 假设 A 、 B 接触面光滑， A 物体在力 F 作用下向右运动。由此可得： A 相对于 B 有向右运动的趋势， A 受静摩擦力方向向左，而 B 相对于 A 有向左运动的趋势， B 受 A 的静摩擦力方向向右；将 A 、 B 看做一个整体，易知 B 相对地面有向右运动的趋势，地面给 B 的静摩擦力方向向左。

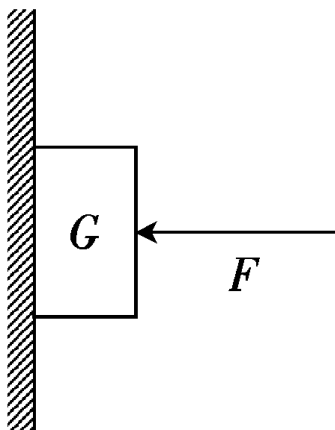
(2) A 物体在力 F 作用下相对于 B 有向左滑的趋势，所以 B 对 A 的静摩擦力方向向右， B 相对于 A 有向右运动的趋势，所以 A 对 B 的静摩擦力方向向左；取 A 、 B 为一整体，因两水平外力作用效果相抵消， B 相对于地面无相对运动趋势，所以 B 与地面间无静摩擦力。

答案 (1) A 受 B 的静摩擦力水平向左， B 受 A 的静摩擦力水平向右， B 受地面的静摩擦力水平向左。

(2) A 受 B 的静摩擦力水平向右， B 受 A 的静摩擦力水平向左，地面与 B 之间无静摩擦力。

三、摩擦力大小的计算

例 3 如图 14-4 所示，用水平力 F 将一个木块压在竖直墙壁上，已知木块重 $G=6\text{ N}$ ，木块与墙壁间的动摩擦因数 $\mu=0.25$ 。问：



图

14-4

(1) 当 $F=25\text{ N}$ 时，木块没有动，木块受到的摩擦力为多大？

(2) 当 F 增大为 30 N 时，木块仍静止，木块受到的摩擦力为多大？

(3) 当 $F=10\text{ N}$ 时，木块沿墙面下滑，此时木块受到的摩擦力为多大？

(4) 当 $F=6\text{ N}$ 时，木块受到的摩擦力又为多大？

解析 (1) 对木块进行受力分析，木块没动，说明木块处于平衡状态，根据二力平衡条件知，木块受的静摩擦力一定和重力大小相等，方向相反， $F_1 = 6 \text{ N}$ 。

(2) 当 F 增大为 30 N 时，木块与墙壁之间仍然是静摩擦力，这个力与重力相平衡，因此 $F_2 = 6 \text{ N}$ 。

(3) 当 $F = 10 \text{ N}$ 时，木块沿墙面下滑，此时木块和墙面之间是滑动摩擦力， $F_3 = \mu F_N = 0.25 \times 10 \text{ N} = 2.5 \text{ N}$ 。

(4) 当 $F = 6 \text{ N}$ 时，木块与墙之间仍是滑动摩擦力， $F_4 = \mu F_N = 0.25 \times 6 \text{ N} = 1.5 \text{ N}$ 。

答案 (1) 6 N (2) 6 N (3) 2.5 N (4) 1.5 N

点评 (1) 求解静摩擦力的大小时，要先对物体进行受力分析，然后根据平衡条件求出大小。

(2) 应用公式 $F = \mu F_N$ 求滑动摩擦力的大小时，关键是求解 F_N ，一般情况下，只要在垂直于接触面方向上进行受力分析，再应用平衡条件即可求出。要特别注意： F_N 不一定等于 mg 。

变式训练 2

如图 14-5 所示，质量为 m 的木块被水平推力压着，静止在竖直墙壁上，若将推力 F 的大小增加到 $2F$ ，则 ()

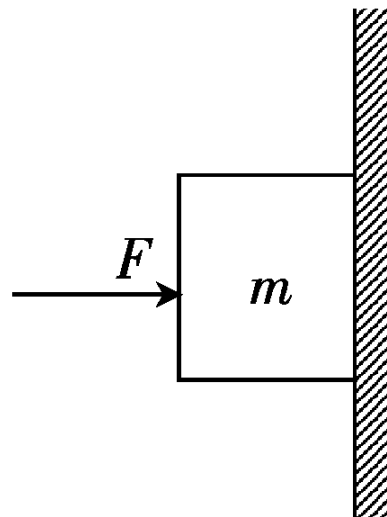


图 14-5

- A. 木块所受墙面的弹力增加到原来的 2 倍
- B. 木块所受墙面的摩擦力增加到原来的 2 倍
- C. 木块所受墙面的摩擦力方向向下
- D. 木块所受墙面的摩擦力不变

解析 应用二力平衡来判断物与墙的弹力和摩擦力情况，由于木块是静止的，因此木块与墙之间的摩擦力应为静摩擦力。木块在水平方向受到推力 F 和墙对它的弹力 F_N ，它们是一对平衡力，即 $F_N = F$ ，则当 F 增加到 $2F$ 时， F_N 也增加到 $2F$ 。在竖直方向上，木块的重力与墙面对木块的静摩擦力是一对平衡力，即木块受到墙面的摩擦力恒等于木块重力。物体相对墙壁有向下的运动趋势，因而静摩擦力方向沿墙壁向上。综上所述，只有选项 A、D 正确。

答案 AD

互动平台

育才老师与细心同学的对话

育才：学过摩擦力之后，就可以应用摩擦力的知识解释前面小实验中观察到的现象了。请问细心同学，铅笔压在两个手指上，对每一个指头的压力有可能完全相同吗？

细心：我想铅笔重心不会恰好在两指的正中央，这样铅笔对手指的压力总是一个力大于铅笔重力的一半，一个力小于铅笔重力的一半，如图 14 - 6 所示。

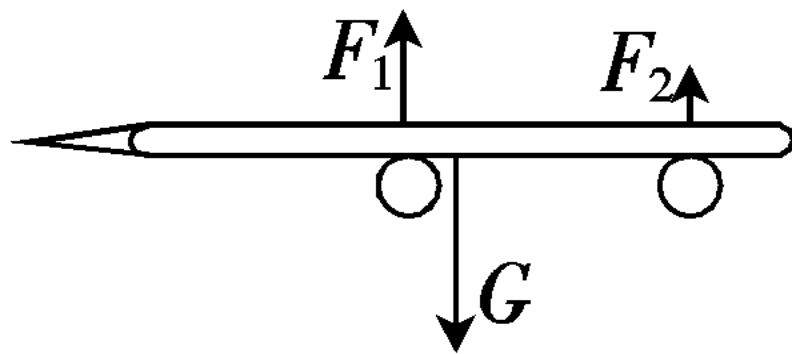


图 14-6

育才：对，正是因为正压力不同，而两个指头又是一模一样的，才造成了两指对铅笔的摩擦力不同。

细心：当重心偏向左指一侧时，左指对铅笔的最大静摩擦力就大于右指对铅笔的最大静摩擦力，此时企图用右指移动铅笔时，右指就相对铅笔滑动，而铅笔保持不动，所以铅笔是不听右指的使唤的。

育才：既然明白了什么情况下铅笔不听右指的使唤，当然就不用老师解释在什么情况下铅笔不听左指使唤了。

细心：原来铅笔“没听操纵者的话”，铅笔“听的是摩擦力的话”。

育才：在一只手指上戴上一只绒布手套后，相当于增大了戴着手套的这只手指与笔杆间的粗糙程度，用这个指头移动起铅笔，当然“得心应手”。这一个小实验实际上是让我们体会了与摩擦力相关的两个因素。

育才：请问细心同学，还想更多了解一些与摩擦有关的知识吗？

细心：好啊！

育才：利用振动使正压力瞬间消失从而克服摩擦力的方法应用很广泛。农民往口袋里装粮食，为了把口袋装得实一些，常常把口袋摇一摇，晃一晃，踱一踱，这样就能够克服谷粒之间的摩擦力，使谷粒下沉，口袋里就可以多装一些粮食。建筑工人在浇筑混凝土的时候，为了把水泥砂石捣实，把振动器放入混凝土中，让它不停地振动，砂石就能够克服彼此之间的摩擦力，从而充满模具内每一个角落。

细心：振动器？莫非就是建筑工地上发出让人讨厌的嗡嗡声、吵得人难以入睡的家伙。现在听老师这么说，我对这个可恶的东西似乎萌生好感了。

育才：当然，并不是所有的振动都有益，振动减小摩擦也会带来危害，建筑钢铁大桥尽量用铆钉而不用螺栓，一个重要的原因就是车辆过桥会使大桥振动，引起螺栓松动，容易造成事故。

细心：老师喋喋不休地“诲人不倦”，弟子只好硬着头皮“学而不厌”喽！

育才：上面这些仅仅作为了解，希望能起到开阔视野的作用。下面给同学们介绍一个通过改变压力而使摩擦力改变的实例。

找一块木板，把木板的一头垫高一些，使木板略微倾斜，然后，把一只墨水瓶放在木板上，因为存在摩擦力，墨水瓶不能下滑。但是，当你轻轻敲打木板的时候，墨水瓶会一点一点地滑下来。

细心：我想墨水瓶滑下来的原因应该是这样的：木板受到敲打的时候会振动起来，墨水瓶会微微跳起，在墨水瓶不与木板接触的短暂时间里，它和木板之间的正压力几乎为零，摩擦力也几乎为零，于是，墨水瓶就向下滑落一点，不停地敲打木板，墨水瓶就会一点一点地滑落下来了。

育才：嗯，真聪明！

课时 15 力的合成

课前导航

新“三个和尚没水喝”

“三个和尚没水喝”的故事说的是一个和尚挑水喝，两个和尚抬水喝，三个和尚我依赖你，你依赖我，大家都不肯出力，结果都没水喝。然而，如果三个和尚都肯出力，是不是就一定有水喝呢？如图 15 - 1 所示，有一种特殊的杠棒，棒有三个方向，互成 120° 角，中间挂着一个盛满水的水桶。现他们各自向前用力，在同一水平面上力的大小相同，且同一时刻跨出步子，结果发现寸步难行，时间过去了，水桶还在原地。

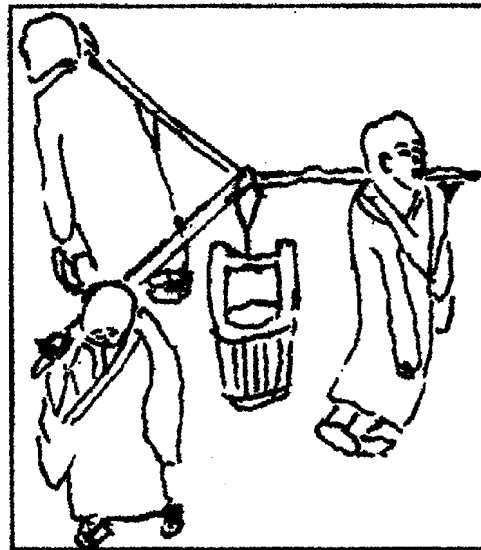


图 15-1

请你思考：

在这幅漫画中，三个和尚并不懒惰，都很卖力，可他们还是喝不上水，其原因是：

- (1) 三人用力方向互成 120° 角；
- (2) 三个人用力大小相等。

你认为这样的分析正确吗？请你从力的合成的角度分析三个和尚没水喝的理由。

基础梳理

力的合成

合力的分析: 当一个物体受到几个力的共同作用时, 我们可以求出这样一个力, 这个力产生的效果跟原来几个力的共同效果相同, 这个力就叫做那几个力的合力, 原来的几个力叫做这一个力的分力.

力的合成: 求几个力的合力的过程或求合力的方法, 叫做力的合成. 平行四边形定则: 两个力合成时, 以表示这两个力的线段为邻边作平行四边形, 这两个邻边之间的对角线就代表合力的大小和方向, 这个法则叫做平行四边形定则.

共点力: 几个力如果都作用在物体的同一点上, 或者虽不作用在同一点上, 但它们作用线的延长线相交于一点, 这样的一组力叫做共点力.

知识精析

一、理解力的合成法则

1. 力的合成的本质就在于保证作用效果相同的前提下，用一个力代替几个力的作用，力的平行四边形定则就是运用“等效替代”的观点，通过实验总结出来的共点力的合成法则，建立“等效替代”的思想是理解力的合成法则的关键。

2. 力的合成不是简单的力的数值的加减，互成角度的力的合成必须遵循平行四边形定则，在同一直线上的力的合成是数值的加减。

3. 平行四边形定则是互成角度的共点力的合成必须遵循的法则，也是一切矢量合成或运算的普遍法则。

二、确定合力的大小和方向的方法

1. 作图法

(1) 从力的作用点起，依两个力的方向按同一标度作出两个力 F_1 和 F_2 的图示，并构成平行四边形，这个平行四边形的对角线的长度按同样的比例表示了合力 F 的大小，对角线的方向就是合力的方向，通常可用量角器直接量出合力 F 与某个力的夹角。

(2) 作图时的注意事项：①合力、分力要共点，实线、虚线要分清；②合力、分力的标度要相同，作平行四边形要准确。

(3) 作图法求合力的特点：简单、直观，但不够准确

2. 计算法

可以根据平行四边形定则作出示意图，然后根据几何知识求解平行四边形的对角线，即为合力。以下是合力计算的几种特殊情况。

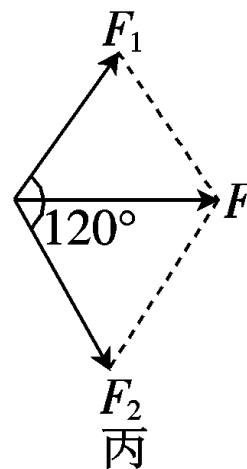
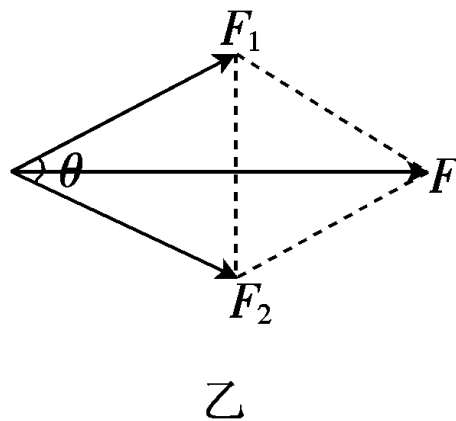
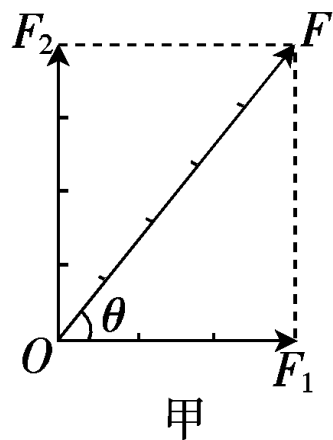


图 15-2

(1)相互垂直的两个力的合成如图 15-2 甲所示

由几何知识知, 合力大小 $F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$, 方向 $\tan \theta = \frac{F_2}{F_1}$.

(2)夹角为 θ 的相同大小的两个力的合成, 如图 15-2 乙所示.

由几何知识, 作出的平行四边形为菱形, 其对角线相互垂直且平分, 则合力大小 $F = 2F_1 \cos \frac{\theta}{2}$, 方向与 F_1 的夹角为 $\frac{\theta}{2}$.

(3)更特殊的是夹角为 120° 的两个等大的力的合成, 如图 15-2 丙所示.

由几何知识得出, 对角线将画出的平行四边形分为两个等边三角形, 故合力的大小与分力等大.

3. 二力平衡法

当物体受到多个力而处于平衡状态时，可把其中任意两个力的合力与其余力的合力等效为一对平衡力，这样就可以由其余力的合力求出这对力的合力。

三、合力与分力的关系

1. 两分力同向时，合力最大， $F_{\max}=F_1+F_2$ 。

2. 两分力反向时，合力最小， $F_{\min}=|F_1-F_2|$ ，其方向与较大的一个分力方向相同。

3. 合力的取值范围： $|F_1-F_2|\leq F\leq F_1+F_2$ 。

4. 合力大小随夹角大小变化的规律：夹角 θ 越大，合力就越小。

5. 合力可以大于任何一个分力，也可以小于任何一个分力。

方法指导

一、合力与分力的大小关系

例 1 两个共点力 F_1 与 F_2 ，其合力为 F ，则 ()

- A. 合力一定大于任一分力
- B. 合力有可能小于某一分力
- C. 分力 F_1 增大，而 F_2 不变，且它们的夹角不变时，合力 F 一定增大
- D. 当两个分力大小不变时，增大两分力的夹角，则合力一定减小

分析 在比较合力与分力的大小关系时，可用定性、定量的分析方法，同时利用特殊值参与讨论，从而对一些似是而非的概念之间的联系与区别，可以做出最直接的肯定或否定。

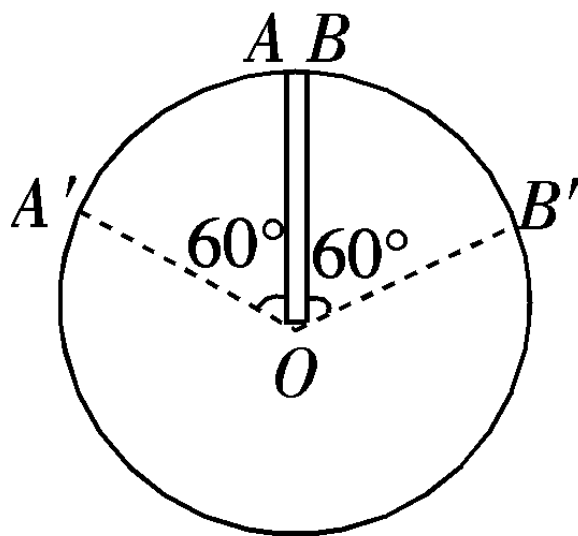
解析 本题可以利用特殊值法，设 $F_1 = 2\text{ N}$ ， $F_2 = 3\text{ N}$ ，则其合力的大小范围是 $1\text{ N} \leq F \leq 5\text{ N}$ 。

由此可知，选项 A 错误、B 正确；当 F_1 和 F_2 反向时， F_1 增大到 $F'_1 = 3\text{ N}$ ，则合力由 $F = 1\text{ N}$ 减为 $F' = 0$ ，所以选项 C 错误；两分力同向时合力最大，反向时合力最小，夹角增大时合力减小。选项 D 正确。

答案 BD

二、作图法与计算法求合力

例 2 如图 15 - 3 甲所示，两根相同的橡皮绳 OA 、 OB ，开始夹角为 0° ，在 O 点处打结，吊一重 50 N 的物体后，结点 O 刚好位于圆心．今将 A 、 B 分别沿圆周向两边移至 A' 、 B' ，使 $\angle AOA' = \angle BOB' = 60^\circ$ ，欲使结点仍在圆心处，则此时结点处应挂多重的物体？



图

解析 解法一 作图法

设 AO 、 BO 并排吊起重物时，橡皮绳产生的弹力均为 F ，其合力大小为 $2F$ ，该合力与重物的重力平衡，所以 $F = \frac{G_1}{2} = \frac{50}{2} \text{ N} = 25 \text{ N}$ 。由于结点 O 的位置不变，两橡皮绳的另一端分别沿圆周移动，所以橡皮绳的长度不变，其拉力大小不变。当 $A'O$ 、 $B'O$ 夹角为 120° 时，橡皮绳伸长不变，拉力仍为 $F = 25 \text{ N}$ ，两者互成 120° ，按作图法取 5 mm 长表示 5 N 的力， O 点表示物体，作出平行四边形如图 15-3 乙所示，量得对角线长 2.5 cm ，故合力 F' 的大小为 $\frac{25 \text{ mm}}{5 \text{ mm}} \times 5 \text{ N} = 25 \text{ N}$ 。该合力与应挂物体的重力平衡，所以，在结点处应挂重量为 25 N 的物体。

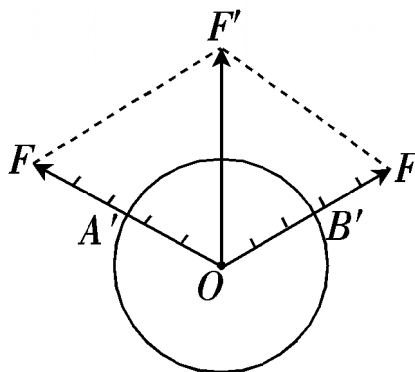


图 15-3 乙

解法二 计算法

由平行四边形定则可得，当两分力的大小相等且其夹角为 120° 时，则合力的大小与任一分力大小相等，故在结点上应挂 25 N 的重物。

答案 25 N

点评

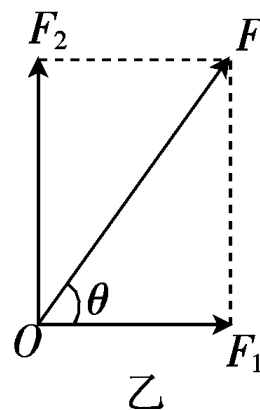
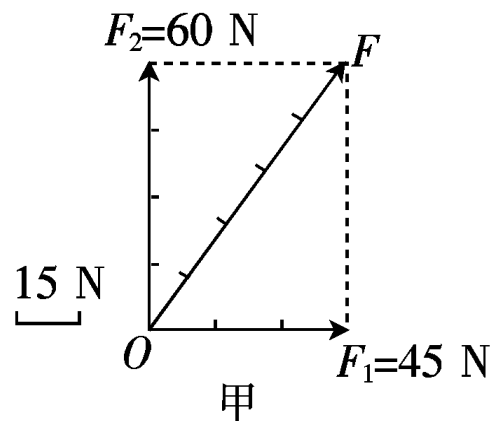
(1) 应用作图法求解时，一定要选取适当的标度，严格细致地作出力的图示，作平行四边形时，要用两个三角尺相结合，尽量减小作图带来的误差。

(2) 运用计算法求解时，先用平行四边形定则作图，再通过几何知识求出合力。

变式训练 1

两个小孩拉一辆车子，一个小孩用的力是 45 N ，另一个小孩用的力是 60 N ，这两个力的夹角是 90° ，求它们的合力。

解析 作图法 如图甲所示，选择标度，作出 F_1 、 F_2 的图示，利用三角板作出平行四边形，画出对角线，用 15 N 的标度去度量 F ，得出 $F = 75\text{ N}$ 。再用量角器量得 F 与 F_1 之间的夹角为 53° 。



解析法 根据平行四边形定则，作出如图乙所示

的力的示意图，利用勾股定理求出合力： $F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$
 $= \sqrt{45^2 + 60^2} \text{ N} = 75 \text{ N}.$

$$\tan \theta = \frac{F_2}{F_1} = \frac{60}{45} = \frac{4}{3}, \text{ 所以 } \theta = 53^\circ.$$

三、二力平衡求合力

例 3 如图 15 - 4 甲所示，质量为 25 kg 的物体静止于倾角为 θ 的斜面上，则斜面对物体的作用力是多少，方向如何？（取 $g = 10 \text{ N/kg}$ ）

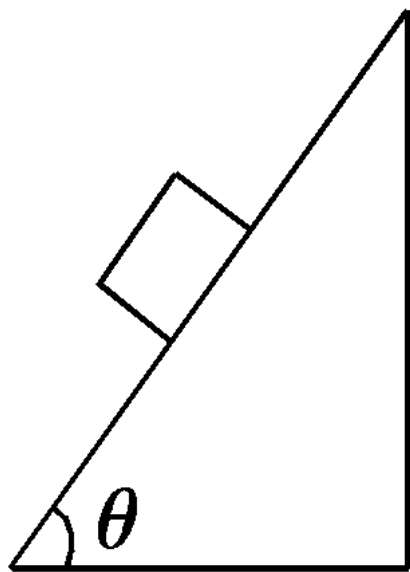


图 15-4 甲

解析 物体受力情况如图 15-4 乙所示，斜面对物体的作用力是支持力 F_N 和摩擦力 f 的合力，由物体所处的平衡状态可知，这两个力的合力与物体所受重力可等效为一对平衡力，即：

$$F_{\text{合}} = mg = 25 \times 10 \text{ N} = 250 \text{ N}，\text{方向竖直向上。}$$

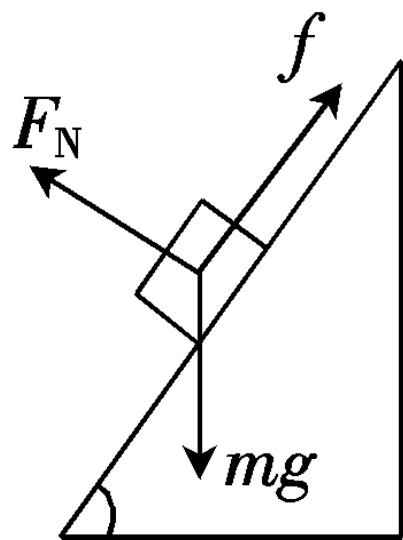


图 15-4 乙

答案 250 N 竖直向上

变式训练 2

在例 3 中若斜面倾角缓慢增大，且物体始终相对斜面静止，则斜面对物体的作用力如何变化？

解析 斜面倾角“缓慢”增大，说明物体一直处于平衡状态，则斜面对物体的作用力始终与物体所受重力等大反向，即不发生变化。

答案 不变

互动平台

育才老师与细心同学关于平行四边形定则的对话

细心：请问老师，为什么会有平行四边形定则？平行四边形定则是怎样得到的呢？它对以后学好物理有什么帮助呢？

育才：一个规律的得出，是由很多人在很长时间里，进行了许多次实验探索，才总结出来的，并要经得起实践的检验。人们在研究同一直线上两个力的合成的基础上，再研究不在一条直线上力的合成应遵循的规律，通过“猜测、实验、归纳、总结”的完整过程，得出不在同一直线上的两个力的合成应该遵循平行四边形定则。可见对平行四边形定则的认识，是通过实验归纳法来完成的。实验归纳法的步骤是：提出问题、设计实验、进行实验、获取数据、进行数据分析得出结论。所得结论再经过实践检验，证明是正确的，才上升为理论

以后我们还要利用这个定则进行速度、加速度等的合成，只要是矢量的合成，就遵循平行四边形定则。平行四边形定则适用于一切矢量的合成。矢量概念是高中物理中引进的重要概念之一，也是高中物理难学的原因之一，很好地掌握平行四边形定则是正确理解矢量概念的核心。平行四边形定则是研究以后各单元内容的基础，我们一定要掌握好它。

细心同学和粗心同学关于合力与分力的对话

细心：根据合力和分力的定义，力的合成的实质是在保证效果相同的前提下，用一个力的作用代替几个力的作用，正因为合力与分力之间的关系是等效替代关系，合力与分力不能同时存在。这正体现了一种非常重要的思维方法——等效法，这种方法以后会经常用到。

粗心：我用八个字概括合力与分力间的关系——“有你无我，有我无你”，否则就会使力的作用效果加倍。

细心：有道理。

课时 16 力的分解

课前导航

小尖劈发大力

尖劈能以小力发大力。早在原始社会时期，人们所打磨的各种石器，如石斧、石刀、骨针、镞等等，都不知觉地利用了尖劈的原理。传说我国明朝年间，苏州的虎丘寺塔因年久失修，塔身倾斜，有倒塌的危险，该如何修复此塔呢？有的建议用粗绳子把塔拉正，可一拉反会倒；有的建议用粗绳子把塔拉正，可一拉反会倒；有的建议用大木柱撑住，但很不雅观。一天，一个和尚路过此地，观察斜塔后，自告奋勇地说：“不需人力和财力，我一个人可以把塔扶正。”在场人无不惊疑地取笑他，可和尚不管别人怎么议论，天天提着一个大包走进寺院，包里装了一些一头厚一头薄的木楔（斜面）。他把这些木楔用斧头一个个的从塔身倾斜的一侧的砖缝里敲进去。不到一个月，塔身果然扶正了。

请你思考：

1. 为什么小小几个尖劈，作用却这样巨大，能够把塔身扶正？
2. 斧头作用在木楔上的力应该怎样分解？
3. 分力的大小与尖劈的尖角有怎样的关系？

基础梳理

力的分解：如果一个力的作用效果可以用几个力来等效替代，这几个力称为这一个力的分力。求一个力的分力叫做力的分解。力的分解是力的合成的逆运算，同样遵守平行四边形定则，即以已知力作为对角线画平行四边形，与已知力共点的平行四边形的两条邻边表示两个分力的大小和方向。

矢量和标量：既有大小又有方向，相加时遵从平行四边形定则(或三角形法则)的物理量叫做矢量。只有大小，没有方向，求和时按照算术法则相加的物理量叫做标量。

三角形法则：把两个矢量首尾相接从而求合矢量，这个方法叫做三角形法则。

知识精析

一、如何分解一个力

1. 如果没有条件限制，同一个力 F 可以分解为大小、方向各不相同的无数组分力，但是我们在分解力时，往往要根据实际情况进行力的分解，具体步骤如下：

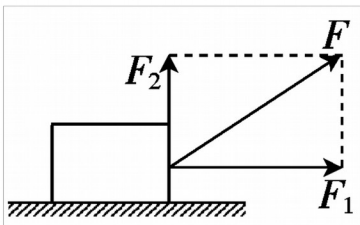
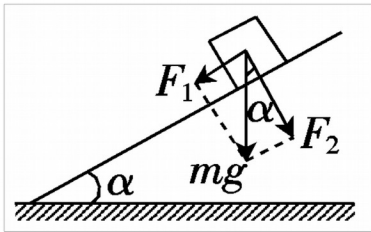
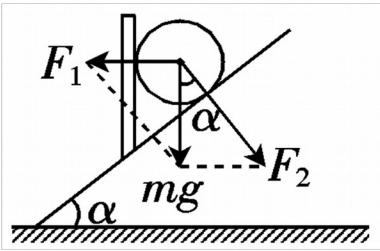
(1) 首先是要根据这个力的实际作用效果确定两个实际分力的方向。

(2) 再根据两个实际分力方向作平行四边形，已知力为对角线，实际分力为邻边。

(3) 然后根据平行四边形知识和相关的数学知识，求出两分力的大小和方向。

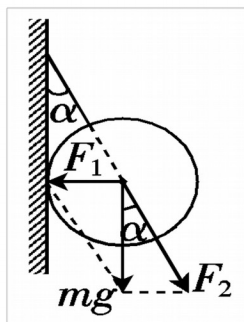
2. 在进行力的分解时，所谓的实际情况，可理解为实际效果和实际需要。下面举几个典型的例子加以说明：

(1) 按实际效果分解

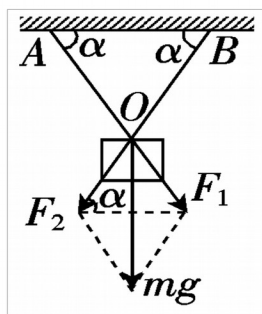
实例	分析
	<p>地面上物体受斜向上的拉力 F, 拉力 F 一方面使物体沿水平地面前进, 另一方面向上提物体, 因此拉力 F 可分解为水平向前的力 F_1 和竖直向上的力 F_2.</p>
	<p>质量为 m 的物体静止在斜面上, 其重力产生两个效果: 一是使物体具有沿斜面下滑趋势的分力 F_1, 二是使物体压紧斜面的分力 F_2. 此时有: $F_1 = mg \sin \alpha$, $F_2 = mg \cos \alpha$.</p>
	<p>质量为 m 的光滑小球被竖直挡板挡住而静止于斜面上时, 其重力产生两个效果: 一是使球压紧板的分力 F_1; 二是使球压紧斜面的分力 F_2. 此时有: $F_1 = mg \tan \alpha$, $F_2 = \frac{mg}{\cos \alpha}$.</p>

实例

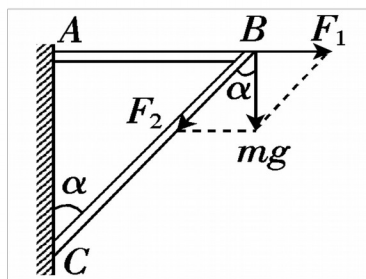
分析



质量为 m 的光滑小球被悬挂靠在竖直墙壁上，其重力产生两个效果：一是使球压紧竖直墙壁的分力 F_1 ；二是使球拉紧悬线的分力 F_2 . 此时有：
$$F_1 = mg \tan \alpha, F_2 = \frac{mg}{\cos \alpha}.$$



A、B 两点位于同一平面上，质量为 m 的物体被 AO、BO 两线拉住，其重力产生两个效果：一是使物体拉紧 AO 线的分力 F_1 ；二是使物体拉紧 BO 线的分力 F_2 . 此时有：
$$F_1 = F_2 = \frac{mg}{2 \sin \alpha}.$$



质量为 m 的物体被支架悬挂而静止，其重力产生两个效果：一是拉伸 AB 的分力 F_1 ；二是压缩 BC 的分力 F_2 . 此时有：
$$F_1 = mg \tan \alpha, F_2 = \frac{mg}{\cos \alpha}.$$

(2) 按实际需要分解

如图 16-1 所示，在斜面上放一物体，给物体施加一个斜向上的拉力 F 。此时拉力 F 的效果既可以看成在竖直方向上提物体，在水平方向上拉物体，也可以看成在垂直斜面方向上提物体，在沿斜面方向上拉物体。应该将该力如何分解，要看题目的要求。

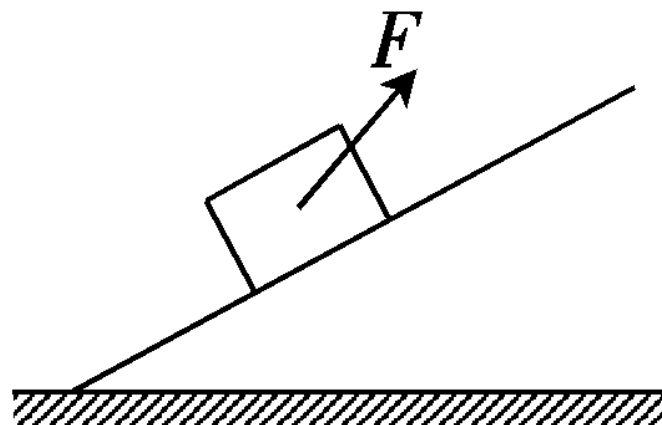


图 16-1

二、力的正交分解

1. 有时根据处理问题的需要，不按力的作用效果分解，而是把力正交分解（如在求多个力的合力时），力的正交分解法就是利用数学上的直角坐标系描述力的分解效果，将一个力在直角坐标系中沿相互垂直的两坐标轴分解，如图 16-2 所示。

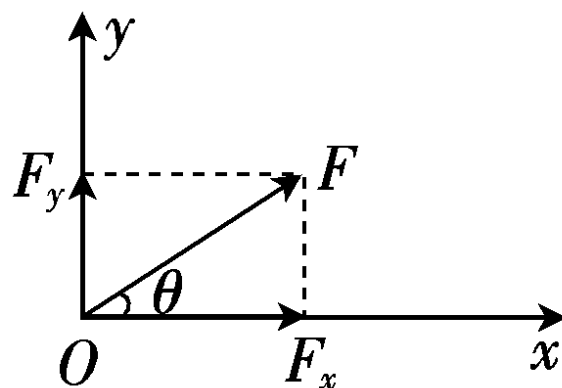


图 16-2

力 F 沿 x 、 y 轴分解为两个分力 F_x 、 F_y ，其大小分别为 $F_x = F \cos \theta$ ， $F_y = F \sin \theta$ 。

2. 正交分解的优点就在于把不在一条直线上的矢量的运算转化成了同一条直线上的运算。

三、力的分解中解的确定

力分解时有解或无解，简单地说就是代表合力的对角线与给定的代表分力的有向线段是否能构成平行四边形（或三角形）。如果能构成平行四边形（或三角形），说明该合力能按给定的分力分解，即有解；如果不能构成平行四边形（或三角形），说明该合力不能按给定的分力分解，即无解。

具体情况可分以下几种：

1. 已知 F 的大小和方向及两个分力 F_1 和 F_2 的方向，则 F_1 和 F_2 有确定值。

2. 已知 F 的大小和方向及 F_1 的大小和方向，则 F_2

3. 已知 F 的大小和方向及 F_1 和 F_2 的大小, 则有两种分解方式, 如图 16-3 所示.

当 $|F_1 - F_2| > F$ 或 $F > F_1 + F_2$ 时无解.

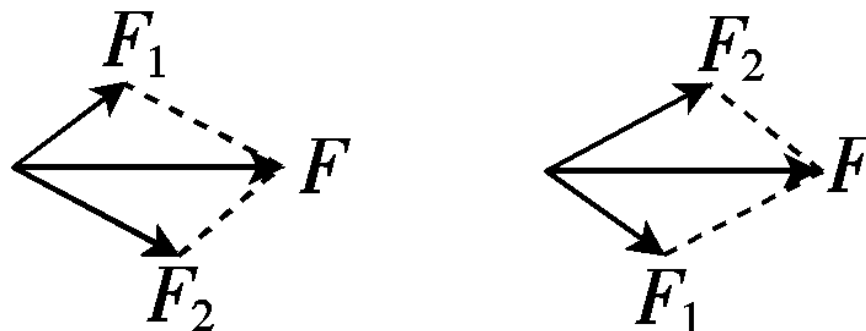


图 16-3

4. 已知 F 的大小和方向及 F_1 的方向, 则分解情况有四种, 方法是以 F 的一端 A 为圆心, 以 F_2 的大小为半径画圆.

- (1) 若 $F_2 < F \sin \theta$, 不能分解 (即无解);
- (2) 若 $F_2 = F \sin \theta$, 有一解;
- (3) 若 $F \sin \theta < F_2 < F$, 有两解;

方法指导

一、对合力、分力、力的分解的正确认识

例 1 一个力 F 分解为两个力 F_1 和 F_2 ，那么下列说法错误的是 ()

- A. F 是物体实际受到的力
- B. F_1 和 F_2 不是物体实际受到的力
- C. 物体同时受到 F_1 、 F_2 和 F 三个力作用
- D. F_1 和 F_2 共同作用的效果与 F 相同

解析 正确理解合力和分力的关系是解答此类问题的关键，具体分析如下表所示：

选项	内容指向，联系分析	结论
A	在力的分解中，合力是物体实际受的力。	正确
B	F_1 和 F_2 是力 F 按效果分解的两个分力，不是物体实际受的力。	正确
C	合力和分力不能同时作为物体受的力。	错误
D	F_1 和 F_2 是力 F 的两个分力，共同作用效果应该与 F 的作用效果相同。	正确
<p>误区警示</p>	<p>此题易误选 B，认为两分力也是物体实际受到的力。</p> <p>答案 C</p>	

二、分解力的原则——按效果分解

例 2 三段不可伸长的细绳 OA 、 OB 、 OC 能承受的拉力相同，它们共同悬挂一重物，如图 16-4 甲所示。其中 OB 是水平的， A 端、 B 端固定。若逐渐增加 C 端所挂物体的质量，则最先断的绳

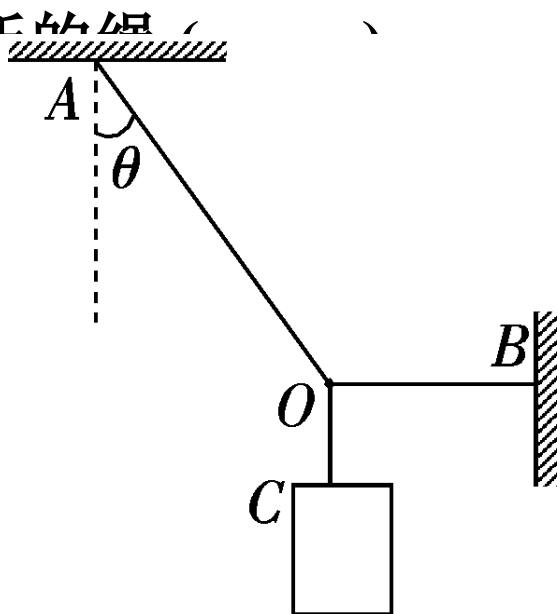


图 16-4 甲

- A. 必定是 OA
- C. 必定是 OC

- B. 必定是 OB
- D. 可能是 OB ，也

可能是 OC

分析 根据 CO 绳对 O 点的作用效果进行分解, 作出力的平行四边形, 然后根据几何关系进行判断.

解析 将 FC 沿 AO 与 BO 延长线方向分解 (如图 16-4 乙), 可得 AO 与 BO 受到的拉力, 在平行四边形中表示 AO 绳子张力 F_A 的边最长, 所以, F_A 最大, 必定是 OA 先断.

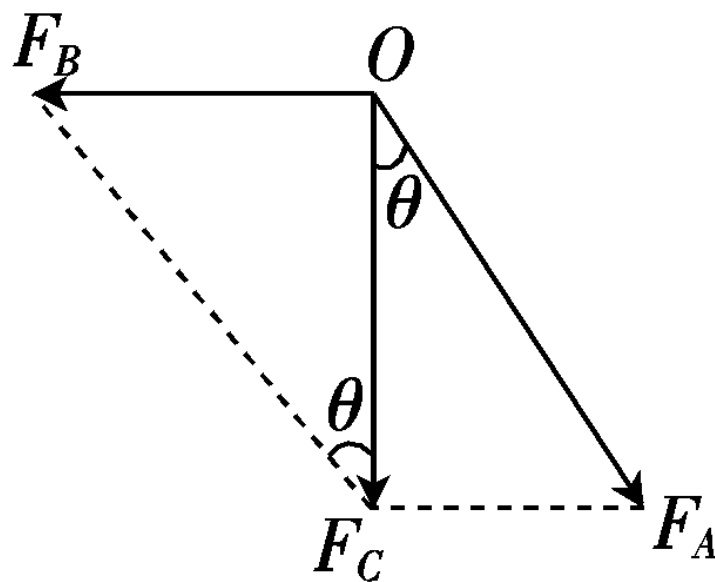


图 16-4 乙

变式训练 1

在例 2 的已知条件下, (1) 若三段绳的最大承受力均为 100 N, 且 $\theta=30^\circ$, 则各段绳均不断时对应的最大悬挂物的重力为多少?

(2) 若 OA 段绳的最大承受力为 100 N, OB 段绳的最大承受力为 40 N, 且 $\theta=30^\circ$, 则各段绳均不断时对应的最大悬挂物的重力为多少? (设 OC 绳不会断)

解析 (1) OA 绳不断时, 其他两段绳均不断, 那么 OA 绳中拉力达 100 N 时对应的物体的重力即为悬挂物的最大重力, 则:

$$F_C = G = F_A \cdot \cos \theta = 100 \times \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ N} = 50\sqrt{3} \text{ N}.$$

(2) 绳 OA 刚好不断时对应的最大物重 $G_1 = F_C = F_A \cdot \cos \theta = 50\sqrt{3}$ N. 绳 OB 刚好不断对应的最大物重 $G_2 = F_C = \frac{F_B}{\tan \theta} = \frac{40}{\frac{\sqrt{3}}{3}} \text{ N} = 40\sqrt{3} \text{ N},$

那么要使三段绳均不断, 所挂物体的最大重力 $G_2 = 40\sqrt{3} \text{ N}.$

答案 (1) 50 N (2) 40 N

三、力的动态问题分析方法

例 3 如图 16-5 甲所示，半圆形支架 BAD ，两细绳 OA 和 OB 结于圆心 O ，下悬重为 G 的物体，使 OA 绳固定不动，将 OB 绳的 B 端沿半圆支架从水平位置逐渐移至竖直位置 C 的过程中，分析 OA 绳和 OB 绳所受力的大小如何变化。

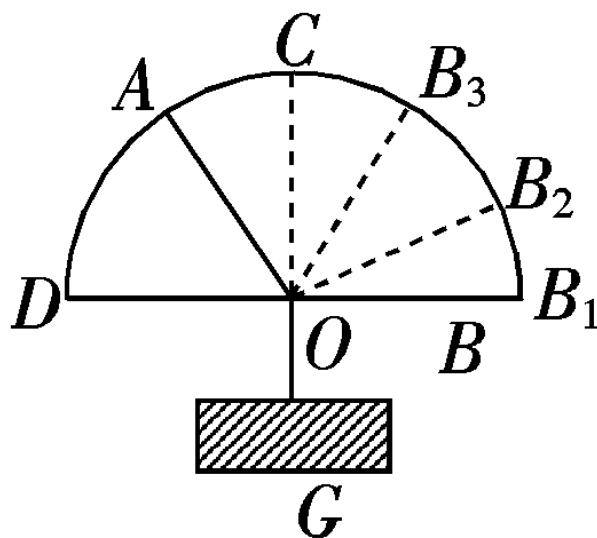


图 16-5 甲

解析 因为绳结点 O 受重物的拉力 F ，所以才使 OA 绳和 OB 绳受力，因此将拉力 F 分解为 F_A 、 F_B (如图 16-5 乙所示)。 OA 绳固定，则 F_A 的方向不变，在 OB 向上靠近 OC 的过程中，在 B_1 、 B_2 、 B_3 三个位置，两绳受的力分别为 F_{A1} 和 F_{B1} 、 F_{A2} 和 F_{B2} 、 F_{A3} 和 F_{B3} 。从图形上看出， F_A 是一直逐渐变化的， F_B 是先减小后增大，当 OB 和 OA 垂直时，

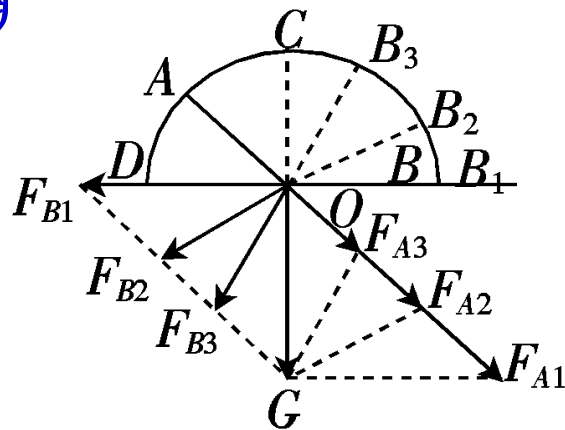


图 16-5 乙

点评 在用图示法解决动态平衡问题时，应着重注意的是，在动态平衡过程中哪些物理量不变，哪些物理量是变化的，如何变化，通常是确定不变量，围绕该不变量，根据已知方向的改变，变化平行四边形 (或三角形) 的边

变式训练 2

如图 16-6 甲所示，一倾角为 θ 的固定斜面上，有一块可绕其下端转动的挡板 P，今在挡板与斜面间夹有一重为 G 的光滑球。试求挡板 P 由图示的竖直位置缓慢地转到水平位置的过程中，球对挡板压力的最小值是多大？

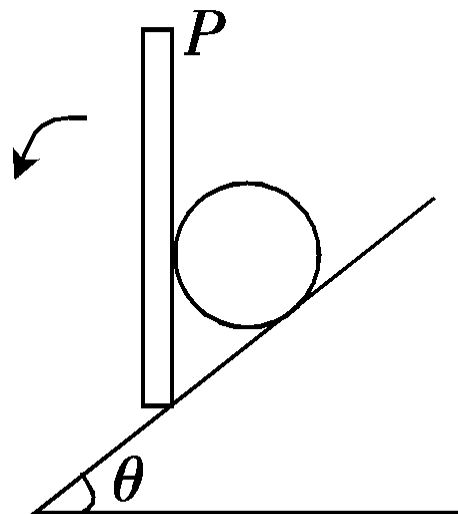
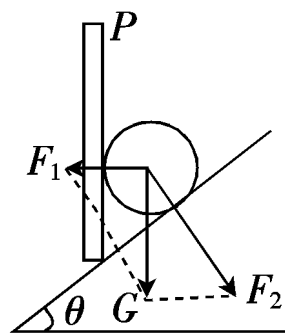
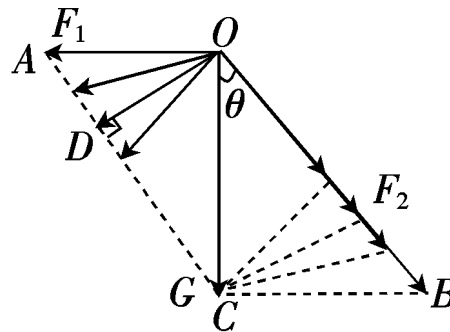


图 16-6 甲

解析 球的重力产生两个作用效果：一是使球对挡板产生压力；二是使球对斜面产生压力。



乙



丙

图 16-6

如图乙所示，球对挡板的压力就等于重力沿垂直于挡板方向上的分力 F_1 ，在挡板 P 缓慢转动的过程中，重力 G 的大小与方向保持不变，分力 F_2 的方向不变，总与斜面垂直，分力 F_1 的大小和方向都发生变化，所以构成的平行四边形总夹在两条平行线 OB 和 AC 之间，如图丙所示。由图可知，表示 F_1 的线段中最短的是 $OD(OD \perp AC)$ ，则分力 F_1 的最小值 $F_{1\min} = G \sin \theta$ ，这个值也就等于球对挡板压力的最小值。

四、力的正交分解法的应用

例 4 如图 16-7 甲所示，位于斜面上的物体 A 在沿斜面向上的力 F 作用下处于静止状态，则斜面作用于物体 A 的静摩擦力 ()

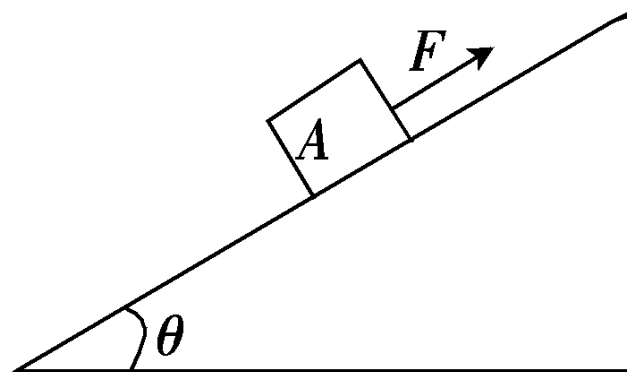


图 16-7 甲

- A. 方向不可能沿斜面向上
- B. 方向可能沿斜面向下
- C. 大小可能等于零
- D. 大小不可能等于 F

解析 物体静止不动，合外力为零，采用正交分解法建立直角坐标系，则在 x 方向合力为零。当 $F = mg \sin \theta$ 时，物体没有相对运动的趋势，即没有受到静摩擦力，选项 C 正确；当 $F > mg \sin \theta$ 时，物体相对斜面有向上运动的趋势，摩擦力方向应向下，选项 B 正确；当 $F < mg \sin \theta$ 时，物体相对斜面有向下运动的趋势，摩擦力方向应向上，选项 A 错误；当 $mg \sin \theta = 2F$ 时，摩擦力应向上且大小应等于 F ，选项 D 错误。

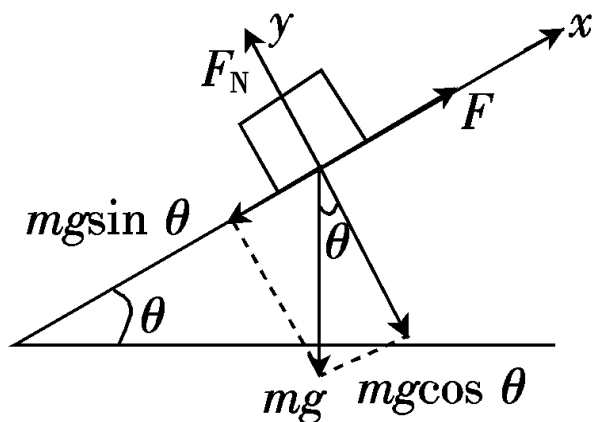


图 16-7 乙

答案 BC

点评 物体受 3 个或 3 个以上的共点力作用时，常用正交分解法，力的正交分解的优点在于：其一，借助数学中的直角坐标系 (x, y) 对力进行描述；其二，几何图形关系简单，是直角三角形，计算简便。

通常坐标系的选取有两个原则：(1) 使尽量多的矢量处在坐标轴上；(2) 尽量使未知量处在坐标轴上。

变式训练 3

一个物体 A 的重力为 G ，放在粗糙的水平面上，物体与水平面间的动摩擦因数为 μ ，如图 16-8 甲所示，拉力与水平方向的夹角为 θ ，为拉动此物体做匀速直线运动，则拉力 F 为多大？

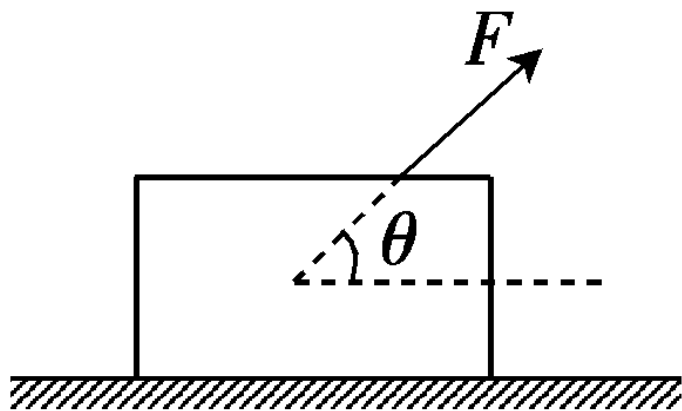


图 16-8 甲

解析 物体 A 受到四个力作用，分别为：拉力 F 、重力 G 、支持力 F_N 、摩擦力 f 。

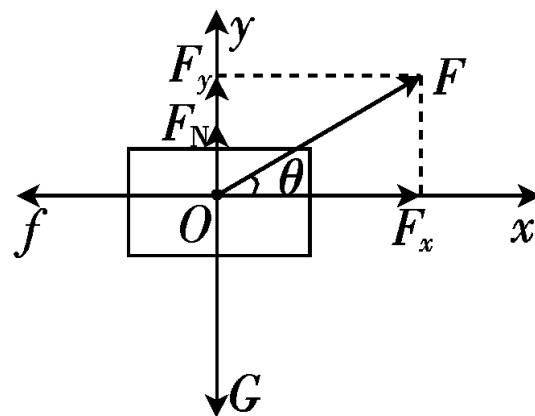


图 16-8 乙

如图 16-8 乙, 将 F 正交分解为 F_x , F_y , 则有:

$$F_x = F \cos \theta, \quad F_y = F \sin \theta$$

$$\text{又 } F_N = G - F_y$$

$$f = \mu F_N, \quad F_x = f$$

$$\text{联立解得: } F = \frac{\mu G}{\cos \theta + \mu \sin \theta}$$

答案 $\frac{\mu G}{\cos \theta + \mu \sin \theta}$

互动平台

育才老师与细心同学关于力的分解的对话

育才：力的分解是分析解决力问题的基本方法。学好力的分解知识，正确掌握力的分解方法，对于刚进入高一的学生来说是非常重要的。分解力时，一定要强调必须根据力的实际作用效果来分解。

有的同学在学习了力的分解内容后，往往是除了老师上课讲的几种力的分解还能掌握外，其他的力就不知道该如何进行分解了。出现这种情况的原因是学生只去死记硬背老师讲的结果，而不是去体会“力是按照它的作用效果来分解的”这一原则。

例如，一重为 G 的物体，用绳 BO 、 AO 将它拴住，使它处于静止，如图 16-9 甲所示，则 OA 绳受到的拉力是多少？若把 BO 剪断，在剪断的瞬间 AO 的拉力又是多少？若把 AO 换成一根弹簧情况又如何？

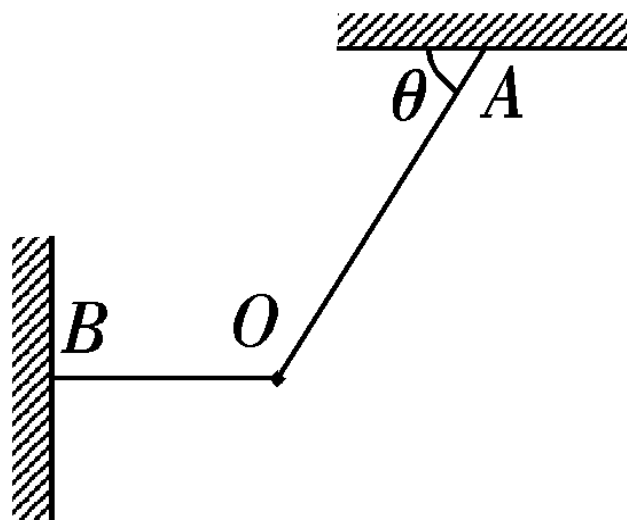


图 16-9 甲

解：剪断前，物体受力情况如图 16-9 乙所示，则 $F_A = \frac{G}{\sin \theta}$ ；
 剪断瞬间，物体受力情况如图 16-9 丙所示。因剪断后物体做圆周运动，在剪断瞬间速度为零，则有： $F_A' = G \sin \theta$ 。若将绳换成弹簧，
 则在剪断前 $F_A = \frac{G}{\sin \theta}$ ，剪断瞬间，由于弹簧不能立即恢复原状，
 因此弹簧的拉力不变，即 $F_A' = \frac{G}{\sin \theta}$ 。因此，剪断瞬间， AO 绳中的
 拉力改变，弹簧 AO 中的弹力不变。

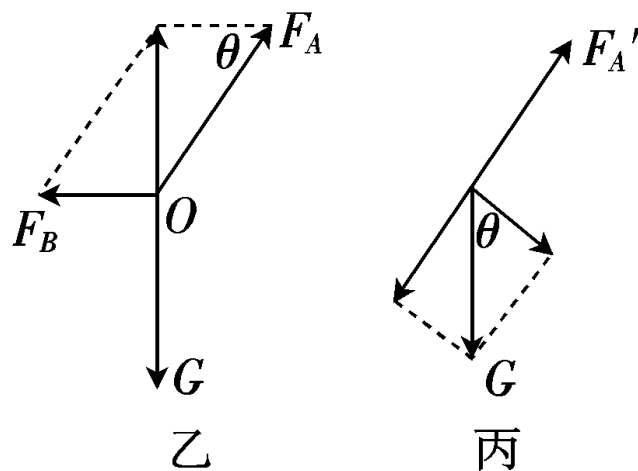


图 16-9

可见不同的情况，同一个力分解也是不完全相同的。从而进一步强调了要根据力的实际作用效果来分解，要克服头脑中那种想当然的、经验主义的错误，逐步培养灵活应用、随机应变的能力，养成良好的思维习惯。

请按照图 16-10 做一个简易试验，软线一头系住一块橡皮，另一头绑在中指上，把铅笔尖顶在掌心，用铅笔把细线撑起来，体会一下绳竖直向下的拉力产生的作用效果。

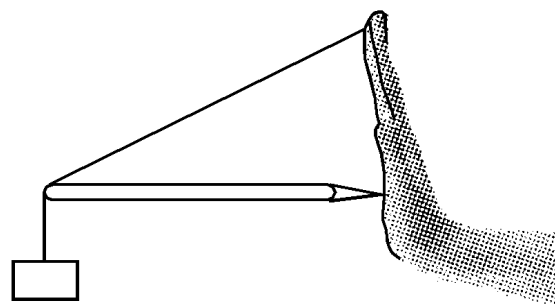


图 16-10

细心：中指受到了拉力，掌心受到了压力。

育才：明确了力的作用效果之后，再进行力的分解就不困难了。

课时 17 探究弹力和弹簧伸长的关系

课前导航

尺的“进化”

“度然后知长短”，最初人们用目测长短，后来才发展到用尺。原始的尺大都以人身体的某一部分的长度为标准，古埃及以人的小臂长为“腕尺”，古罗马以查理曼大帝的足长为“英尺”，英王埃德加以拇指关节间的长度为“英寸”，中国的“一虎口”则是指拇指与中指伸开的距离。虽然作为尺度的标准混乱，但是较目测也是一种进步。近代，人们以过巴黎的子午线从北极到赤道的一千万分之一为一米；后来，人们以氦原子发光的波长为依据定义米；现在，人们又以激光在真空中的传播速度为依据重新定义了米，使得“米”这一长度的基本单位越来越准确。

人们在改进尺的标准的同 时，也改进了尺的结构。我国在公元初的西汉末王莽时期，就已经造出了一种“铜卡尺”，它是现代游标卡尺的雏形，是测量技术的一个突破，比法国数学家皮尔·维尼尔发明游标卡尺早了 1600 年。

请你思考：

1. 长度的基本单位是什么？
2. 两千年前我国已经造出了“铜卡尺”，今天的你会使用游标卡尺吗？会准确读数吗？

知识精析

一、实验步骤

1. 将弹簧的一端挂在铁架台上，让其自然下垂，用刻度尺测出弹簧自然伸长状态时的长度 L_0 ，即原长。

2. 如图 17-1 所示，将已知质量的钩码挂在弹簧的下端，在平衡时测出弹簧的总长并计算钩码的重力，填写在记录表格里。

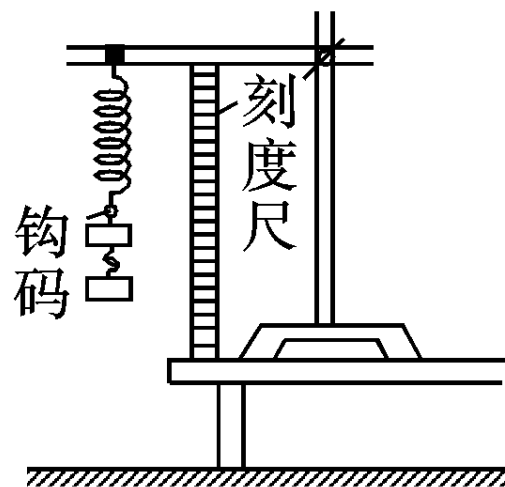


图 17-1

	1	2	3	4	5	6	7
F/N							
L/cm							
x/cm							

3. 改变所挂钩码的个数，重复上步的实验过程多次

.

4. 用公式 $x = L - L_0$ 计算出弹簧各次的伸长量，填入上表.

5. 以弹力 F (大小等于所挂钩码的重力) 为纵坐标，以弹簧的伸长量 x 为横坐标，用描点法作图. 连接各点，得出弹力 F 随弹簧伸长量 x 变化的图线.

6. 以弹簧伸长量为自变量，写出曲线所代表的函数. 首先尝试一次函数，如果不行则考虑二次函数.

7. 得出弹力和弹簧伸长量之间的函数关系，研究并解释函数表达式中常数的物理意义.



二、注意事项

1. 所挂钩码不要过重，以免弹簧被过分拉伸，超出它的弹性限度。要注意观察，适可而止。
2. 每次所挂钩码的质量差尽量大一些，从而使坐标上描的点尽可能稀一些，这样作出的图线更精确。
3. 测弹簧长度时，一定要在弹簧竖直悬挂且处于平衡状态时测量，刻度尺要保持竖直并靠近弹簧，以免增大误差。
4. 描点画线时，所描的点不一定都落在一条曲线上，但应注意一定要使各点均匀分布在曲线的两侧。
5. 记录数据时要注意弹力及弹簧伸长量的对应关系及单位。

三、数据处理

本实验采用图象法处理实验数据，研究弹力大小与弹簧伸长量之间的关系，这种方法是探究两个物理量间关系时最常用也是最基本的方法。描点时要细心，连线时要遵循作图原则。

方法指导

一、实验数据的处理与分析

例 1 下表是某同学为探究弹力和弹簧伸长的关系所测的几组数据:

弹力 F/N	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
弹簧的伸长 x/cm	2.6	5.0	6.8	9.8	12.4

(1) 请你在图 17-2 甲中的坐标纸上作出 $F-x$ 的图象.

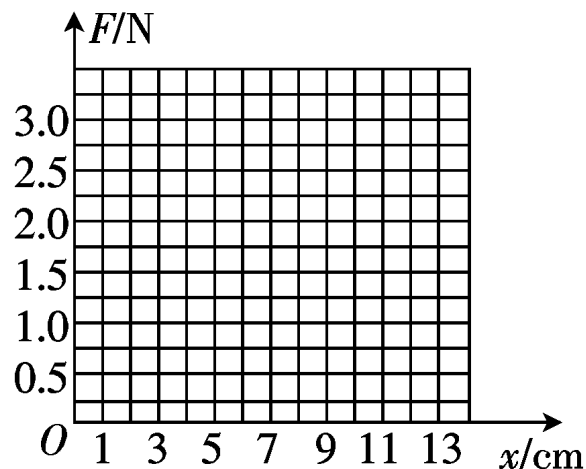


图 17-2 甲

(2) 写出曲线所代表的函数. (x 用 m 作单位)

(3) 解释函数表达式中常数的物理意义.

分析 根据已有数据选好坐标轴每格所代表的物理量的多少, 是作好图象的关键. 作图象的方法是: 用平滑的曲线 (或直线) 将坐标纸上的各点连接起来. 若是直线, 应使各点均匀分布于直线两侧, 偏离直线太大的点应舍去.

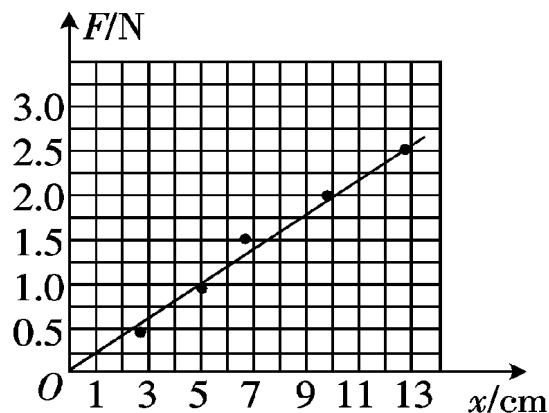


图 17-2 乙

解析 (1) 将 x 轴每小格取为 1 cm , y 轴每一小格取为 0.25 N . 将各点画在坐标纸上, 并连成直线. 如图 17-2 乙所示.

(2) 由图象得: $F = 20x$.

(3) 函数表达式中的常数为弹簧的劲度系数, 表示使弹簧每伸长 (或压缩) 1 m 所需的弹力大小为 20 N .

二、实验设计

例 2 同学甲用一个支架、一根弹簧、一把尺和一个已知质量的砝码，来测定某个不太重的物体有多重，该怎样做？同学乙用一根弹簧，当弹簧的自由端 B 在未悬挂重物时，正对刻度尺的零刻度线，当挂上 100 N 重物时正对着刻度 20 ，则当弹簧分别挂 50 N 和 150 N 重物时，自由端所对刻度尺读数应是多少？若自由端所对刻度是 18 ，这时弹簧下端挂了多重的重物？

解析 同学甲要完成任务需做好以下几个步骤：

- (1) 将弹簧上端固定在支架上，下端挂上砝码（已知质量为 m ），测出弹簧伸长为 x ；
- (2) 将砝码取下换上待测物体，测出弹簧伸长为 x' ；

(3)待测物体的重力 $G' = \frac{x'}{x} mg$.

关于同学乙的测量提出的问题可利用胡克定律 $F = kx$ 计算.

设单位刻度对应的伸长量为 Δx , 则:

$$100 = k \cdot 20 \Delta x, 50 = k \cdot x_1 \cdot \Delta x$$

$$150 = k \cdot x_2 \cdot \Delta x$$

联立解得: $x_1 = 10, x_2 = 30$

由 $F = k \cdot 18 \cdot \Delta x$ 得 $F = 90 \text{ N}$ 时, 弹簧可伸长到刻度 18.

互动平台

育才老师与细心同学、粗心同学关于有效数字和游标卡尺的对话

细心：通过本课时的学习，我明白了测量工具的读数必须按照有效数字的要求读数才是对的。

育才：在高中阶段，对于测量工具的读数问题必须合乎有效数字的要求，比如毫米刻度尺要在毫米以下估读一位。

粗心：估读的时候，完全凭的是个人的感觉，最后这一位估读数字肯定是不可靠的，既然不可靠，那么还要它有什么用呢？干脆还不如不估读。

育才：这样认识就错了，正因为最后估读的这一位不可靠，才保证了它前面的数字是可靠的，是准确的。若舍去了最后这一位不可靠数字，那么紧挨着它前面的那一位数字就成了最后一位，就成了不准确的、不可靠的了。例如：3.58 中“8”是估读出来的，是不准确、不可靠的，若去掉这个“8”，写成3.5，那么，“5”就成为不可靠、不准确的了。

粗心：这让我想到了一个成语“唇亡则齿寒”。

育才：这是一个很好的类比和联想。

粗心：那么游标卡尺为什么就不估读呢？

育才：实际上，游标卡尺是借助游标尺进行的估读，这种借助仪器的估读毕竟比肉眼的估读要可靠得多。

粗心：现在我明白了使用游标卡尺时不用再估读一位数的道理了。

课时 18 验证力的平行四边形定则

课前导航

北宋诗人陆游有一首诗：

古人学问无遗力，少壮工夫老始成。

纸上得来终觉浅，绝知此事要躬行。

实践出真知，古往今来，概莫能外，经过实践检验的理论才是“真知”。这一课时就是要用实验来验证平行四边形定则。还可以利用本实验的实验器材，附带完成一个“验证分力存在最小值”的实验。

基础梳理

1. 同一实验中的两个弹簧秤的选取方法是：将两弹簧秤钩好后对拉，若两弹簧秤在拉的过程中，**读数**相同，则可选用，若不同，应另换，直到**相同**为止。

2. 使用弹簧秤前，要先观察指针是否在零刻度线处，若指针不在零刻度线处，要设法调整指针，使之指在零刻度线处。

3. 使用弹簧秤时，要使它与木板平行，在合力不超过弹簧秤量程及橡皮条弹性限度的作用条件下，应使读数尽量大些，以减小误差。

在同一实验中，橡皮和拉长的结点 O 位置一定要相同。

4. 画力的图示时，应选定恰当的标度，尽量使图画得大一些，并严格按照要求作图。

5. 由作图法得到的 F 值和实验测量得到的 F' 值不可能完全相等，但在误差允许范围内 F 值和 F' 值基本一致。

知识精析

一、实验步骤

1. 用图钉把白纸钉在水平桌面的木板上。
2. 用图钉把橡皮条的一端固定在 A 点，橡皮条的另一端拴上两个细线套。
3. 用两只弹簧测力计分别钩住细线套，互成角度地拉橡皮条，使橡皮条伸长到一位置 O ，如图 18-1 所示，记录两弹簧测力计的读数，用铅笔描下 O 点的位置及此时两细线套的方向。

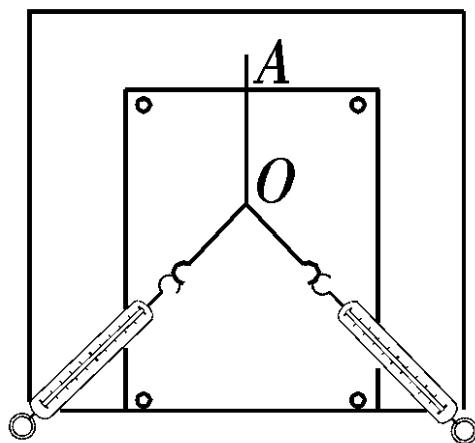


图 18-1

4. 用铅笔和刻度尺从结点 O 沿两条细线方向画直线，按选定的标度作出这两只弹簧测力计的读数 F_1 和 F_2 的图示，并以 F_1 和 F_2 为邻边用刻度尺借助于三角板作平行四边形，过 O 点画平行四边形的对角线，此对角线即为合力 F 的图示。

5. 只用一只弹簧测力计通过细线套把橡皮条的结点拉到同样的位置 O ，记下弹簧测力计的读数和细线的方向，用刻度尺从 O 点同样的标度沿记录的方向作出这只弹簧测力计的拉力 F' 的图示。

6. 比较一下，力 F' 与平行四边形定则求出的合力 F 在大小和方向上是否相同。

7. 改变两个力 F_1 与 F_2 的大小和夹角，再重复实验两次。

二、注意事项

1. 正确使用弹簧测力计

(1) 同一实验中的两只弹簧测力计的选取方法是：将两只弹簧测力计调零后互钩对拉过程中，读数相同，则可选；若读数不同，应另换，直至相同为止。

(2) 使用弹簧测力计测力时，读数应尽量大些，但不能超出它的测量范围。

(3) 使用前要检查指针是否指在零刻度线上，否则应校正零位（无法校正的要记录下零误差）。还需用钩码检查是否存在示值误差，若存在，应加以矫正。

(4) 被测力的方向应与弹簧测力计轴线方向一致，拉动时弹簧不可与外壳相碰或摩擦。

(5) 读数时应正对、平视刻度。

2. 规范实验操作

(1) 不要直接以橡皮条端点为结点，可拴一端细绳连两细绳套，以三绳交点为结点，应使结点小些，以使准确地记录结点 O 的位置。

(2) 在同一次实验中，使橡皮条拉长时结点 O 的位置一定要相同。

(3) 不要用老化的橡皮条，检查方法是用一个弹簧测力计拉橡皮条，要反复做几次，使橡皮条拉到相同的长度看弹簧测力计读数有无变化。

(4) 细绳套应适当长一些，便于确定力的方向。不要直接沿细绳套的方向画直线，应在细绳套末端用铅笔画一个点，取掉细绳套后，再将所标点与 O 点连一直线确定力的方向。

(5) 在同一次实验中，画力的图示所选定的标度要相同，并且要恰当选取标度，使所作力的图示稍大一些。

三、误差分析

1. 误差来源：除弹簧测力计本身的误差外，还有读数误差、作图误差等。

2. 减小误差的办法

(1) 实验过程中读数时眼睛一定要正视弹簧测力计的刻度，要按有效数字和弹簧测力计的精度正确读数和记录。

(2) 作图时用刻度尺借助于三角板，使表示两力的对边一定要平行。因两个分力 F_1 、 F_2 间的夹角 θ 越大，用平行四边形定则作出的合力 F 的误差 ΔF 就越大，所以，

实验中不要把 θ 取得太大，但也不宜太小，以 $60^\circ \sim 100^\circ$

方法指导

一、实验结果的分析理解

例 1 图 18-2 所示是两位同学在做“验证力的平行四边形定则”的实验时得到的结果，其中哪一个实验结果比较符合实验事实？在比较符合实验事实的那个实验中，若 F' 是准确的，则误差较大的原因可能是哪些？

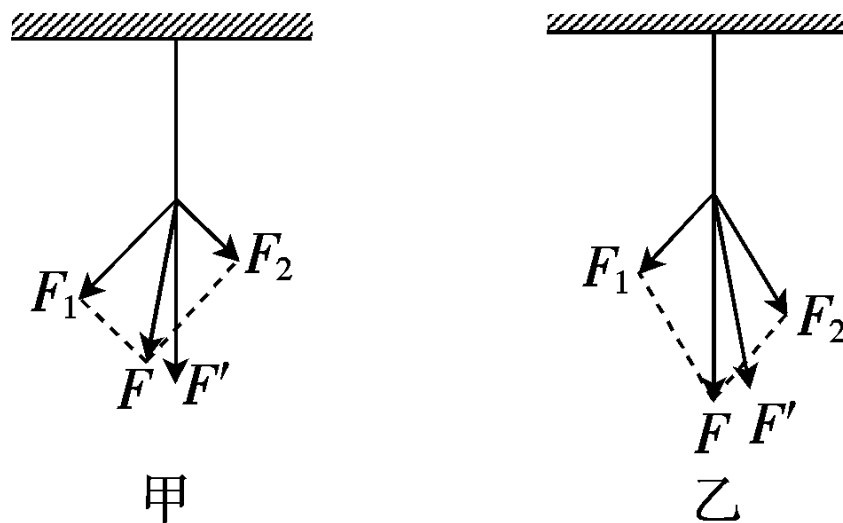


图 18-2

解析 按本实验的符号规定： F 为 F_1 、 F_2 通过平行

四边形定则所得合力； F' 为 F_1 和 F_2 的等效力（即用一只弹簧测力计拉时的力），橡皮条在这个力的作用下，其力的方向与橡皮条的伸长方向在一条直线上，显然乙图不符合事实，即实验结果比较符合事实的是甲图。甲图中 F 与 F' 误差较大的原因可能是：① F_1 的方向比真实方向偏左；② F_2 的大小比真实值偏小且方向比真实方向偏左；③作图时两虚线没有分别与 F_1 线和 F_2 线平行。

二、实验步骤的分析判断

例 2 在“验证力的平行四边形定则”的实验中，实验步骤如下：

(1) 在水平放置的木板上固定一张白纸，把橡皮条的一端固定在木板上，另一端拴两根细绳套，通过细绳套同时用两个测力计互成角度地拉橡皮条，使它与细绳套的结点到达某一位置 O 点，在白纸上记下 O 点和两个测力计的示数 F_1 和 F_2 .

(2) 在白纸上根据 F_1 和 F_2 的大小，应用平行四边形定则作图求出合力 F .

(3) 只用一只测力计通过细绳拉橡皮条，使它的伸长量与两个测力计拉时相同，记下此时测力计的示数 F' 和细绳套的方向.

以上三个步骤中均有错误或疏漏，请指出错在哪里？

(1) 中是_____;

(2) 中是_____;

(3) 中是_____.

解析 按实验操作要求，记录力的大小和方向，同时在两次拉橡皮条的过程中结点要到达相同位置，这样才能保证两次效果相同。

答案 (1) 未记下细绳套的方向 (2) 应根据 F_1 和 F_2 的大小和方向选定标度作图 (3) 应将橡皮条与细绳套的结点拉至同一位置 O 点

点评 实验问题的处理方法常常是根据实验原理的要求选择器材，安排合理的操作步骤，只要懂实验原理，处理问题就不难了，所以实验前、实验后都必须弄清楚实验

原理。



变式训练

某同学做“验证力的平行四边形定则”的实验时，主要步骤是：

A. 在桌上放一块方木板，在方木板上铺一张白纸，用图钉把白纸钉在方木板上；

B. 用图钉把橡皮条的一端固定在板上的 A 点，在橡皮条的另一端拴上两条细绳，细绳的另一端系着绳套；

C. 用两个弹簧测力计分别钩住绳套，互成角度地拉橡皮条，使橡皮条伸长，结点到达某一位置 O . 记录下 O 点的位置，读出两个弹簧测力计的示数；

D. 按选好的标度，用铅笔和刻度尺作出两只弹簧测力计的拉力 F_1 和 F_2 的图示，并用平行四边形定则求出合力 F ；

E. 只用一只弹簧测力计, 通过细绳套拉橡皮条使其伸长, 读出弹簧测力计的示数, 记下细绳的方向, 按同一标度作出这个力 F' 的图示;

F. 比较 F' 和 F 的大小和方向, 看它们是否相同, 得出结论.

上述步骤中: (1) 有重要遗漏的步骤的序号是 _____ 和 _____; (2) 遗漏的内容分别是 _____ 和 _____.

解析 据“验证力的平行四边形定则”实验的操作规则可知, 有重要遗漏的步骤的序号是 C、E. 在 C 中未记下两条绳的方向. E 中未说明是否把橡皮条的结点拉到同一位置 O .

答案 C E 未记下两绳的方向 未说明是否把橡皮条的结点拉到同一位置 O

互动平台

育才老师与细心、粗心同学关于实验中的注意事项的对话

育才：我考考你们，在用两个弹簧秤做“验证力的平行四边形定则”的实验中，通过细绳用两个弹簧秤互成角度地拉橡皮条，使结点拉至某一位置 O 后，此时需记录的是哪几项？

细心：结点位置、两弹簧秤读数、细线方向。

育才：正确。这样做了之后再单独用一个弹簧秤，把结点拉至位置 O ，还要记下哪几项？

粗心：弹簧秤的读数。

细心：记下弹簧秤读数仅仅是记下了拉力的大小，还应该记下拉力的方向。

育才：这就完整了。

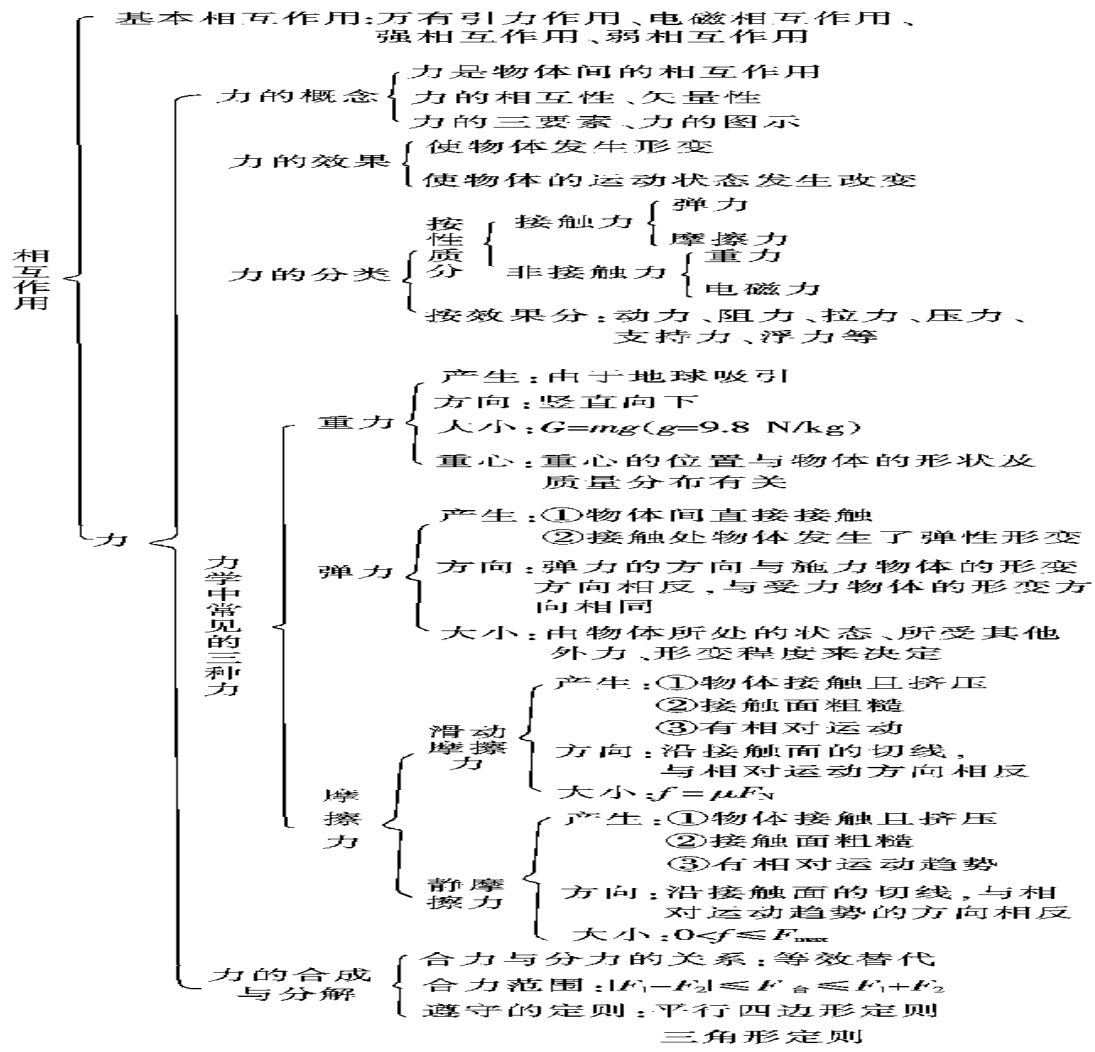
育才：在本实验中，减小实验误差的方法有哪些？请说出几项来。

细心：两个分力 F_1 和 F_2 间的夹角不能太小，两个分力 F_1 和 F_2 的大小要适当大些，拉橡皮条的细绳要稍长一些。

育才：看来掌握得不错，但还要注意使用弹簧秤前应先校零点，并且要保证拉力方向在同一平面内。

课时 19 《相互作用》 单元小结

本单元知识梳理



技巧、方法归纳

一、摩擦力的产生条件及大小求解

1. 弹力

(1) 弹力是否存在：可以用假设法分析判断。

(2) 弹力的方向：面面接触、点面接触、点点接触的弹力的方向总是垂直于接触面或接触点的切面而指向受力物体；绳、线的拉力方向是沿绳、线，指向绳、线的收缩方向；杆的弹力方向不一定沿杆的方向。

(3) 弹力的大小：通常是根据物体的平衡条件或牛顿运动定律求解，只有弹簧的弹力能用胡克定律求解。

2. 摩擦力

(1) 要产生摩擦力，必须同时具备以下四个条件：①两物体接触，②接触面间有弹力，③接触面不光滑，④物体间有相对滑动或有相对滑动的趋势。

(2) 摩擦力的方向：与物体的相对运动方向或相对运动趋势方向相反，阻碍物体间的相对运动或趋势，与物体的运动方向或趋势可能相同、相反，也可能不在一条直线上。

(3) 摩擦力的大小：求摩擦力的大小要首先分析清楚是滑动摩擦力还是静摩擦力，滑动摩擦力的大小计算可用公式 $f = \mu F_N$ 求解，判断好 F_N 是解决问题的关键，而静摩擦力只能通过分析物体的受力情况，用平衡条件或牛顿运



例 1 如图 19-1 所示，木块放在水平地面上，在 $F=8\text{ N}$ 的水平拉力作用下向右做匀速直线运动，速度为 1 m/s ，则下列说法正确的是（ ）

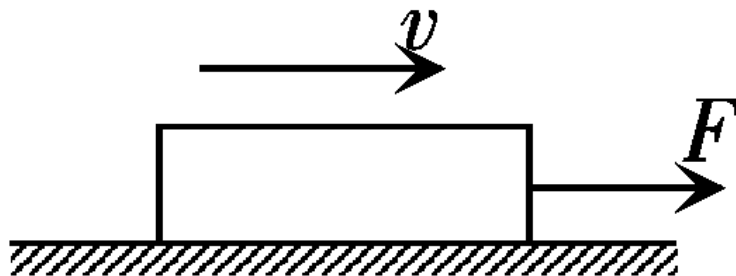


图 19-1

- A. 以 1 m/s 的速度做匀速直线运动时，木块受到的摩擦力为 8 N
- B. 当木块以 2 m/s 的速度做匀速直线运动时，木块受到的摩擦力小于 8 N
- C. 当水平拉力 $F = 20\text{ N}$ 时，木块受到的摩擦力为 20 N
- D. 将水平拉力 F 撤去，木块速度越来越慢，是因为木块受到的摩擦力越来越大

解析 竖直方向上，木块的重力与地面对木块的支持力始终平衡。

水平方向上，木块向右做匀速直线运动时，拉力 F 与滑动摩擦力 F' 平衡，故 $F' = F = 8\text{ N}$ 。且滑动摩擦力方向向左。

当 $F = 20\text{ N}$ 时，因木块对地面的压力的大小和接触面的粗糙程度均没有变化，故滑动摩擦力不变，仍为 8 N 。注意此时 $F > F'$ ，木块向右做加速运动。

同理，当木块速度为 2 m/s 及木块越来越慢时，滑动摩擦力的大小仍为 8 N 。故选项 A 正确。

答案 A

二、受力分析

受力分析是整个物理学的基础，它贯穿于力、热、电、光各部分中，正确地对研究对象进行受力分析，相当于成功解决问题的一半，受力分析在高考中单独考查的也有，但更多的是运用于具体的解题过程中。在对物体进行受力分析时，一般要把物体隔离出来单独分析其受力，同时要注意分析力的顺序，一般是先重力，后接触力，对接触力要注意判断其是否存在。

1. 物体受力分析的一般步骤

- (1) 明确研究对象，并将它从周围的物理环境中隔离开来。
- (2) 按一定顺序分析物体受到的力。
- (3) 正确画出物体受力示意图。
- (4) 结合物体的运动状态来检查受力分析的正确性，防止错画力、多画力和漏画力。

2. 物体受力分析的注意事项

(1) 不要只分析研究对象所受的力，不分析研究对象对其他物体所施加的力，也不要将作用在其他物体上的力错误地认为通过“力的传递”而作用在研究对象上。

(2) 只分析根据性质命名的力，如重力、弹力、摩擦力等，不分析根据效果命名的力如下滑力、动力、阻力等。

(3) 每分析出一个力，都应找出施力物体，没有施力物体的力是不存在的，这是防止“多力”的有效措施之一。

(4) 合力和分力不能同时作为物体所受的力，如物体沿斜面匀速下滑时，只受到重力、支持力、摩擦力的作用，不能说物体还受到一个下滑力（重力沿斜面向下的分力）作用。

例 2 跨过光滑定滑轮轻绳，两端各拴一个物体，如图 19-2 甲所示。物体 A 和 B 重均为 20 N ，水平拉力 $F = 12\text{ N}$ 。若物体 A 和 B 均处于静止状态，试分析物体 A 和 B 的受力情况，画出受力的示意图，并计算各力的大小。

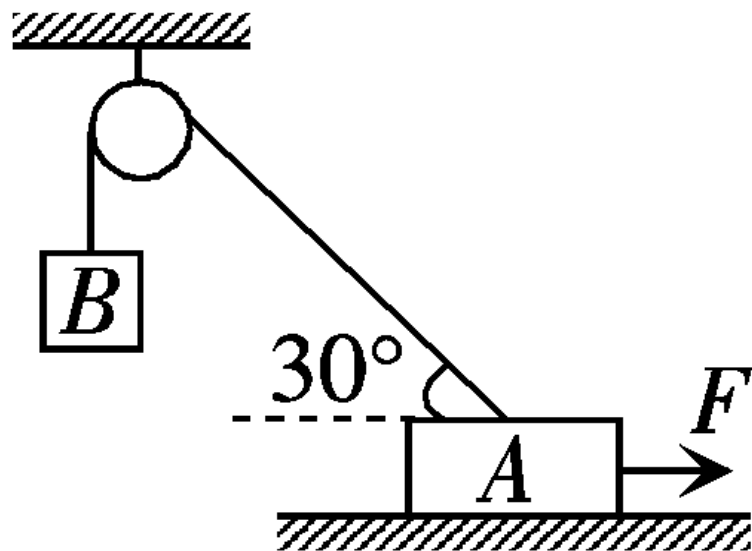


图 19-2 甲

解析

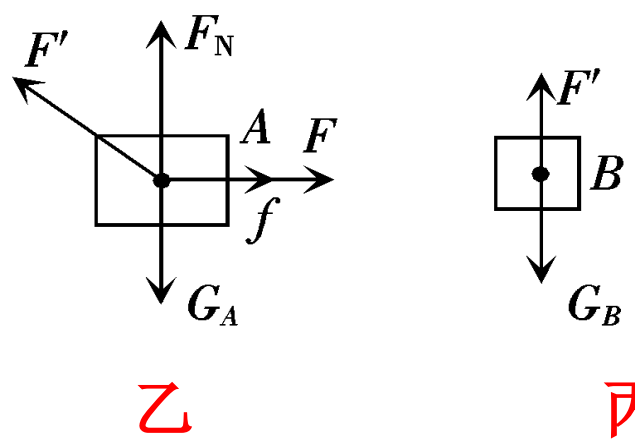


图 19-2

根据各种力的概念和物体处于平衡状态，全面分析物体受力情况。针对静摩擦力是被动力的特点，判断物体 A 所受静摩擦力的方向。物体 A、B 的受力情况如图 19 - 2 乙、丙所示，物体 A 和 B 均处于静止状态，它们所受合力均为零。物体 B 受重力 G_B 和拉力 F' ， $G_B = F' = 20\text{ N}$ 。物体 A 受重力 $G_A = 20\text{ N}$ ，水平拉力 $F = 12\text{ N}$ ，绳子拉力 $F' = 20\text{ N}$ ，水平面的支持力 $F_N = G_A - F'\sin 30^\circ = 10\text{ N}$ ， F' 水平分力为 $F'\cos 30^\circ = 17\text{ N}$ 。由于方向向左的 F' 水平分力比方向向右的水平拉力 F 大 5 N ，所以物体 A 还受到 5 N 的静摩擦力作用，其方向应该向右，即图 19 - 2 乙中的 f 为向右的静摩擦力。

课时 20 牛顿第一定律

课前导航

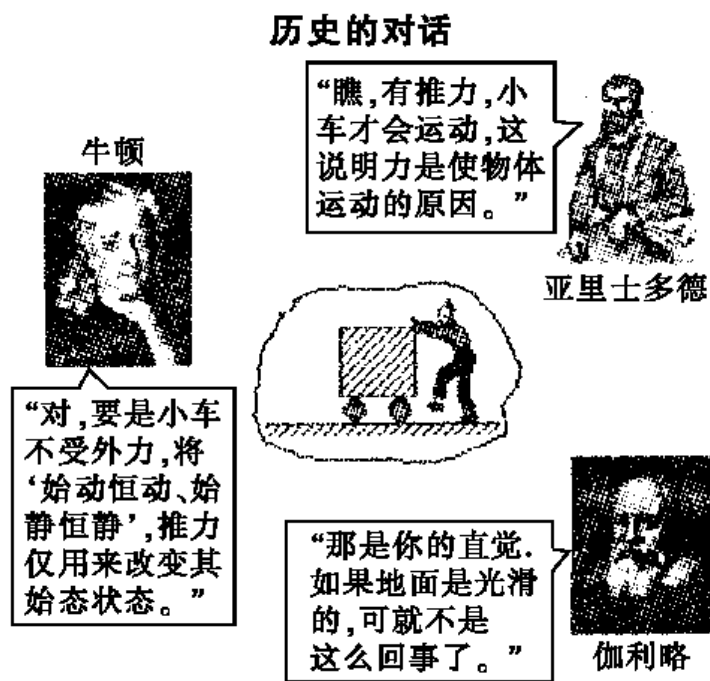


图 20-1

请你思考：

1. 亚里士多德认为力的作用是什么？
2. 伽利略认为“直觉”不可靠，主要忽视了什么？
3. 牛顿认为力的作用又是什么？

基础梳理

牛
顿
第
一
定
律

力和物体运动的关系(两种观点)

- 亚里士多德的观点：力是维持物体运动的原因。
- 伽利略的观点：水平面上做匀速运动的物体，并不需要力来维持。

牛顿第一定律：一切物体总保持匀速直线运动状态或静止状态，直到有外力迫使它改变这种状态为止。

- 不是一条实验定律。
- 提示了一切物体都具有惯性。
- 明确了力是改变物体运动状态的原因。

惯性：物体保持匀速直线运动状态或静止状态的性质叫惯性。

- 一切物体都具有惯性。
- 质量是物体惯性大小的唯一量度。
- 物体的惯性表现不是受到了力。

知识精析

一、力与物体运动状态变化的关系

1. 速度是描述物体运动状态的一个物理量，它是矢量，既有大小又有方向。

2. (1) 当物体的速度大小和方向都保持不变时，则这个物体的运动状态保持不变。

(2) 当物体的速度发生变化时，则这个物体的运动状态发生了变化。物体的运动状态变化有以下三种情况：

①速度的方向不变，只有大小改变。

②速度的大小不变，只有方向改变。

③速度的大小和方向都发生改变。

3. 力是改变物体运动状态的原因，不是维持物体运动状态的原因，物体运动状态发生改变必定受到了不为零的外力作用，反之亦然，力与运动状态没有必然的联系。

二、对牛顿第一定律的理解

1. 牛顿第一定律的意义在于正确揭示了力和运动的关系，纠正了力是维持物体运动的原因的错误观点，明确了力是改变物体运动状态的原因。

2. 揭示了物体都有保持原来的静止或匀速直线运动状态的性质——惯性。

3. 牛顿第一定律是由“理想实验”加以“科学推理”得到的。所谓“理想实验”就是在实际实验的基础上，根据实验现象，抓住问题的主要方面，忽略影响实验的次要因素，在理想情况下对实验进行合理外推从而得出结论的实验方法。

三、对惯性的理解

1. 概念：惯性是一种性质，保持原有运动状态不变的性质，是物体的固有属性。

2. 决定因素：由质量唯一决定，与运动状态无关，与是否受力无关。

3. 表现形式：

(1) 在不受力条件下，惯性表现出“保持”“原来的”运动状态，有“惰性”的意思。

(2) 在受力条件下，惯性表现运动状态改变的难易程度，质量越大，惯性越大，运动状态越难以改变。

四、惯性参考系和非惯性参考系

1. **惯性参考系**：保持静止状态或匀速直线运动状态的参考系。

2. **非惯性参考系**：做变速运动的参考系。

3. **牛顿第一定律仅适用于惯性参考系**。在研究物体运动时，一般选地面或相对地面静止或匀速直线运动的物体为参考系。

例如：(1) 火车沿平直轨道匀速运动时，可将火车看做惯性系来研究火车内其他物体的运动。

(2) 火车由静止加速启动时，如果以火车为参考系，原来静止在火车内水平光滑桌面上的物体会相对火车向后加速运动，但物体水平方向上并没有受力。因此牛顿第一定律不成立，火车为非惯性系。

方法指导

一、力和运动状态的关系

例 1 下列对运动的认识不正确的是 ()

A. 亚里士多德认为物体的自然状态是静止的, 只有当它受到力的作用才会运动

B. 伽利略认为力不是维持物体速度的原因

C. 牛顿认为力的真正效果是改变物体的速度, 而不仅仅是使之运动

D. 伽利略根据理想实验推论出, 如果没有摩擦, 在水平面上的物体, 一旦具有某一个速度, 将保持这个速度继续运动下去

解析 运动是物体的自然属性, 并不需要力来维持, 故选项 A 错误、B 正确; 力产生的效果是改变物体的运动状态, 即改变速度, 故选项 C 正确; 如果物体不受外力, 其运动状态不变, 即速度不变, 故选项 D 正确。

答案 A

二、对牛顿第一定律的理解和应用

例 2 关于牛顿第一定律，下列说法正确的是 ()

- A. 牛顿第一定律是实验定律
- B. 惯性定律与惯性的实质是相同的
- C. 在水平面上滑动的木块最终停下来，是由于没有外力维持木块运动
- D. 物体运动状态发生变化时，必定受到外力的作用

解析 牛顿第一定律是牛顿在总结前人经验和结论的基础上得出的，并不是由实验得出的定律，故选项 A 错误；惯性定律是说物体不受外力作用时所遵循的规律，而惯性是无论物体受不受力，物体总具有的一种性质，它们的实质不相同，故选项 B 错误；

水平面上滑动的木块最终停下来原因是木块在运动过程中受到摩擦阻力的作用，若无摩擦，物体将继续运动，不能说物体的运动必须有力维持，故选项 C 错误；由牛顿第一定律知，力是改变物体运动状态的原因，故选项 D 正确。

答案 D

点评 应用牛顿第一定律解题时，应牢牢抓住两点，一个是力改变物体的运动状态；另一个是惯性维持物体原有运动状态，是物体的固有属性。

变式训练 1

16 世纪末，伽利略用实验和推理，推翻了已在欧洲流行了近两千年的亚里士多德关于力和运动的理论，开启了物理学发展的新纪元。在以下说法中，与亚里士多德观点相反的是（ ）

A. 四匹马拉的车比两匹马拉的车跑得快；这说明，物体受的力越大，速度就越大

B. 一个运动的物体，如果不再受力了，它总会逐渐停下来，这说明，静止状态才是物体长时间不受力时的“自然状态”

C. 两物体从同一高度自由下落，较重的物体下落较快

D. 一个物体维持匀速直线运动，不需要受力

解析 亚里士多德认为物体受的力越大，速度就越大，力是维持物体运动的原因，静止是不受力的自然状态；从同一高度重物下落得较快。物体匀速直线运动不需要受力与亚里士多德的观点相反，所以选项 D 正确。

答案 D



三、惯性概念

例 3 火车在长直水平轨道上匀速行驶，车厢内有一人向上跳起，发现仍落回到车上原处，这是因为（ ）

A. 人跳起时会受到一个向前的冲力，使他随火车一起向前运动

B. 人跳起的瞬间，车厢的地板给他一个向前的力，推动他随火车一起向前运动

C. 人跳起后，车继续前进，所以人落下后必定偏后一些，只是由于时间很短，偏后的距离很小，不明显而已

D. 人从跳起到落回地板，由于惯性，在水平方向上人和车始终具有相同的速度

解析 人跳起后落回原地的现象是由于惯性造成的，人跳起后，在水平方向上合外力为零，由于惯性，人将保持原来和车一样的水平速度，下落时，定会落回原处，故选项 D 正确。

答案 D



变式训练 2

若行驶中的火车上的乘客，发现放在桌面上的水杯突然向前滑动了，则说明火车正在加速、减速，还是匀速运动？

解析 当火车减速时，由于惯性，桌面上的水杯仍具有原来的速度，所以相对桌面向前滑动了，因此，水杯向前滑动，能说明火车做减速运动。

答案 火车正在做减速运动

互动平台

育才老师与细心同学关于乘车系安全带的对话

育才：我国《交通法》规定：各种小型车辆前排乘坐的人（包括司机）必须系好安全带，你知道为什么要这样规定吗？

细心：这是为了保障前排乘坐人的安全。因为在行车过程中，若发生意外情况需紧急刹车或车辆发生碰撞时，如果前排乘坐的人没有系好安全带，则由于惯性他们要保持原来的速度与挡风玻璃（或方向盘）相撞，会造成人身伤害。倘若系好安全带就可以有效减轻甚至避免人身伤害了。

粗心同学与细心同学关于汽车超载现象的对话

粗心：昨天傍晚回家路上，又看见交警叔叔在严查车辆超载现象。

细心：可不是吗，车辆超载后果严重着呢！据有关部门统计表明，30%左右的车祸根源就是超载。

粗心：我想超载也没关系，只要不超速就行了。

细心：这你就不懂了，车辆超载后相当于增大了物体的质量，这样其惯性也就增大了，所以超载的车辆其运动状态相对难改变，一旦遇到意外情况时，就很难停下来，后果不堪设想。

粗心：原来如此，我又长见识了！

课时 21 实验：探究加速度与力、质量的关系

课前导航

图 21-1 所示是超市中常用的手推车。我们要用同样大小的力推动它，空车时容易还是装满货物时容易？由此，我们能得出什么结论呢？



图 21-1

在水平面上用大小不同的力去推动同一辆小车，用力大，则小车运动的距离就大；用力小，则小车运动的距离就小。那么物体被加速与什么因素有关呢？我们又能得出什么结论呢？

基础梳理

探究
加速
度与
力、质
量的
关系

探究加速度与力的关系时,应保持物体的质量不变,测量物体在不同的力的作用下的加速度;探究加速度与质量的关系时,应保持物体所受的力相同,测量不同质量的物体在该力作用下的加速度.

利用公式 $a = \frac{2x}{t^2}$ 测量加速度时,小车必须做初速度为零的匀加速直线运动,测出在相等时间内发生的位移,位移之比就是加速度之比.

加速度与力、质量的关系:物体产生的加速度跟所受作用力成正比,跟物体质量成反比.

知识精析

一、控制变量法

1. 加速度是表示物体运动状态变化快慢的物理量。根据事实经验，加速度与物体的质量有关。物体受力一定时，质量越小，加速度就越大。加速度还与物体受力的大小有关，物体质量一定时，受力越大，其加速度越大。

2. 控制变量法：加速度 a 和质量 m 、受力 F 都有关系。研究它们之间的关系时，先保持质量不变，测量物体在不同的力的作用下的加速度，分析加速度与力的关系，再保持物体所受的力相同，测量不同质量的物体在该力作用下的加速度，分析加速度与质量的关系。这种先控制一个参量不变，研究其余参量之间变化关系的方法叫控制变量法

二、物体运动的加速度的求法

1. 在物体后安装一条纸带，通过分析打点计时器在纸带上打下的一系列点，根据 $\Delta x = aT^2$ 求出物体运动的加速度。

2. 根据初速度为零的匀加速运动的规律 $x = \frac{1}{2}at^2$ 求加速度，或让两个物体同时由静止开始做匀加速运动，经过同样的时间再让两物体同时停止运动，量出两物体的位移 x_1 、 x_2 ，则： $\frac{x_1}{x_2} = \frac{a_1}{a_2}$ 。

三、平衡摩擦力的目的和方法

1. 目的：实验中小车要受到摩擦阻力的作用，增加了实验的难度。垫高水平木板不带滑轮的一端，使小车自身重力沿斜面的分力平衡摩擦力，这样小车所受拉力即为合力，提高了实验成功率。

2. 方法：不挂托盘，使小车拖着纸带，纸带通过打点计时器，并且使打点计时器处于工作状态，逐渐调节木板的倾角，使打下的纸带点间距相等，则说明小车做匀速直线运动，即平衡了摩擦力。

四、实验注意事项

1. 平衡摩擦力时不要挂重物，整个实验平衡了摩擦力后，不管以后是改变盘和砝码的质量还是改变小车及砝码的质量，都不需要重新平衡摩擦力。

2. 实验中必须满足小车和砝码的质量远大于小盘和砝码的总质量。只有如此，砝码和小盘的总重力才可视为与小车受到的拉力相等。

3. 各纸带上的加速度 a ，都应是该纸带上的平均加速度。

4. 作图象时，要使尽可能多的点在所作直线上，不在直线上的点应尽可能对称分布在所作直线两侧。离直线较远的点是错误数据，可舍去不予考虑。

5. 小车应靠近打点计时器且先接通电源再放手。

五、误差分析

1. 质量的测量误差、纸带上打点计时器打点间隔距离的测量误差，拉线或纸带不与木板平行等都会造成误差。

2. 因实验原理不完善造成误差：本实验中用小盘及砝码的总重力代替小车受到的拉力（实际上小车受到的拉力要小于小盘及砝码的总重力），存在系统误差。小盘及砝码的总质量越接近小车的质量，误差就越大；反之，小盘及砝码的总质量越小于小车的质量，误差就越小。

3. 平衡摩擦力不准造成误差：在平衡摩擦力时，除了不挂小盘外，其他的都跟正式实验一样（比如要挂好纸带、接通打点计时器），匀速运动的标志是打点计时器打出的纸带上点的距离相等。

方法指导

一、探究加速度与质量的关系

例 1 某同学在实验中保持拉力不变，得到了小车加速度随质量变化的一组数据，如下表所示。

实验次数	加速度 $a/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	小车与砝码 总质量 m/kg	小车与砝码 总质量的倒数 m^{-1}/kg^{-1}
1	0.29	0.20	5.0
2	0.25	0.25	4.0
3	0.22	0.30	3.3
4	0.18	0.35	2.9
5	0.16	0.40	2.5

请在图 21 - 2 甲方格纸中建立合适坐标系并画出能直观反映出加速度与质量关系的图线.

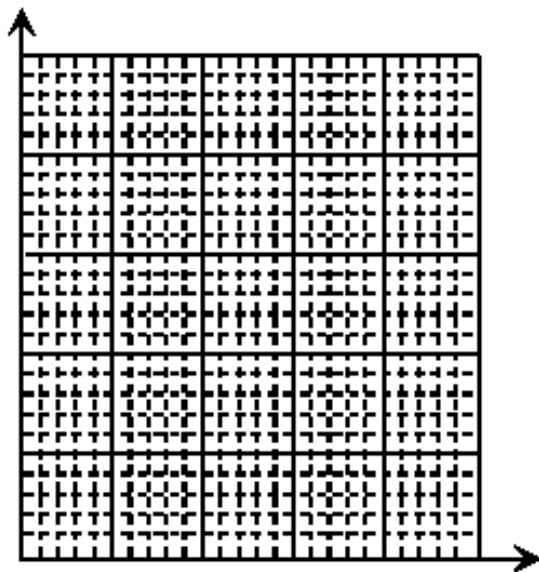


图 21-2 甲

解析 先确定坐标的含意，再按表格数据描点，最后把各点连成直线.

“ a 与 m 成反比”实际上就是“ a 与 $\frac{1}{m}$ 成正比”，以 a 为纵坐标，以 $\frac{1}{m}$ 为横坐标建立坐标系，选取适当的标度，描出坐标点，连线得到图象如图 21-2 乙所示。

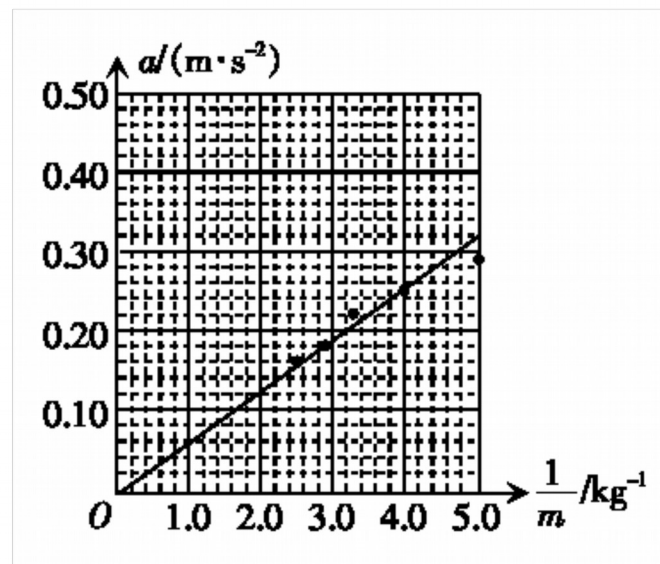


图 21-2 乙

二、探究加速度与力的关系

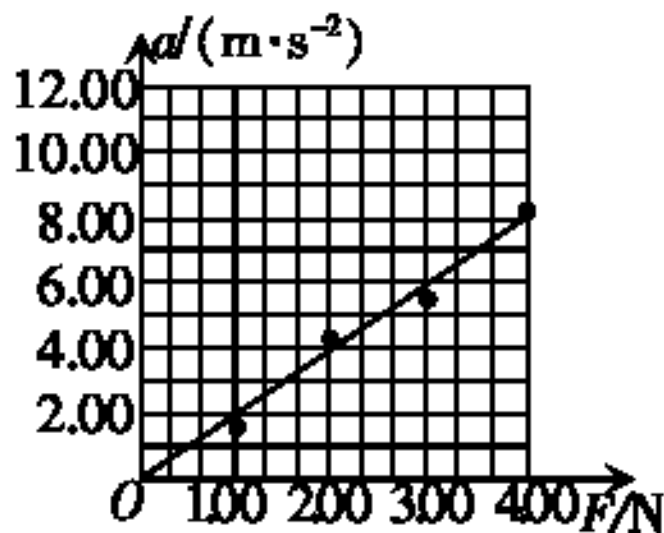
在“探究加速度与力、质量的关系”的实验中，若测得某一物体 M 一定时， a 与 F 的关系的有关数据资料如下表。

$a/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	1.98	4.06	5.95	8.12
F/N	1.00	2.00	3.00	4.00

- (1) 根据表中数据，画出 $a - F$ 图象。
- (2) 从图象可以判定：当 M 一定时， a 与 F 的关系为

若 a 与 F 成正比，图象应是一条过原点的直线。同时因实验中不可避免地出现误差，描出的点不在一条直线上是很正常的，连线时应使直线过尽量多的点，不在直线上的点应大致对称分布在直线两侧，离直线较远的点应视为错误数据，不予考虑。

(1) $a - F$ 图象如图所示.



(2) 由图可知 a 与 F 成正比关系.

答案 (1) 如图所示 (2) 正比关系

点评 因为 a 与 F 成正比, 所以尽量把图线画成通过原点, 直线的斜率表示物体质量的倒数.

变式训练 1

某同学在做“探究加速度与力、质量的关系”的实验时，画出了如图 21-3 甲所示的三条图线，这三条图线表示实验中的 _____ 不同。

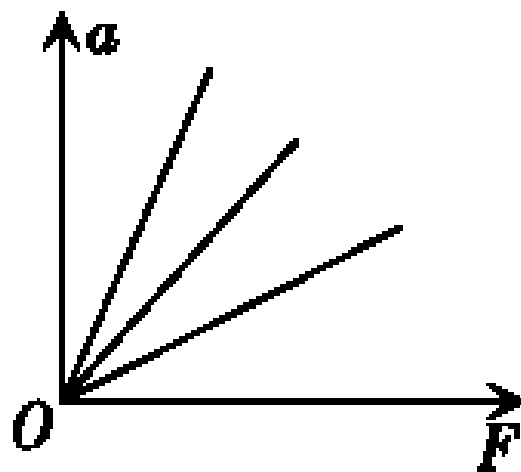


图 21-3 甲

解析 如图 21-3 乙所示, 过 F 轴上的某一点作一条平行于 a 轴的直线, 与三条图线有三个交点, 可以看出三个交点对应的纵坐标 a 的值不同, a 的值越小, 运动状态越难改变, 惯性越大, 质量也就越大, 可见三条图线对应实验中物体的质量不同, 且斜率越小的, 质量越大.

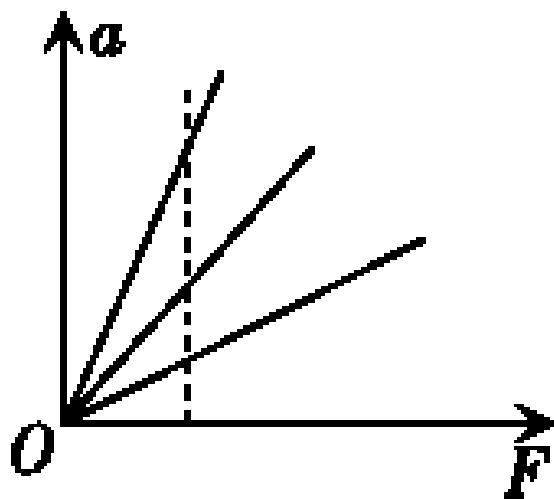


图 21-3 乙

答案 小车的质量

三、实验误差分析

例 3 用图 21 - 4 甲所示的装置研究质量一定时加速度与作用力的关系。研究的对象是放在长木板上的小车，小车的质量为 M ，长木板是水平放置的。小车前端拴着细轻绳，跨过定滑轮，下面吊着沙桶。实验中认为细绳对小车的作用力 F 等于沙和桶的总重力 mg 。用改变沙的质量的办法来改变小车的作用力 F ，用打点计时器测出小车的加速度 a ，得出若干组 F 和 a 的数据。然后根据测得的数据作出 $a - F$ 图线。

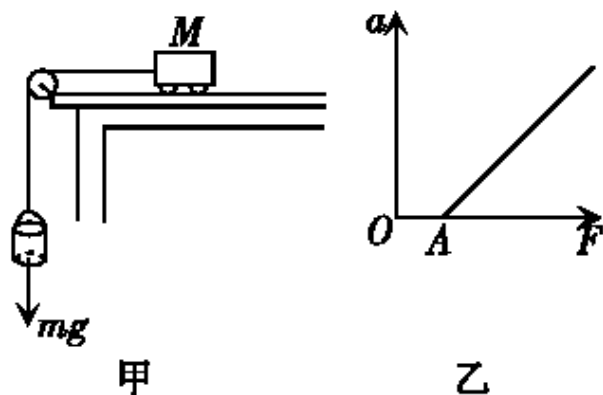


图 21-4

一学生作出图 21-4 乙所示的图线，发现横轴上的截距 OA 较大，明显地超出了偶然误差的范围，这是由于在实验中没有进行下面的步骤，即

解析 细绳对小车的拉力 F 达到一定的数值前，小车仍静止，表示木板的摩擦力不能忽略，同时也表明该同学做实验时，没有给实验装置平衡摩擦力。

答案 给实验装置平衡摩擦力

变式训练 2

如果此学生根据测得的数据作出的 $a - F$ 图线如图 21-5 所示，则：

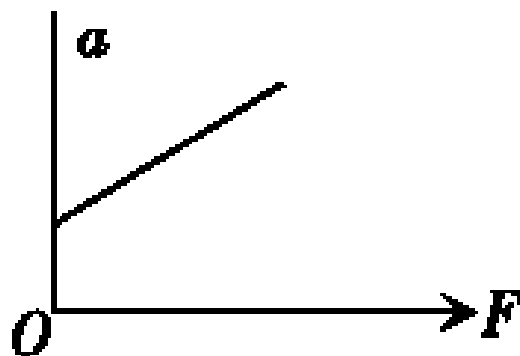


图 21-5

(1) 实验中出现误差的原因是什么？

答

:

(2) 应该怎样处理这种情况？

答 ：

解析 当力 F 为零时，加速度不为零，就说明当力为零时，小车仍在长木板上向下加速，其原因就是平衡摩擦力时长木板倾角过大，使得小车的重力沿斜面向下的分力大于小车所受滑动摩擦力，所以应重新调整木板，平衡摩擦力。

答案 (1) 平衡摩擦力时，长木板的倾角过大

(2) 减小长木板的倾角，重新平衡摩擦力

四、实验注意事项

例 4 在“探究加速度与力、质量的关系”的实验中，当作用力一定时（悬挂的重物或沙桶重力不变），探索加速度与质量的关系时，下列说法正确的是（ ）

A. 平衡摩擦力时，应将装沙的小桶用细绳通过定滑轮系在小车上

B. 每次改变小车质量时，不需要重新平衡摩擦力

C. 实验时，先放开小车，再接通打点计时器的电源

D. 小车运动的加速度可用天平测出小车的质量 M 和沙及沙桶的质量 m ，直接用公式 $a = \frac{m}{M}g$ 求出

解析 在平衡摩擦力时，不应将装沙的小桶通过定滑轮连在小车上，而是在木板后端垫上适应厚度的薄片，再观察小车能在木板上带着纸带匀速下滑即可，故选项 A 错误，B 正确；操作时应先接通打点计时器的电源再放开小车，故选项 C 错误；牛顿第二定律是本实验要达到的目标，不能把它作为理论根据来计算加速度，其加速度只能从纸带提供的数据计算得出，故选项 D 错误。

答案 B

互动平台

育才老师教你探索问题

在《新课程标准》中，科学探究是同学们重要的学习目标，对科学探究能力的要求大致表现在以下几个方面：

(1) 提出问题

能从日常生活、自然现象或实验观察中发现与物理学有关的问题，并能表述这些问题，树立发现问题比解决问题更重要的观念。

(2) 猜想与假设

根据经验和已有的知识对问题的成因提出猜想；对探究方向和可能出现的实验结果进行推测与假设。

(3) 制定计划与设计实验

明确探究目的和已有条件，能设计实验过程并选择所需器材；尝试影响问题的主要因素，有控制变量的初步意识。

(4) 进行实验与收集证据

能通过实验和观察收集证据，通过信息资源收集资料，尝试评估有关数据、资料的科学性；能按说明正确使用简单的仪器，具有安全操作的意识。

(5) 分析与论证

能初步描述实验数据或有关信息，能对收集的信息进行简单的比较，能进行因果推理，能对探究结果进行描述和解释。

(6) 评估

有评估探究过程和结果的意识，注意假设与探究结果间的差异，注意探究过程中未解决的矛盾及发现的新问题，进一步改进探究方案，树立吸收经验教训的意识。

(7) 交流与合作

能写出探究报告且能准确表达自己的观点和意识，有团队精神，合作中既注意坚持原则又尊重他人，能思考别人的意见，改进自己的探究方案。

课时 22 牛顿第二定律

课前导航

“螳臂当车”

《庄子·人间世》：“汝不知夫螳螂乎，怒其臂以当车辙，不知其不胜任也。”

请你思考：

螳臂挡车辙的力能否使车产生加速度？若能，该加速度又有多大？对车的运动状态影响如何？

基础梳理

牛 顿 第 二 定 律

牛顿第二定律：物体的加速度跟作用力成正比，跟物体的质量成反比，加速度的方向跟合外力的方向相同。

在国际单位制中，力的单位是根据牛顿第二定律定义的。

1 N 等于质量为1 kg 的物体，获得1 m/s² 的加速度时，受到的合力。在国际单位制中，公式 $F=kma$ 中的比例系数 k 为1，因此，牛顿第二定律的数学表达式为 $F=ma$ 。

应用公式 $F=ma$ 进行计算时， F 、 m 、 a 的单位必须统一为国际单位。

知识精析

一、牛顿第二定律的理解

1. 对牛顿第二定律“五性”的理解

(1)“瞬时性”：牛顿第二定律表明了物体的加速度与物体所受合外力的瞬时对应关系。 a 为某一瞬时的加速度， F 即为该时刻物体所受的合外力。

(2)“矢量性”：公式 $F = ma$ 是矢量式，任一瞬时， a 的方向均与合外力方向相同。

(3)“同一性”：一是指加速度 a 相对于同一个惯性系；二是指式中 F 、 m 、 a 三量必须对应同一个物体或同一个系统。

(4)“同时性”：牛顿第二定律中 F 、 a 只有因果关系而没有先后之分。 F 发生变化， a 同时变化，包括大小和方向。

(5)“独立性”：若 a 为物体的实际加速度，则 F 必为物体受到的合外力，而作用于物体上的每一个力各自产生的加速度也都遵循牛顿第二定律，与其他力无关，而物体实际的加速度则是每个力产生的加速度的矢量和。



2. m 与 F 和 a 的关系

物体的质量与物体所受的力和物体的加速度无关，我们不能根据 $m = \frac{F}{a}$ 得出 $m \propto F$ ， $m \propto \frac{1}{a}$ 的结论。我们可以这样理解公式 $m = \frac{F}{a}$ ：物体的质量 m 在数值上总等于作用在物体上的外力 F 与物体所产生的加速度 a 之比。

3. 对公式 $G = mg$ 的理解

(1) 在初中学过重力与质量的关系式 $G = mg$ ，当时指出 $g = 9.8 \text{ N/kg}$ 。

(2) 在自由落体运动中又学了 g 为重力加速度，大小为 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 。

(3) 通过学习本章的牛顿第二定律，对公式 $G = mg$ 有了更进一步的理解： g 是由于地面上的物体受重力而产生的加速度。

二、牛顿第一、二定律综合理解

1. 牛顿第一定律并不是牛顿第二定律 $F_{\text{合}} = 0$ 时的特殊情形，因为牛顿第一定律所描述的是物体不受外力的运动状态，是一种理想情况。

2. 牛顿第一定律是牛顿第二定律的基础，第一定律指出了力和运动的关系：力是改变物体运动状态的原因，从而完善了力的内涵；而第二定律则进一步定量地给出了决定物体加速度的因素。

3. 要研究物体在力的作用下做什么运动，必须知道物体在不受力的情况下处于怎样的运动状态，所以牛顿第一定律是研究力学的出发点，是不能用牛顿第二定律来代替的。

三、牛顿第二定律的应用

1. 用牛顿第二定律解题的一般步骤

(1) 认真分析题意，明确已知条件和所求量。

(2) 选取研究对象。所选取的研究对象可以是一个物体，也可以是几个物体组成的整体。同一题目，根据题意和解题需要也可以先后选取不同的研究对象。

(3) 分析研究对象的受力情况和运动情况。画好受力图，指出物体的运动状态。

(4) 选正方向或建立坐标系，通常以加速度的方向为正方向或以加速度的方向为某一坐标轴的正方向。

(5) 求合外力。

(6) 根据牛顿第二定律列方程求解，必要时还要对结果进行讨论，对于不切实际、不合理的解要舍去。

2. 运用牛顿第二定律结合力的正交分解法解题.

(1) 正交分解法是把一个矢量分解在两个互相垂直的坐标轴上的方法，其实质是将复杂的矢量运算转化为简单的代数运算。

表示方法：

$$\begin{cases} F_x = F_{x1} + F_{x2} + F_{x3} + \cdots = ma_x \\ F_y = F_{y1} + F_{y2} + F_{y3} + \cdots = ma_y \end{cases}$$

(2) 为减少矢量的分解，建立坐标系时，确定 x 轴正方向有两种方法：

① 分解力而不分解加速度

通常以加速度 a 的方向为 x 轴正方向，把力分解到坐标轴上，分别求合力： $F_x = ma$ ， $F_y = 0$ 。

② 分解加速度而不分解力

若分解的力太多，比较烦琐，可根据物体受力情况，使尽可能多的力位于两坐标轴上而分解加速度 a ，得 a_x 和 a_y ，根据牛顿第二定律得方程组 $F_x = ma_x$ ， $F_y = ma_y$ 。

方法指导

一、力与运动关系的理解

例 1 如图 22-1 所示，轻弹簧一端固定，另一端自由伸长时恰好到达 O 点，将质量为 m (视为质点) 的物体 P 与弹簧连接，并将弹簧压缩到 A 由静止释放物体后，物体将沿水平面运动。若物体与水平面的摩擦力不能忽略，则关于物体运动的下列说法中正确的是 ()

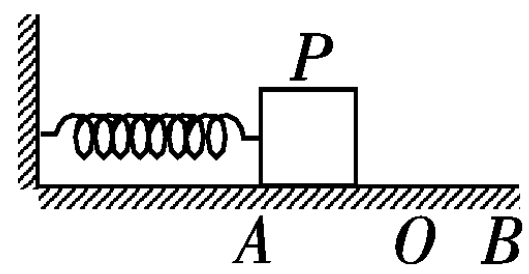


图 22-1

- A. 从 A 到 O 速度不断增大，从 O 到 B 速度不断减小
- B. 从 A 到 O 速度先增大后减小，从 O 到 B 速度不断减小
- C. 从 A 到 O 加速度先减小后增大，从 O 到 B 加速度不断增大
- D. 从 A 到 O 加速度不断减小，从 O 到 B 加速度不断增大

解析 设物体与水平面的动摩擦因数为 μ ，分析物体受力情况可知从 A 到 O 的过程中，弹簧对物体的弹力 kx 向右，摩擦力 μmg 向左，取向右为正方向，由牛顿第二定律可得： $kx - \mu mg = ma$ ，开始阶段， $kx > \mu mg$ ，物体 P 向右加速，但 a 随 x 的减小而减小，当 $kx = \mu mg$ 时，加速度 $a = 0$ ，此后 a 随 x 的减小而反向增大，因 a 与速度反向，物体 P 的速度减小；物体 P 由 O 到 B 的过程，弹簧处于伸长状态，弹簧对物体的弹力方向向左，摩擦力 μmg 也向左，取向左为正方向，有： $kx + \mu mg = ma$ ， a 随 x 的增大而增大，故此过程 a 与 v 反向，物体的速度不断减小。综上所述选项 B 、 C 正确。

答案 BC

点评 (1) 物体运动的加速度变化情况，由物体的合

外力变化来确定，只要分析物体受力情况，确定了合外力

的变化规律，即可由牛顿第二定律确定加速度的变化规律

.

(2) 物体速度的变化由物体的加速度决定。速度与加

速度同向，速度增加；速度与加速度反向，速度减小。

变式训练 1

如图 22-2 所示，自由下落的小球，从它接触竖直放置的弹簧开始，到弹簧压缩到最大限度的过程中，小球的速度和加速度的变化情况是 ()

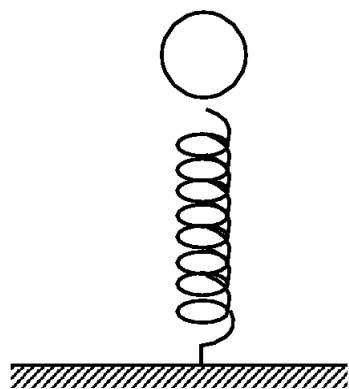


图 22-2

- A. 加速度变大，速度变小
- B. 加速度变小，速度变大
- C. 加速度先变小后变大，速度先变大后变小
- D. 加速度先变小后变大，速度先变小后变大

解析 小球与弹簧刚接触时的速度竖直向下，刚开始阶段，弹簧弹力较小， $mg - kx = ma$ ， a 向下，随弹簧压缩量 x 的增大而减小，因 a 、 v 同向，速度增大，当 $mg = kx$ 以后，随着 x 的增大，弹力大于重力，合外力向上，加速度向上，小球的加速度与速度的方向相反，小球做减速运动，直到弹簧的压缩量最大。综上所述，选项 C 正确。

答案 C

二、牛顿第二定律的瞬时性

例 2 如图 22-3 甲所示，天花板上用细绳吊起两个用轻弹簧相连的质量相同的小球。两小球均保持静止。当突然剪断细绳时，上面小球 A 与下面小球 B 的加速度为 ()

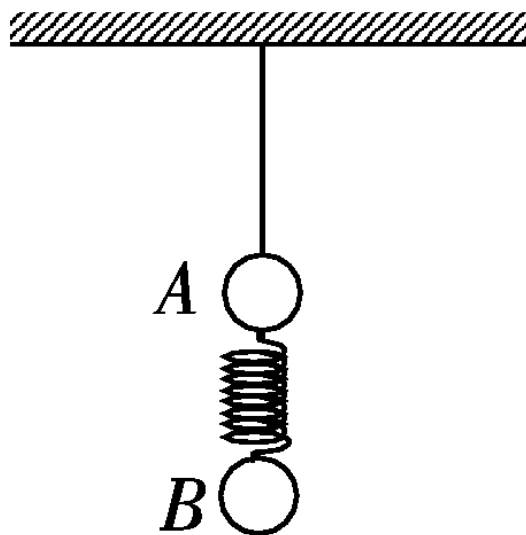


图 22-3 甲

A . $a_A = g$, $a_B = g$

B . $a_A = g$

, $a_B = 0$

解析 牛顿第二定律反映的是力和加速度的瞬时对应关系，合外力不变，加速度不变，合外力改变，则加速度也瞬间改变，分析某瞬间物体的受力情况，求出合外力，即可得出物体某瞬间的加速度。

剪断细绳之前设弹簧弹力大小为 F ，对 A 、 B 两球在断线前分别受力分析如图 22 - 3 乙所示。

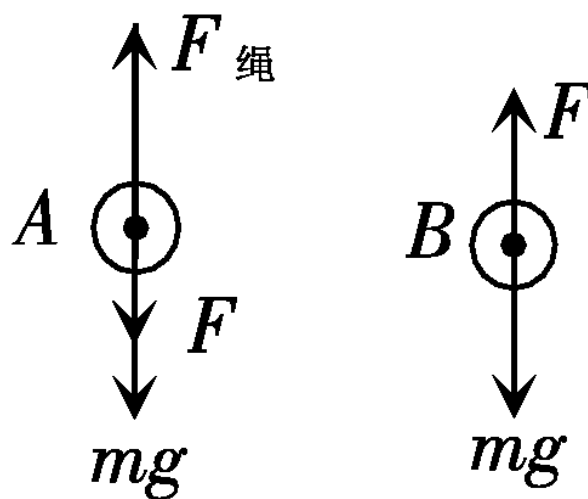


图 22 - 3 乙

由二力平衡可得：

$$F = mg, \quad F_{\text{绳}} = mg + F = 2mg$$

剪断细绳瞬间，细绳拉力 F 绳瞬间消失，而弹簧的弹力 F 瞬间不发生变化（时间极短，两球没来得及运动），此时对 A 、 B 分别用牛顿第二定律（取竖直向下为正方向）有：

$$mg + F = ma_A, \quad mg - F = ma_B,$$

可得： $a_A = 2g$ ，方向竖直向下， $a_B = 0$ ，所以选项

C 正确。

三、连接体问题

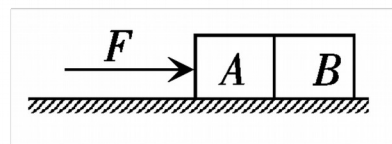


图 22-4 甲

例 3 两个物体 A 和 B ，质量分别为 m_1 和 m_2 ，互相接触放在光滑水平面上，如图 22-4 甲所示，对物体 A 施以水平的推力 F ，则物体 A 对 B 的作用力等于()

A. $\frac{m_1}{m_1 + m_2} F$

B. $\frac{m_2}{m_1 + m_2} F$

C. F

D. $\frac{m_1}{m_2} F$

解析 首先确定研究对象，先选整体，求出 A 、 B 共同的加速度，再单独研究 B ， B 在 A 施加的弹力作用下加速运动，根据牛顿第二定律列方程求解。

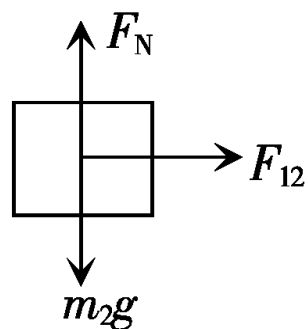


图 22-4 乙

将 m_1 、 m_2 看做一个整体，其合外力为 F ，由牛顿第二定律知， $F = (m_1 + m_2)a$ ，再以 m_2 为研究对象，受力分析如图 22 - 4 乙所示，由牛顿第二定律可得：

$$F_{12} = m_2 a, \text{ 以上两式联立可得:}$$

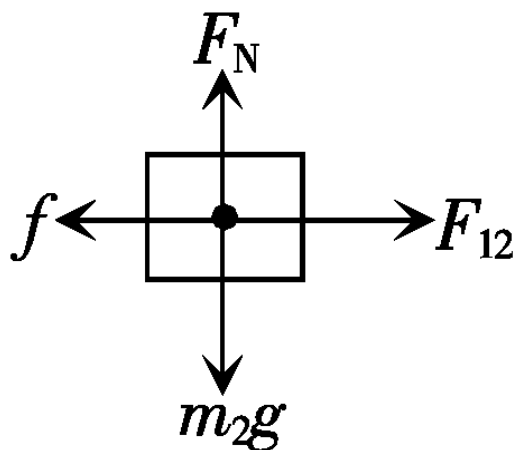
$$F_{12} = \frac{m_2 F}{m_1 + m_2}, \text{ 选项 B 正确.}$$

答案 B

变式训练 2

(1) 例 3 中，若两个物体与地面间的滑动摩擦因数均为 μ ，其他条件不变，则物体 A 对 B 的作用力为多大？（两物体仍做加速运动）

(2) 例 3 中的两个物体，放在光滑的倾角为 θ 的斜面上，用力 F 推着向上加速运动，则物体 A 对 B 的作用力多大？



甲

解析 (1) 将 m_1 、 m_2 看做一个整体，由牛顿第二定

律得：

$$F - \mu(m_1 + m_2)g = (m_1 + m_2)a$$

再以 m_2 为研究对象，分析受力如图甲所示，由牛顿第

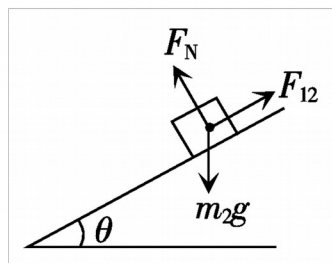
二定律得：

$$F_{12} - \mu m_2 g = m_2 a$$

联立解得：
$$F_{12} = \frac{m_2}{m_1 + m_2} F.$$

(2)将 m_1 、 m_2 看做一个整体，由牛顿第二定律知：

$$F - (m_1 + m_2)g \sin \theta = (m_1 + m_2)a$$



乙

再以 m_2 为研究对象，分析受力如图乙所示，由牛顿第二定律得： $F_{12} - m_2g \sin \theta = m_2a$

$$\text{联立解得： } F_{12} = \frac{m_2}{m_1 + m_2} F.$$

答案 (1) $\frac{m_2}{m_1 + m_2} F$ (2) $\frac{m_2}{m_1 + m_2} F$

互动平台

育才老师与细心同学关于“螳臂当车”的对话

细心：老师，我现在知道了“螳臂当车”的物理原理

育才：那你说说。

细心：螳螂挡车辙的力能使车产生一个相应的加速度，但由于力很小，而车的质量又很大，所以根据牛顿第二定律 $a = \frac{F}{m}$ 可知，这个力产生的加速度很小，对小车运动几乎不产生影响。因此，螳螂尽管使出了全力，甚至不惜以牺牲生命为代价，但还是丝毫未能改变车的运动状态。

育才：看来你还真知道了不少！

粗心同学与细心同学关于“推车不动”的对话

粗心：我能提起 80 kg 的物体，说明我的力约为 800 N，可我去推一辆停着的小汽车却推不动它。若按牛顿第二定律 $a = \frac{F}{m}$ 计算的话，这个推力产生的加速度也不算很小，这又该如何解释呢？

细心：看你还真粗心呢！你的推力产生的加速度是不算很小，但汽车同时还受到一个等值、反向的静摩擦力，它可也要产生加速度，因此汽车能否运动应看合加速度。

粗心：明白了，虽然每一力都能各自独立产生加速度，但几个力同时作用在一个物体上时，表现出来的应是合外力的加速度（或者是每个力产生的加速度的合成）。看来思考问题还真要向你学习！

课时 23 力学单位制

课前导航

究竟哪一个是加速度的国际单位

由加速度的定义式 $a = \frac{v}{t}$ 可知，当速度单位是 m/s ，时间单位是 s 时，加速度的单位是 m/s^2 。

根据牛顿第二定律的公式 $F = ma$ 可知，当质量单位是 kg ，力的单位是 N 时，加速度的单位是 N/kg 。

请你思考：

加速度的这两个单位中，究竟哪一个才是它的国际单位呢？

基础梳理

力学 单位 制

在物理学中,选定几个物理量的单位,就能够利用物理量之间的关系推导出其他物理量的单位,这些被选定的物理量叫做基本量,它们的单位叫做基本单位.

由基本量根据物理关系推导出来的其他物理量的单位叫做导出单位.

基本单位和导出单位一起组成了单位制.

在力学范围内,国际单位制规定长度、质量、时间为三个基本量,它们以单位米(m)、千克(kg)、秒(s)为基本单位.

知识精析

一、力学单位制分类

1. 选定基本原则

(1) 在力学中有最基本的地位.

(2) 可使基本单位的数目最少.

因为力学研究物体在运动变化过程中力与运动的关系，因此联系物体自身属性的量（质量）和反映空间尺度的量（长度）以及时间，必然与物体受力后的运动变化联系得最密切、最普遍，所以这三个物理量是最基本的物理量。事实也表明，用这三个量作基本单位，可使力学的单位数目最少，所以在力学中规定 m 、 kg 、 s 为国际单位制的基本单位。

2. 力学中的单位制分类

(1) 国际单位制：基本单位为 m、kg、s(长度单位、质量单位、时间单位；导出单位为 m/s、m/s²、N 等)，

比较如下表。

基本量及其单位		导出量及其单位	
基本量	基本单位	导出量	导出单位
长度	米(m)	速度($v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$)	米/秒(m/s)
质量	千克(kg)	加速度($a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$)	米/秒 ² (m/s ²)
时间	秒(s)	力($F = ma$)	牛顿(N)

(2) 厘米、克、秒制：基本单位为 cm、g、s，导出单位为 cm/s、cm/s²，达因等 (1 达因 = 10⁻⁵N)。

二、单位制的意义

1. 对一个物理量进行定量描述，仅仅用一个数是不够的，一定要在数后带有单位，同一个物理量，选用不同单位其值不同。

2. 在人与人的交往过程中，没有统一的单位，给人们的相互交流带来很多不便，不容易对某一事物形成统一认识。

3. 在利用物理方式进行运算时，为了在代入数据时不致使表达式过于繁杂，我们要把各个量换算到同一单位制中，这样计算时就不必一一写出各量的单位，只要在所求结果后写上对应的单位即可。

方法指导

一、区别基本单位、导出单位、国际单位

例 1 现有下列物理量或单位，按下面的要求填空。

(只填代号)

A. 力

B. 米 / 秒

C. 牛顿

D. 加速度

E. 质量

F. 秒

G. 厘米

H. 长度

I. 时间

J. 千克

K. 米

(1) 属于物理量的是 _____。

(2) 在国际单位制中，其单位作为基本单位的物理量有 _____。

(3) 在国际单位中属于基本单位的是 _____，属于导出单位的是 _____。

答案 (1)A、D、E、H、I (2)E、H、I

(3)F、J、K B、C

二、单位制在物理计算中的应用

例 2 在研究匀变速直线运动的实验中，取计数时间间隔为 0.1 s ，测得相邻相等时间间隔的位移差的平均值 $\Delta x = 1.2\text{ cm}$ ，若还测出小车的质量为 500 g ，则关于加速度、合外力大小及单位，既正确又符合一般运算要求的是()

A. $a = \frac{1.2}{0.1^2} \text{m/s}^2 = 120\text{ m/s}^2$

B. $a = \frac{1.2 \times 10^{-2}}{0.1^2} \text{m/s}^2 = 1.2\text{ m/s}^2$

C. $F = 500 \times 1.2\text{ N} = 600\text{ N}$

D. $F = 0.5 \times 1.2\text{ N} = 0.60\text{ N}$

变式训练

一物块在 2 N 恒力作用下, 产生 10 cm/s^2 的加速度, 在求物体质量的以下计算中运算正确、简洁而又规范的是()

A. $m = \frac{F}{a} = \frac{2}{10} \text{ kg} = 0.2 \text{ kg}$

B. $m = \frac{F}{a} = \frac{2 \text{ N}}{0.1 \text{ m/s}^2} = 20 \frac{\text{kg} \cdot \text{m/s}^2}{\text{m/s}^2} = 20 \text{ kg}$

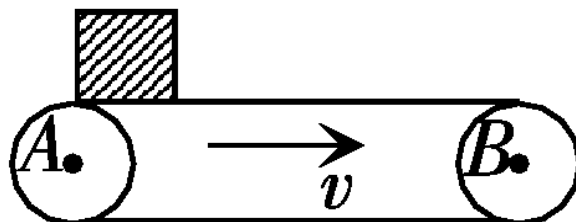
C. $m = \frac{F}{a} = \frac{2}{0.1} \text{ kg} = 20 \text{ kg}$

D. $m = \frac{F}{a} = \frac{2}{0.1} = 20$

解析 选项 A 中 a 没换算单位; 选项 D 中没有在最后数字后面写出单位, 选项 B 运算正确, 但不简洁, 所以只有选项 C 符合要求.

答案 C

三、单位制的综合应用



例 3 水平传送带 AB 以 $v = 200 \text{ cm/s}$ 的速度匀速运动，如图所示， A 、 B 相距 0.011 km ，一物体（可视为质点）从 A 点由静止释放，物体与传送带间的动摩擦因数 $\mu = 0.2$ 。则物体从 A 沿传送带运动到 B 所需的时间为 _____ s。（取 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ）

分析 传送带匀速运动，当物体在 A 点静止释放后，由于摩擦力的作用，物体的运动可能有两种：一直加速运动；或先加速后匀速。所以首先判断是属于哪种情况，针对该情况列方程求解，具体解题时先要统一单位。

解析 统一单位： $v=200\text{ cm/s}=2\text{ m/s}$ ， $x=0.011\text{ km}=11\text{ m}$ 。开始时，物体受到的摩擦力 $f=\mu mg$ ，由牛顿第二定律得物体的加速度为：

$$a=\frac{f}{m}=\mu g=0.2\times 10\text{ m/s}^2=2\text{ m/s}^2$$

设经时间 t ，物体速度达到 2 m/s ，由 $v=at$ 得：

$$t_1=\frac{v}{a}=\frac{2}{2}\text{ s}=1\text{ s}$$

此时间内的位移为：

$$x_1=\frac{1}{2}at_1^2=\frac{1}{2}\times 2\times 1^2\text{ m}=1\text{ m}$$

此后物体做匀速运动，所用时间：

$$t_2=\frac{x-x_1}{v}=\frac{11-1}{2}\text{ s}=5\text{ s}$$

故所求时间 $t=t_1+t_2=1\text{ s}+5\text{ s}=6\text{ s}$ 。

答案 6 s

互动平台

育才老师与细心同学关于“力学基本单位”的对话

细心：老师，基本单位是不是任意选择的？

育才：当然不是，基本单位的确定要遵循一定的原则

细心：一切物体都离不开力的作用，为什么不把力的单位作为力学中的基本单位呢？

育才：力学是研究物体运动变化过程中力与运动的关系，因此联系物体自身性质的量（质量）和空间尺度的量（长度）以及时间，必然与物体受力后运动变化联系得最密切、最普遍，所以这三个物理量也最基本。事实也表明，用这三个量做基本单位，可以使力学中的单位数目最少。

细心同学和粗心同学关于“单位制”的对话

粗心：国际单位制与国际制单位是相同的吗？

细心：国际单位制是国际上制定的一种通用的适合一切计量领域的单位制，国际代号为 SI. 它包括：①国际制单位；②国际制词冠；③国际制单位的十进倍数单位与分数单位。

而国际制单位是由基本单位、辅助单位和导出单位三部分构成。

由此可见，国际单位制与国际制单位是两个不同的概念，其中国际单位制包括国际制单位，例如：克、毫米、千欧等虽不是国际制单位，但它们是国际单位制的单位。

粗心：哦！原来如此。

课时 24 牛顿第三定律

课前导航

顶牛比赛

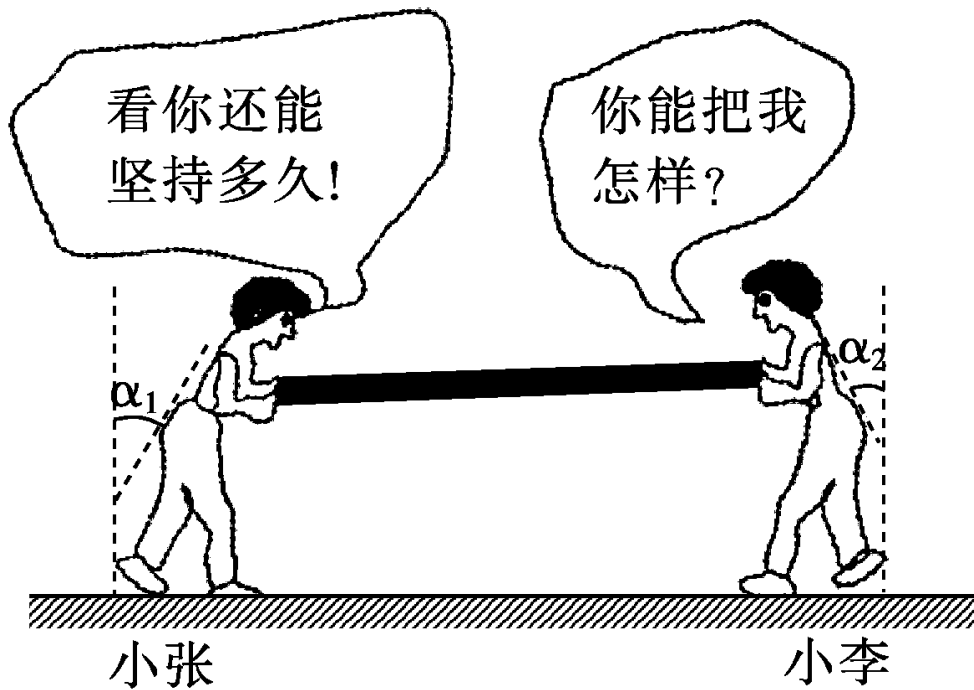


图 4-1-1

如图 24 - 1 所示, 身高和质量可认为相同的小张和小李, 穿同样的鞋在同一水平地面上通过一轻杆进行顶牛比赛, 企图迫使对方后退. 设小张和小李对杆的推力分别为 F_1 、 F_2 , 小张和小李两人身体因前倾而偏离竖直方向的夹角分别为 α_1 、 α_2 . 已知倾角 α 越大, 此刻人手和杆的端点位置就越低, 最终结果小张获胜.

请你思考:

1. 小张和小李对杆的推力 (F_1 、 F_2) 哪个大?
2. 两人身体因前倾而偏离竖直方向的夹角 (α_1 、 α_2) 关系又如何?
3. 你认为小张获胜的根本原因是什么? (建议找一位同学去试试)

基础梳理

牛顿第三定律

作用力与反作用力：一个物体对另一物体有作用力时，同时也受到另一物体对它的作用力，我们把两个物体间的这种相互作用称为作用力与反作用力。

一对平衡力：作用在同一个物体上的两个力，大小相等，方向相反，作用在一条直线上，这样的一对力称为平衡力。

牛顿第三定律：两个物体之间的作用力和反作用力总是大小相等，方向相反，作用在同一条直线上。

作用力与反作用力分别作用在两个不同的物体上，它们同时产生，同时消失，是同种性质的力。

知识精析

一、作用力与反作用力

1. 对作用力和反作用力的认识

(1) 同时：作用力与反作用力总是成对出现的，同时产生，同时变化，同时消失。

(2) 同性：作用力与反作用力产生的机理相同，因此一定是同种性质的力。例如：物体受的支持力与其反作用力（物体对支持面的压力）均属于弹力。

(3) 异体：作用力与反作用力分别作用在不同的物体上，各自产生效果，永远也不存在相互抵消、两力平衡的问题。

(4) 对称：作用力与反作用力是对称的，等大，共线反向。作用力也可叫反作用力，作用力的施力物体和受力物体同时也是反作用力的受力物体和施力物体。如 A 作用 B 与 B 作用 A “对称”。

2. 作用力和反作用力与平衡力的区别和联系

		一对作用力和反作用力	一对平衡力
共同点		大小相等，方向相反，且作用在同一条直线上	
不同点	作用对象	两个力分别作用在两个物体上	两个力作用在同一个物体上
	作用时间	相互依存，不可单独存在，具有同时性	不一定同时产生或消失，无依赖关系
	力的性质	一定是同性质的力	不一定是同性质的力
	作用效果	因为一对作用力与反作用力作用在两个物体上，各自产生作用效果，故不能作为使物体平衡的条件	一对平衡力的作用效果是使物体处于平衡状态，合力为零

二、深刻理解牛顿第三定律

1. 牛顿第三定律的适用条件：牛顿第三定律与所选的参考系无关，这是因为物体间的相互作用是客观存在的，不会因参考系的不同而使物体的相互作用的性质发生任何变化。

2. 定律叙述中“总是”的理解：

这里的“总是”是强调对于任何物体，在任何条件下，这两个相等的关系都成立。对此，可以从以下几个方面理解：

(1) 不管物体大小形状如何，例如大物体与大物体之间，或大物体与小物体之间，还是任何形状的物体之间，其相互作用力总是大小相等。

(2) 不管物体的运动状态如何。例如静止的物体之间、运动的物体之间或静止物体与运动物体之间的相互作用力总是大小相等的。

(3) 作用力与反作用力的产生和消失是同时的。



三、牛顿第三定律的意义

牛顿第一、二定律是对单个物体（质点）而言的，只解决了一个物体运动规律的问题。但自然界中物体是相互联系、相互影响、相互作用的，一个物体在受其他物体作用的同时也会对其他物体有力的作用，不讨论物体间的相互作用就不能较全面地认识物体的运动规律，也就无法解决现实中的许多问题。因此，只有牛顿第一、二定律还不够，必须加上牛顿第三定律才能构成比较全面地反映机械运动的一套定律。

四、牛顿三个运动定律之间的区别与联系

		牛顿第一定律	牛顿第二定律	牛顿第三定律
区 别	公式		$F_{\text{合}} = ma$	$F = -F'$
	意义	加深了对力的认识，指出了力是物体运动状态发生改变的原因，即力是产生加速度的原因。	揭示了加速度是力作用的结果，揭示了力、质量、加速度的定量关系。	揭示了物体间力的作用的相互性，明确了相互作用力的关系。
	研究方法	根据理想实验归纳总结得出，不能直接用实验验证。	用控制变量法研究 F 、 m 、 a 之间的关系，可用实验验证。	由实际现象归纳总结得出，可用实验验证。
联系	牛顿三个定律是一个整体，是动力学的基础，牛顿第二定律以牛顿第一定律为基础，由实验总结得出。			

特别提醒：应用牛顿第二定律解题时，常借助牛顿第三定律将物体受力进行转换。

方法指导

一、牛顿第三定律的理解和应用

例 1 如图 24-2 所示, 甲、乙两人的质量相等, 分别站在质量也相同的两条小船上. 开始时两船均静止. 甲的力气远比乙的力气大, 现让甲、乙两人各自握紧绳子的一端, 并用力拉对方. 两人均相对船静止, 则下列判断正确的是 (

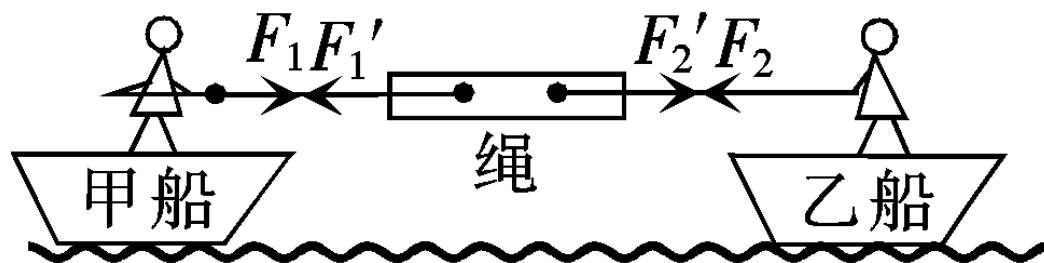


图 24-2

- A. 甲船先到达中点
- B. 乙船先到达中点
- C. 两船同时到达中点
- D. 无法判断

解析 甲对绳的作用力与绳对甲的作用力是作用力与反作用力，总是等大反向。乙对绳的作用力与绳对乙的作用力是作用力和反作用力，也总是等大反向。而由轻绳状态可知，绳所受的两个力是一对平衡力，等大反向。由此可知绳对甲、乙两人的力等大，两船运动的加速度时刻大小相等，因而只能同时到达中点，选项 C 正确。

答案 C

二、相互作用力和平衡力的理解

例 2 若物体静置于水平面上，则 ()

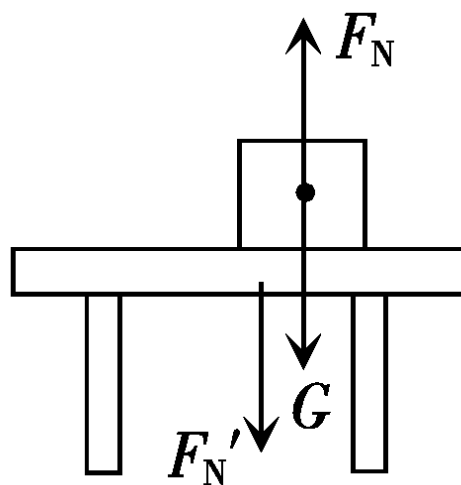
A . 桌面对物体的支持力的大小等于物体的重力，这两个力是一对平衡力

B . 物体所受的重力和桌面对物体的支持力是一对作用力和反作用力

C . 物体对桌面的压力就是物体的重力，这两个力是同一种性质的力

D . 物体对桌面的压力和桌面对物体的支持力是一对相互平衡的力

解析 要分析各力的关系，首先要对物体受力及物体对桌面的作用力进行正确的分析，如图所示，因物体处于平衡状态，故 F_N 与 G 是一对平衡力，故选项 A 正确；因为作用力和反作用力分别作用在两个物体上，且必为性质相同的力，这里的压力从性质上讲是弹力，与重力是性质不同的力，故选项 B、C 错误；由于支持力和压力是物体与桌面相互作用（挤压）而产生的，因此 F_N 和 F_N' 是一对作用力和反作用力，



答案 A

点评 (1) 判断一对力是相互作用力还是平衡力或者两者均不是，关键要抓住这对力是否符合相互作用力或平衡力的特点。

(2) 在判断一对力是否为相互作用力时不要只关心两个力作用在两个物体上、大小相等、方向相反，还要看是否发生在相互作用的两个物体之间，即看施力物体和受力物体是否有对称关系。

变式训练 1

如图 24-3 所示， P 和 Q 叠在一起，静止在水平桌面上。在下列各对力中属于作用力和反作用力的是（ ）

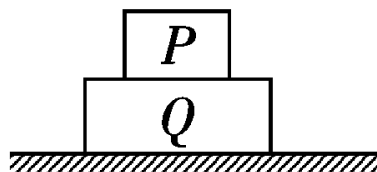


图 24-3

- A. P 所受的重力和 Q 对 P 的支持力
- B. Q 所受的重力和 Q 对 P 的支持力
- C. P 对 Q 的压力和 Q 对 P 的支持力
- D. Q 对桌面的压力和桌面对 Q 的支持力

解析 作用力和反作用力必定是同种性质的力，仅从这点来讲，选项 A、B 均不正确； P 对 Q 的压力和 Q 对 P 的支持力， Q 对桌面的压力和桌面对 Q 的支持力都是两个物体间的相互作用力，选项 C、D 正确；另外可直接从对称关系上分析： P 对 Q ， Q 对 P ； Q 对桌面，桌面对 Q ，所以选项中的 C、D 是作用力和反作用力。

答案 CD

三、牛顿第二、第三定律相结合

例 3 如图 24-4 甲所示，质量为 M 的木板放在倾角为 θ 的光滑斜面上，一个质量为 m 的人站在木板上。若人相对于木板静止，木板的加速度为多大？人对板的摩擦力多大？

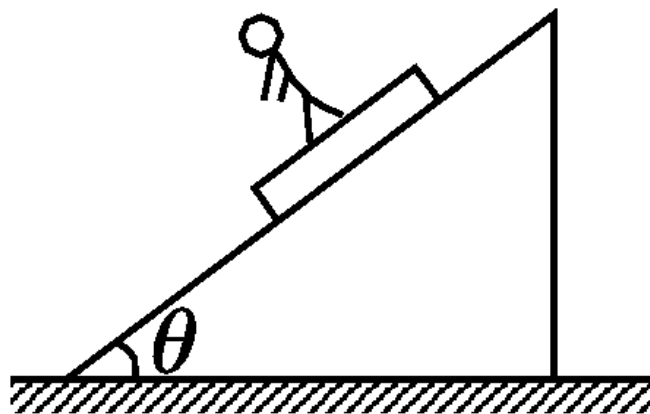


图 24-4 甲

解析 人和木板相对静止，可用整体法求出加速度；求人对板的摩擦力，可先求板对人的摩擦力再由牛顿第三定律求之。

先以 M 、 m 为一整体，受力分析如图 24-4 乙，取沿斜面向下为正方向，由牛顿第二定律有：

$$(M+m)g\sin \theta=(M+m)a$$

解得： $a=g\sin \theta$

以人为研究对象，设木板对人的

图 24-4 乙

摩擦力为 $F_{人}$ ，方向沿斜面向下，受力分析如图 24-4 丙所示。由牛顿第二定律得：

$$mgsin \theta + F_{人} = ma$$

且 $a = g\sin \theta$ 。

可得 $F_{人} = 0$ ，由牛顿第三定律得：

人对板的摩擦力也为零。

答案 $g\sin \theta$ 0

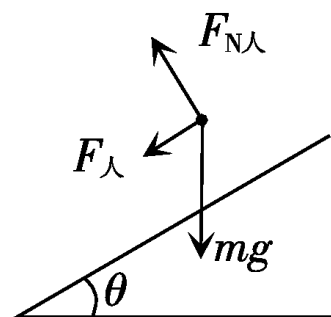
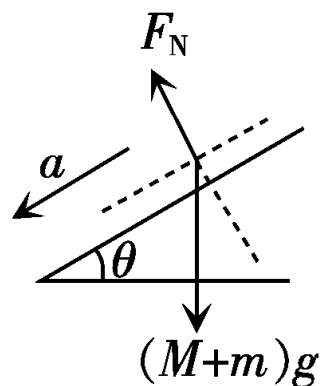


图 24-4 丙



变式训练 2

(1) 例 3 中，若木板相对斜面静止，则人必须沿斜面以多大的加速度向什么方向加速运动？

(2) 例 3 中，若要使人保持与斜面相对静止，木板必须沿斜面以多大的加速度向什么方向加速运动？

解析 解法一 (1) 先分析木板受力，要使木板相对斜面静止，则木板沿斜面方向的加速度为零，人必须给木板一沿斜面向上的力 f ，且与板的重力 Mg 沿斜面向下的分力 $Mg\sin\theta$ 等大反向，由牛顿第三定律知，板给人的静摩擦力方向沿斜面向下，大小为 $f' = f = Mg\sin\theta$ 。再以人为研究对象分析，设沿斜面向下为正方向，应用牛顿第二定律得： $mgsin\theta + \frac{Mf}{m} = ma_{人}$ ， $a_{人} = gsin\theta$ ，方向沿斜面向下。 ^{m}

(2) 先分析人的受力，要使人相对斜面静止，则人无加速度，木板必须对人有一沿斜面向上的静摩擦力 f ，大小为 $mg\sin\theta$ ，由牛顿第三定律知，人对板的摩擦力沿斜面向下，大小为 $mg\sin\theta$ ，再分析板的受力情况，取向下为正方向，由牛顿第二定律得： $Mg\sin\theta + mg\sin\theta = Ma_{\text{板}}$ ，得：

$$a_{\text{板}} = \frac{M+m}{M} g\sin\theta, \text{ 方向沿斜面向下.}$$

解法二 以整体为研究对象，但两物体的加速度不同，故方程列为：(以沿斜面向下为正方向) $(M+m)g\sin\theta = Ma_{\text{木}} + ma_{\text{人}}$.

(1)由题意，木板静止，故 $a_{\text{木}}=0$ ，所以 $a_{\text{人}} = \frac{M+m}{m}g\sin\theta$ ，方向沿斜面向下。

同理，(2)中 $a_{\text{人}}=0$ ，求得 $a_{\text{木}} = \frac{M+m}{M}g\sin\theta$ ，沿斜面向下。

答案 (1) $\frac{M+m}{m}g\sin\theta$ ，方向沿斜面向下

(2) $\frac{M+m}{M}g\sin\theta$ ，方向沿斜面向下

互动平台

育才老师与细心同学关于“顶牛比赛”的对话

育才：现在总该明白“顶牛比赛”中小张获胜的根本原因了吧？

细心：明白了。因为是轻杆（质量可以不计），所以小张和小李对杆的推力大小相等，即 $F_1 = F_2$ 。但小张比小李聪明，因为他身体向前倾的角度比小李的大，此刻手和杆的端点位置就比小李的要低，轻杆呈现左端低、右端高的状态。这样轻杆对小张的力 F_1' (F_1 的反作用力) 应斜向下，所以小张对水平地面的压力就大于其本身的重力；相反，轻杆对小李的力 F_2' (F_2 的反作用力) 应斜向上，所以小李对水平地面的压力就小于其本身的重力。因此小张所受地面的最大静摩擦力大于小李的，这就是小张获胜的根本原因。老师，您说我讲的对吗？

育才：你讲得很好！你已把顶牛比赛的物理原理分析得很透彻了。

粗心同学与细心同学、育才老师关于“带球撞人”的对话

粗心：昨天体育课篮球比赛时，小明带球撞人，把我给撞了个“四脚朝天”。看来我阻挡他的力，要比他撞我的力小得多。

细心：看你还学了牛顿第三定律呢！小明带球撞你的力和你对他的力是一对作用力和反作用力，两个力应该是大小相等的。这不是跟“鸡蛋碰石头”一样的道理吗？

粗心：那怎么我倒了他不倒？

细心：这……？我也不清楚了，还是去问老师吧！

育才：这里除了作用力和反作用力以外，还涉及后面要学到的动量问题，所以只有学好物理，才会懂得更多！

课时 25 用牛顿运动定律解决问题 (一)

课前导航

一起交通事故

(据报载)某市区一路段发生了一起交通事故:一辆汽车在公路上匀速行驶,突然前面有一位老太太横穿马路,司机发现后立刻刹车,但老太太还是被撞倒了.事故发生后交警测得刹车过程中车轮在路面上擦过的笔直的痕迹长 9 m ,从厂家的技术手册中查得该车轮胎和地面间的动摩擦因数是 0.8 . 据悉,交通管理部门规定该路段的速度不得超过 36 km/h .

假如你就是这位交警,请你判断该车是否超速行驶.

(假定刹车后汽车做匀减速直线运动)

基础梳理

用牛顿定律解决问题

牛顿第二定律给出了加速度与力、质量之间的定量关系： $F=ma$ 。因此我们在已知受力的情况下可以结合运动学公式，解决有关物体运动状态变化的问题；我们也可以在已知物体运动状态发生变化的情况下，运用运动学公式求出物体的加速度，再结合牛顿第二定律确定物体的受力情况。

(一) 受力分析的一般顺序：先重力，再弹力，最后摩擦力。受力分析的方法有整体法和隔离法。

知识精析

一、由受力情况确定运动情况

1. 基本思路：首先对研究对象进行受力情况和运动情况分析，把题中所给的情况弄清楚，然后由牛顿第二定律，结合运动学公式进行求解。

2. 一般步骤：

(1) 确定研究对象，对研究对象进行受力分析，并画出物体的受力图。

(2) 根据力的合成与分解，求出物体所受的合外力（包括大小和方向）。

(3) 根据牛顿第二定律列方程，求出物体运动的加速度。

(4) 结合物体运动的初始条件，选择运动学公式，求出所需的运动学量——任意时刻的位移和速度，以及运动轨迹等。

二、由运动情况确定受力情况

基本思路：首先根据物体的运动情况，利用动力学公式求出加速度，再根据牛顿第二定律就可以确定物体所受的合外力，从而求出未知的力或与力相关的某些量，如动摩擦因数、劲度系数、力的具体方向等。

三、受力分析要点

1. 每分析一个力，都应能找出该力的施力物体，以防止多分析出没有施力物体的并不存在的力。不要把物体惯性的表现误认为物体在运动方向上受到一种力的作用。

例如滑冰者停止用力后向前滑行的过程中，不要误认为他受到一个向前的冲力作用。

2. 不要把某个力和它的分力同时作为物体所受的力，也不要某几个力与它们的合力同时作为物体受到的力。应只保留物体实际受到的力。

例如，静止于倾角为 θ 的斜面上的物体，如果已分析了重力 G ，就不能同时说物体还受到下滑力 $G\sin\theta$ 和垂直于斜面向下的分力 $G\cos\theta$ 。

3. 要养成按先画非接触力（如重力）再画接触力（如弹力、摩擦力）的顺序分析物体受力的习惯，在分析接触力时要注意受力物体与其他施力物体的接触处最多存在两个力（弹力、摩擦力），有可能只有一个力（弹力），也有可能无力作用。

4. 画受力图时，只画物体受的力，不要画研究对象对其他物体施加的力。

5. 要结合物体的运动状态，应用牛顿第二定律进行受力分析。

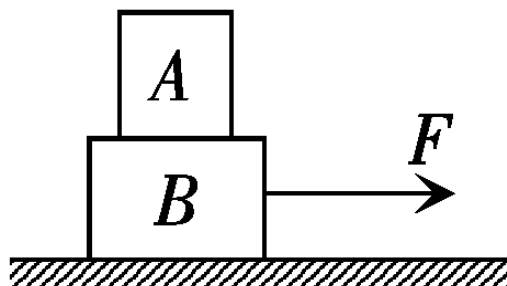


图 25-1

例如，如图 25-1 所示，物体 A、B 叠放在一起，在作用于 B 物体上的水平拉力 F 作用下向右以加速度 a 做匀加速运动，在分析 A、B 间的静摩擦力时，就可根据牛顿第二定律，A 所受的静摩擦力方向沿接触面向右，并可由牛顿第二定律求出这一静摩擦力的大小 $F_{静} = m_A a$ 。

6. 从牛顿第三定律出发，依据力的相互性，转换研究对象，分析物体受力，可以化难为易。

四、整体法与隔离法

1. 连接体：多个相互关联的物体组成的物体组（或物体系）。如几个物体叠放在一起，或并排挤放在一起，或用绳子、细杆连在一起。

2. 隔离法与整体法

(1) 隔离法：在解决连接体问题时，从研究的方便性出发，将物体系统中的某一部分隔离出来，单独分析研究的方法。

(2) 整体法：在解决连接体问题时，将整个系统作为一个整体分析研究的方法。

3. 选取整体法与隔离法的原则

(1) 一般是先整体后隔离

在连接体内各物体具有相同的加速度，应先把连接体当做一个整体，分析整体受力，利用牛顿第二定律求出加速度，求连接体内各物体间的相互作用，再把物体隔离，对该物体单独进行受力分析，利用牛顿第二定律对该物体列式求解。

(2) 求系统外力的问题，有的直接选取整体法求解，有的则先隔离后整体。

五、物体瞬时加速度求解方法

牛顿第二定律表明了物体受的合外力与物体运动的加速度之间存在瞬时对应关系，当物体受的合外力发生变化的同时，物体的加速度也就随之而变了。因此，分析物体的瞬时加速度，关键是分析瞬时前后物体的受力情况及运动状态，再根据牛顿第二定律求出物体的瞬时加速度。

此类问题的分析中应特别注意“轻绳”、“轻杆”、“轻弹簧”三种模型的建立及特点：

1. 轻绳

(1) 轻绳模型的建立

轻绳或称为细线，它的质量可忽略不计，轻绳是软的，不能产生侧向力，劲度系数非常大，以至认为受力形变极微，看做不可伸长。

(2) 轻绳模型特点

- ①轻绳各处受力相等，且拉力方向沿着绳子方向。
- ②轻绳不能伸长。
- ③绳中拉力可发生瞬间变化，剪断后，其中弹力立即消失，不需要形变恢复时间。

2. 轻杆

(1) 轻杆模型的建立

轻杆的质量可略而不计，轻杆是硬的，可产生侧向力，它的劲度系数非常大，以至认为受力形变极微，看做不可伸长或不可压缩。

(2) 轻杆模型的特点

①轻杆各处受力相等，其力的方向不一定沿着杆的方向。

②轻杆不能伸长也不能压缩。

③轻杆受到的弹力方式有：拉力或压力。

3. 轻弹簧

(1) 轻弹簧模型的建立

轻弹簧的质量可忽略不计，可以被压缩或拉伸，其弹力的大小与弹簧长度的改变量有关。

(2) 轻弹簧模型的特点

①轻弹簧各处受力相等，其方向与弹簧形变的方向相反。

②弹力的大小为 $F=kx$ ，其中 k 为弹簧的劲度系数， x 为弹簧长度的改变量。

③由于弹簧形变量大，形变恢复需要较长时间，在分析瞬时问题中，其弹力的大小往往可以看成不变。而轻弹簧被剪断时，弹簧中的弹力则又瞬间消失。

方法指导

一、由于受力情况确定物体的运动情况

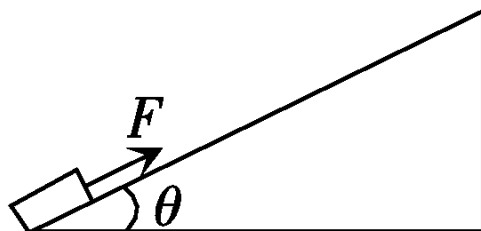


图 25-2 甲

例 1 如图 25 - 2 甲所示，在倾角 $\theta = 37^\circ$ 的足够长的固定的斜面底端有一质量 $m = 1.0 \text{ kg}$ 的物体。物体与斜面间动摩擦因数 $\mu = 0.25$ ，现用轻细绳将物体由静止沿斜面向上拉动。拉力 $F = 10 \text{ N}$ ，方向平行斜面向上。经时间 $t = 4.0 \text{ s}$ 绳子突然断了，求：

(1) 绳断时物体的速度大小。

(2) 从绳子断了开始到物体再返回到斜面底端的运动时间。（已知 $\sin 37^\circ = 0.60$ ， $\cos 37^\circ = 0.80$ ，取 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ）

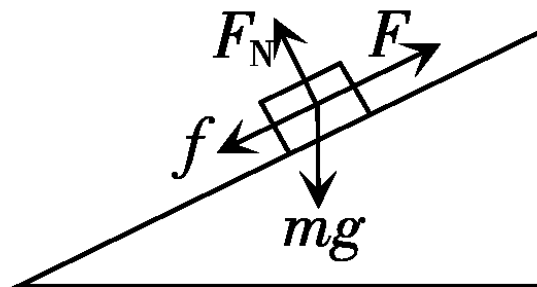


图 25-2 乙

解析 分析绳子断裂前后及物体沿斜面下滑时的受力情况，应用牛顿第二定律求出物体的加速度，再结合运动学公式求出物体的运动情况。

(1) 物体受拉力向上运动过程中，受拉力 F 、斜面支持力 F_N 、重力 mg 和摩擦力 f ，如图 25 - 2 乙，设物体向上运动的加速度为 a_1 ，根据牛顿第二定律有：

$$F - mg\sin\theta - f = ma_1$$

$$\text{又 } f = \mu F_N, \quad F_N = mg\cos\theta$$

$$\text{解得： } a_1 = 2.0 \text{ m/s}^2$$

$$t = 4.0 \text{ s 时物体的速度大小 } v_1 = a_1 t = 8.0 \text{ m/s.}$$

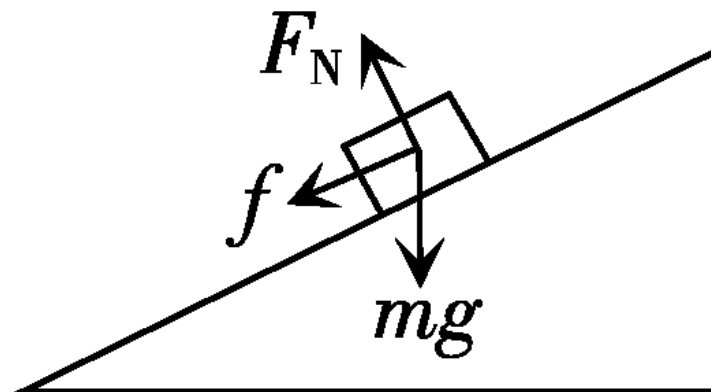


图 25-2 丙

(2) 绳断时物体距斜面底端的位移为:

$$x_1 = a_1 t^2 = 16 \text{ m}$$

绳断后物体沿斜面向上做匀减速直线运动，设运动的加速度大小为 a_2 ，受力如图 25 - 2 丙所示，则根据牛顿第二定律，对物体沿斜面向上运动的过程有：

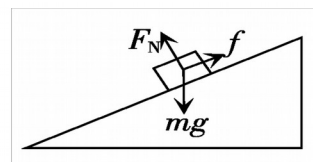


图 25-2 丁

$$mg \sin \theta + f = ma_2$$

$$\text{又 } f = \mu mg \cos \theta$$

$$\text{解得: } a_2 = 8.0 \text{ m/s}^2$$

物体做匀减速运动的时间为:

$$t_2 = \frac{v_1}{a_2} = 1.0 \text{ s}$$

$$\text{减速运动的位移 } x_2 = \frac{v_1 t_2}{2} = 4.0 \text{ m}$$

此后物体将沿着斜面匀加速下滑, 设物体下滑的加速度为 a_3 , 受力情况如图 25-2 丁所示, 根据牛顿第二定律对物体加速下滑的过程有 $mg \sin \theta - f = ma_3$, $f = \mu mg \cos \theta$, 解得 $a_3 = 4.0 \text{ m/s}^2$

设物体由最高点到斜面底端的时间为 t_3 ，所以物体向下匀加速运动的位移为：

$$x_1 + x_2 = \frac{1}{2} a_3 t_3^2$$

$$\text{解得： } t_3 = \sqrt{10} \text{ s} = 3.2 \text{ s}$$

所以物体返回到斜面底端的时间为：

$$t_{\text{总}} = t_2 + t_3 = 4.2 \text{ s} [\text{或}(1 + \sqrt{10}) \text{ s}].$$

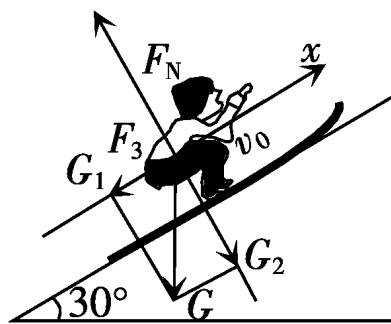
答案 (1) 8.0 m/s

(2) 4.2 s [或 $(1 + \sqrt{10})$ s]

二、由物体的运动情况确定受力情况

例 2 一位滑雪者如果以 $v_0 = 20 \text{ m/s}$ 的初速度沿直线冲上一倾角为 30° 的山坡，从冲坡开始计时，至 3.8 s 末，雪橇速度变为零。如果雪橇与人的质量为 $m = 80 \text{ kg}$ ，求雪橇受到的阻力是多少。（ g 取 10 m/s^2 ）

解析 如图建立坐标系，以 v_0 方向为 x 轴的正方向，并将重力进行分解。则有



$$G_1 = G \sin 30^\circ$$

$$G_2 = G \cos 30^\circ$$

在 x 方向上， F_3 为物体受到的阻力大小；在 y 方向上，因为物体的运动状态没有变化，所以重力的一个分力 G_2 等于斜坡的支持力 F_N ，即 $G_2 = F_N$ 。

沿 x 方向可建立方程: $-F_3 - G_1 = ma$

$$\text{又 } a = \frac{v - v_0}{t}$$

$$\text{所以 } a = \frac{0 - 20}{3.8} \text{ m/s}^2 = -5.26 \text{ m/s}^2$$

其中“ $-$ ”号表示加速度方向与 x 轴正方向相反.

又因为 $G_1 = mg \sin 30^\circ$

$$\text{所以 } F_3 = -80 \times 10 \times \frac{1}{2} \text{ N} - 80 \times (-5.26) \text{ N}$$

$= 20.8 \text{ N}$, 方向沿斜面向下.

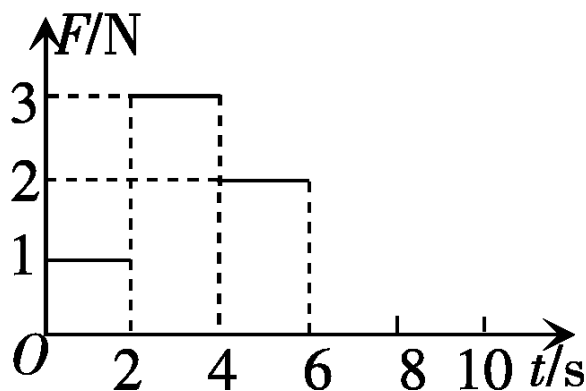
答案 20.8 N，方向沿斜面向下

点评 (1) 由物体的运动情况确定受力情况时，应先根据物体的运动情况，借助运动学公式求出物体运动的加速度，再结合牛顿第二定律求出物体受到的未知力。

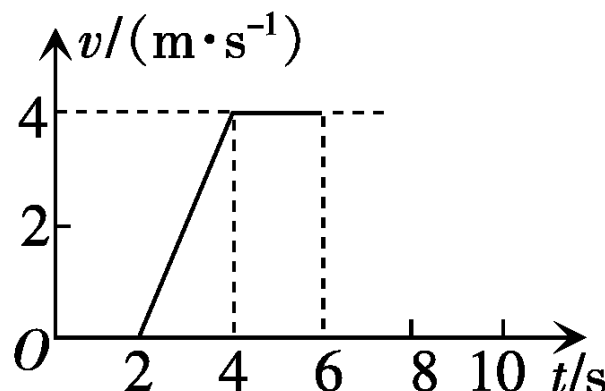
(2) 结合题目的需要，有时还可以确定与力有关的其他未知量，如物体的质量、动摩擦因数、斜面倾角、弹簧的形变量等。

变式训练 1

放在水平地面上的一物块，受到方向不变的水平推力 F 的作用， F 的大小与时间 t 的关系和物块速度 v 与时间 t 的关系如图 25 - 3 甲、乙所示。取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。由此两图线可以求得物块的质量 m 和物块与地面之间的动摩擦因数 μ 分别为 ()



甲



乙

图 25-3

A. $m=0.5 \text{ kg}, \mu=0.4$

B. $m=1.5 \text{ kg}, \mu=\frac{2}{15}$

C. $m=0.5 \text{ kg}, \mu=0.2$

D. $m=1 \text{ kg}, \mu=0.2$

解析 从 $v-t$ 图线可以看出, 在 $4\sim 6 \text{ s}$ 内物块做匀速运动, 对应 $F-t$ 图中 $F_3=2 \text{ N}$, 则物块所受的滑动摩擦力 $f=\mu mg=2 \text{ N}$. 在 $2\sim 4 \text{ s}$ 内, 由 $v-t$ 图可得物块的加速度为 $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=2 \text{ m/s}^2$, 对应的 $F-t$ 图中 $F_2=3 \text{ N}$, 由牛顿第二定律得: $F_2-f=ma$. 即: $3-2=m\times 2$, 又 $m=0.5 \text{ kg}$, 所以 $\mu=0.4$.

答案 A

三、连接体问题

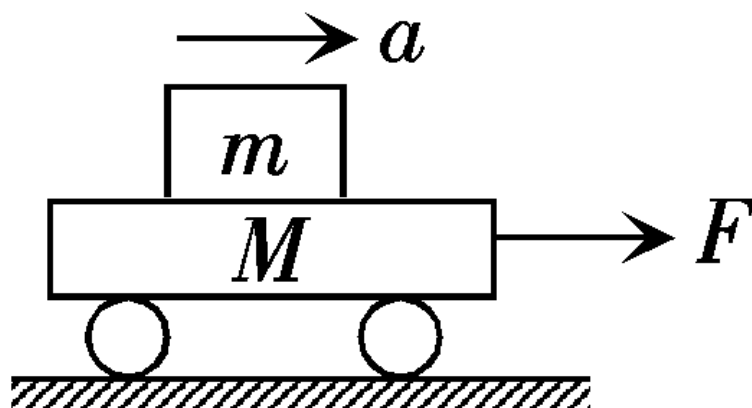


图 25-4

例 3 如图 25-4 所示，在光滑地面上有一水平力 F 拉动小车和木块一起做匀加速直线运动，小车的质量为 M ，木块的质量为 m 。设加速度大小为 a ，木块与小车间的动摩擦因数为 μ ，则在这个过程中木块受到的摩擦力大小是 ()

A. $\frac{m}{M+m} \mu mg$

B. ma

C. F

D. $F - ma$

解析 这是一道根据物体运动状态求物体受力情况的典型习题. 题中涉及两个物体, 题干中的已知量又比较多, 对此类题目, 要注意选取好研究对象. 两者无相对运动, 它们之间的摩擦力只能是静摩擦力. 因而滑动摩擦力公式 $f = \mu mg$ 就不再适用, 选项 A 错误. 以 m 为研究对象, 则静摩擦力产生其运动的加速度 $F_{\text{合}} = f = ma$, 再由牛顿第三定律可知选项 B 正确. 以 M 为研究对象, $F - f = Ma$, $f = F - Ma$, 选项 D 错误. 以整体为研究对象, 则 $a = \frac{F}{M + m}$, 再代入 $f = ma$ 可得 $f = \frac{mF}{M + m}$, 故选项 C 正确.

答案 BC

四、临界法分析动力学问题

例 4 如图 25-5 甲所示, 质量为 $m = 10 \text{ kg}$ 的小球挂在倾角 $\theta = 37^\circ$ 、质量 $M = 40 \text{ kg}$ 的光滑斜面的固定铁杆上. 当斜面和小球以 $a_1 = 0.5g$ 的加速度向右匀加速运动时, 小球对绳的拉力和对斜面的压力分别为多少? 当斜面和小球都以 $a_2 = g$ 的加速度向右匀加速运动时, 小球对绳的拉力和对斜面的压力又分别是多少? (取 $g = 10 \text{ m/s}^2$)

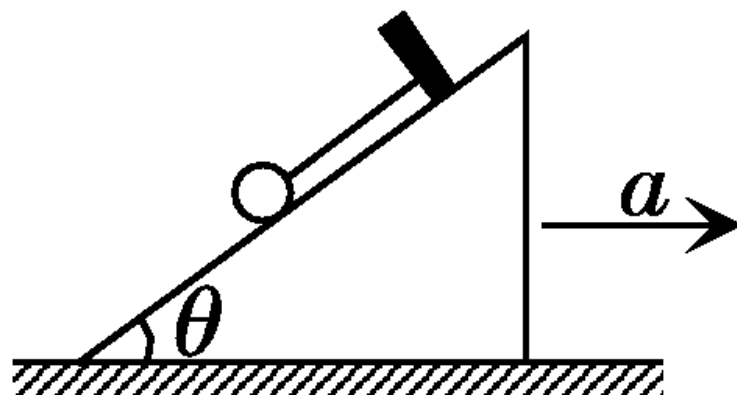


图 25-5 甲

解析 小球和斜面一起向右加速运动，球相对斜面有两种情况，一种是压在斜面上，一种是离开斜面。两种情况有个临界点，弹力 $F_N = 0$ ，此时的加速度称为临界加速度 a_0 。本题关键是比较实际加速度与临界加速度，判断小球的相对状态，再受力分析求解。

先求出临界状态时的加速度，这时 $F_N = 0$ ，受力分析如图 25-57 所示。故有。

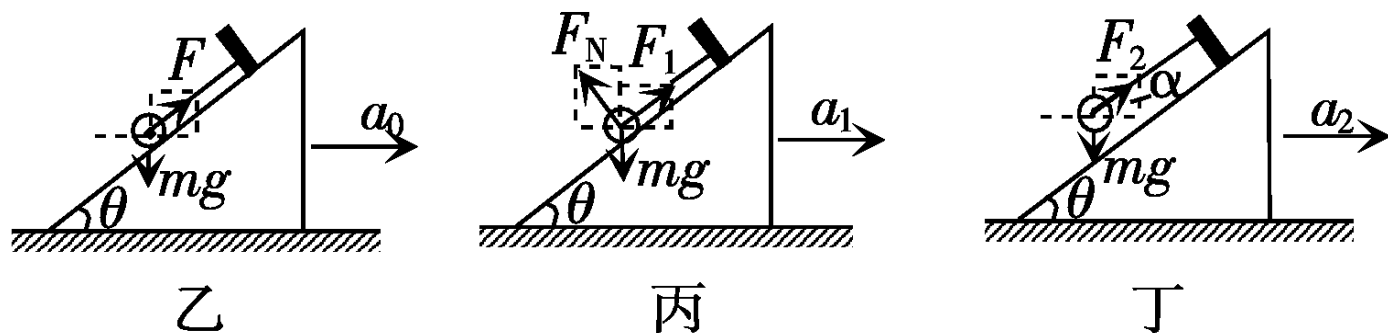


图 25-5

$$\begin{cases} F \sin \theta = mg \text{ (竖直)} \\ F \cos \theta = ma_0 \text{ (水平)} \end{cases}$$

$$\text{所以 } a_0 = g \cot \theta = \frac{4}{3} g.$$

当斜面和球以 a_1 向右做匀加速运动时，由于 $a_1 < a_0$ ，可知这时小球与斜面间有弹力，所以其受力分析如图 25-5 丙所示，故有：

$$\begin{cases} F_1 \cos \theta - F_N \sin \theta = ma_1 \text{ (水平)} \\ F_1 \sin \theta + F_N \cos \theta = mg \text{ (竖直)} \end{cases}$$

$$\text{所以 } F_1 = 100 \text{ N}, F_N = 50 \text{ N}.$$

当斜面和小球以 a_2 向右做匀加速运动时, 由于 $a_2 > a_0$, 可知这时小球已脱离斜面, 所以其受力分析如图 25-5 丁所示, 故有:

$$\begin{cases} F_2 \sin \alpha = mg (\text{竖直}) \\ F_2 \cos \alpha = ma_2 (\text{水平}) \end{cases}$$

两式平方相加, 可得 $F_2 = \sqrt{m^2 g^2 + m^2 a_2^2} = 200 \text{ N}$

所以当以加速度 a_1 运动时, 小球对绳的拉力为 100 N, 对斜面的压力为 50 N; 当以加速度 a_2 运动时, 小球对绳的拉力为 200 N, 对斜面的压力为 0.

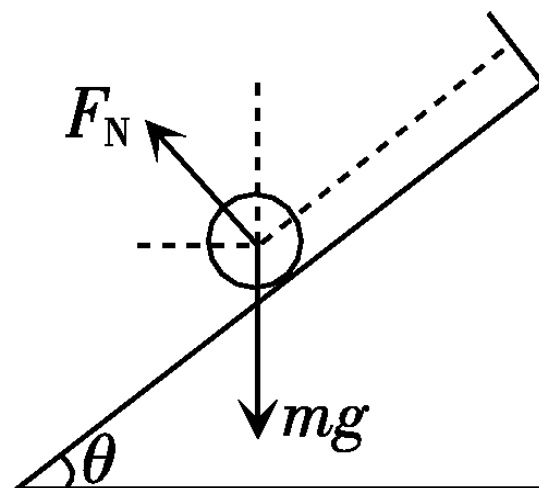
答案 100 N 50 N 200 N 0

变式训练 2

在例 4 的已知条件下，如果用水平推力 F_0 向左推斜面，使小球与斜面一起向左加速运动，而此时绳对小球的拉力恰好为零。

(1) 求斜面运动的加速度 a 及水平推力 F_0 。

(2) 当向左推力为 250 N 时，求绳的拉力和斜面对球的弹力。



甲

解析 (1) 先用极限法分析出临界状态；系统一起向左运动的加速度越大，小球对绳的拉力越小，当加速度为某一值时小球对绳的拉力恰好为零，如加速度再增大，小球将相对斜面上滑。分析小球对绳的拉力恰好为零的状态的受力如图甲所示。

$$\text{水平方向: } F_N \cdot \sin \theta = ma$$

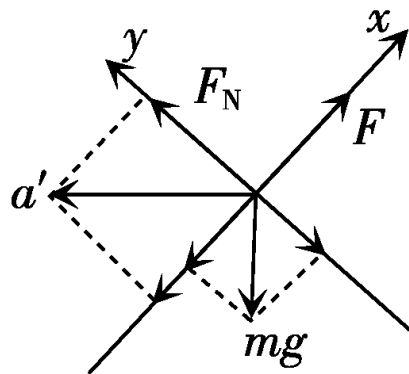
$$\text{竖直方向: } F_N \cdot \cos \theta = mg$$

$$\text{得出: } a = g \tan \theta = \frac{3}{4} g = 7.5 \text{ m/s}^2$$

再取 m 、 M 为一个整体，水平方向推力 F_0 即为合外力，由牛顿第二定律得： $F_0 = (M + m)a$

$$\text{可解得: } F_0 = 375 \text{ N.}$$

(2) 因为 $F_0' = 250 \text{ N} < 375 \text{ N}$ ，所以小球相对斜面静止，整体分析得 $F_0' = (M + m)a'$ ， $a' = 5 \text{ m/s}^2$ 。



乙

对小球分析： a' 可分解为垂直斜面向上的 $a' \sin \theta$ 和沿斜面向下的 $a' \cos \theta$ ，对小球进行受力分析，如图乙所示。

沿坐标轴方向的合力分别为：

$$mgsin \theta - F = ma'cos \theta$$

$$F_N - mgcos \theta = ma'sin \theta$$

代入数据可得： $F = 20 \text{ N}$ ， $F_N = 110 \text{ N}$ 。

答案 (1) 7.5 m/s^2 375 N

(2) 20 N 110 N

五、轻绳模型

例 5 如图 25 - 6 甲所示, 小球的质量为 5 kg , BC 为水平绳, AC 绳与竖直方向的夹角 $\theta = 37^\circ$, 整个系统处于静止状态, g 取 10 m/s^2 .

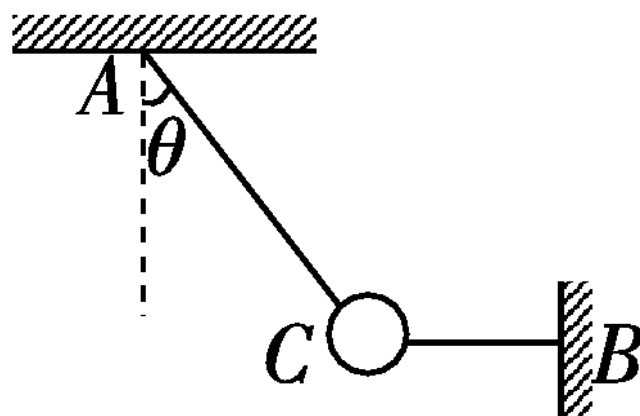


图 25 - 6 甲

(1) 求 BC 绳的张力.

(2) 若将 BC 绳剪断, 则剪断瞬间小球的加速度为多少

?

解析 (1) BC 绳剪断前, 小球受力情况如图 25-6 乙所示. 则有:

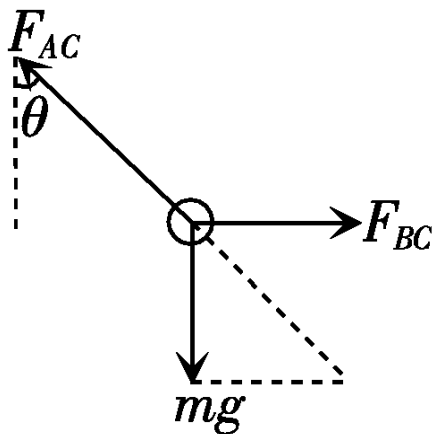


图 25-6 乙

$$\begin{aligned} F_{BC} &= mg \tan \theta \\ &= 5 \times 10 \times \tan 37^\circ \text{ N} \\ &= 37.5 \text{ N}. \end{aligned}$$

(2) BC 绳剪断瞬间, AC 绳的张力发生变化, 小球所受合外力垂直于 AC 绳斜向下, 大小为 $mg \sin \theta = ma$
所以 $a = g \sin \theta = 10 \times 0.6 \text{ m/s}^2 = 6 \text{ m/s}^2$.

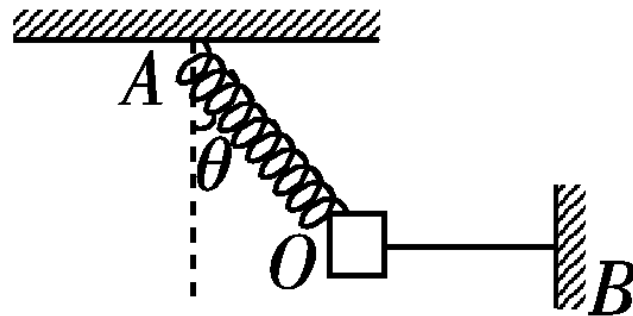
答案 (1)37.5 N (2)6 m/s²

点评 解此类问题应注意：

(1) 对于钢丝、细绳、刚性杆等，它们的形变很小，形变量变化时所用时间很短，因此它们的弹力在很短时间内就可以发生很大的变化。

(2) 弹簧的形变量变化时所用时间较长，因此在极短时间内可近似认为弹簧弹力不发生变化。

变式训练 3



如图 25 - 7 所示，物块的质量为 10 kg，弹簧 AO 与竖直方向的夹角 $\theta = 30^\circ$ ， OB 绳水平。现将 OB 绳剪断，则刚剪断瞬间物块的加速度为多少？（ g 取 10 m/s^2 ）

解析 OB 绳刚剪断瞬间，弹簧弹力及物体重力均没变化，所以物块所受合外力等于剪断 OB 绳前 OB 绳的弹力，由牛顿第二定律得：

$$mg \tan \theta = ma$$

$$\begin{aligned} \text{所以 } a &= g \tan \theta = 10 \times \tan 30^\circ \text{ m/s}^2 = && \text{m/s}^2 \\ &= 5.77 \text{ m/s}^2. && \frac{10\sqrt{3}}{3} \end{aligned}$$

答案 5.77 m/s^2

互动平台

育才老师与细心同学关于“一起交通事故”的对话

细心：老师，如果我是交警，能够根据现场的勘察结果和有关数据判断该车是否超速行驶。

育才：你是怎样判断该车是否超速行驶的？

细心：因为假定刹车后汽车做匀减速直线运动，则由运动学规律得 $v - v_0 = 2ax$

又因为 $-\mu mg = ma$

将 $x = 9 \text{ m}$ 、 $v_t = 0 \text{ m/s}$ 、 $\mu = 0.8$ 代入可得：

$$v_0 = 12 \text{ m/s} > 10 \text{ m/s}$$

所以车已违反规定超速行驶了。

育才：你能学以致用，真聪明！

课时 26 用牛顿运动定律解决问题 (二)

课前提航

滑板表演

图 26-1 所示为一只猫的精彩滑板表演：在倾角为 α 的固定光滑斜面上，有一用绳子拴着的长木板，木板上站着一只猫。当绳子突然断开时，猫立即沿着板向上跑，以保持其相对斜面的位置不变。

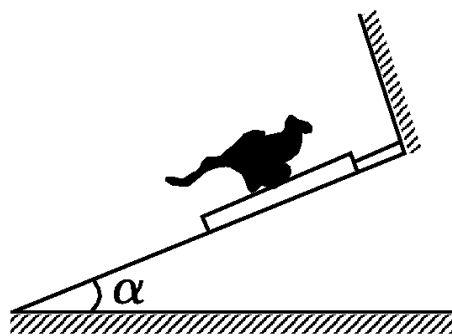


图 26-1

你看了猫的精彩表演后，你能分析其中的物理原理吗？若已知木板的质量是猫质量的 2 倍，你能算出猫必须使木板沿斜面以多大的加速度下滑，才能使自己不下滑吗？

基础梳理

用牛顿定律解决问题 (二)

平衡状态与平衡条件:如果一个物体在共点力的作用下,保持静止或匀速直线运动状态,我们就说这个物体处于平衡状态.在共点力作用下物体的平衡条件是合力为零,其数学表达式为 $F_{\text{合}}=0$ 或 $F_{x\text{合}}=0$, $F_{y\text{合}}=0$.

超重和失重:物体对支持物的压力(或对悬挂物的拉力)大于物体所受的重力的情况称为超重现象;物体对支持物的压力(或对悬挂物的拉力)小于物体所受的重力的情况称为失重现象.

物体对支持物的压力(或对悬挂物的拉力)为零的情况,称为完全失重.

知识精析

一、物体的平衡及平衡条件

1. 对共点力作用下物体的平衡的理解

(1) 两种平衡情形

①静平衡：物体在共点力作用下处于静止状态。

②动平衡：物体在共点力作用下处于匀速直线运动状态。

(2) “静止”和“ $v = 0$ ”的区别与联系

$v = 0$ 且 $a = 0$ 时，是静止，是平衡状态

$v = 0$ 且 $a \neq 0$ 时，不是静止，不是平衡状态

2. 对共点力作用下物体平衡条件的理解

(1) 共点力作用下物体的平衡条件可有两种表达式:

① $F_{\text{合}} = 0$, ② $F_{x\text{合}} = 0$, $F_{y\text{合}} = 0$, 其中 $F_{x\text{合}}$ 和 $F_{y\text{合}}$ 分别

是将力进行正交分解后, 物体在 x 轴和 y 轴上所受的合力

(2) 由平衡条件得出的结论

① 物体在两个力作用下处于平衡状态, 则这两个力必定等大反向, 是一对平衡力.

② 物体在三个共点力作用下处于平衡状态时, 任意两个力的合力与第三个力等大反向.

③物体受 N 个共点力作用处于平衡状态时，其中任意一个力与剩余 $(N - 1)$ 个力的合力一定等大反向。

④当物体处于平衡状态时，沿任意方向物体所受的合力均为零。

二、视重、失重与超重

1. 视重：当物体挂在弹簧测力计下或放在水平台秤上时，弹簧测力计或台秤的示数称为“视重”，大小等于秤所受的拉力或压力。

2. 视重、失重和超重的关系

加速度 情况	现象	视重(F)	视重(F)与重 力(mg)比较
平衡状态 $a=0$	等重	$F=mg$	$F=mg$
a 向上	超重	$F=m(g+a)$	$F>mg$
a 向下	失重	$F=m(g-a)$	$F<mg$
$a=g$ 向下	完全 失重	$F=0$	$F=0<mg$

3.“超重”与“失重”的本质

(1) 超重与失重现象仅仅是一种表象，所谓超重与失重，只是拉力（或支持力）的增大或减小，是“视重”的改变，改变量为 ma ， a 为物体竖直方向的加速度。

(2) 物体处于超重状态时，物体不一定是向上加速运动，也可以是向下减速运动，即只要物体的加速度方向是向上的，物体就处于超重状态，物体的运动方向可能向上也可能向下。同理，物体处于失重状态时，物体的加速度向下，物体既可以做向下的加速运动，也可以做向上的减速运动。

(3) 无论是超重还是失重，物体所受的重力都没有变



方法指导

一、理解平衡状态

例 1 物体在共点力作用下，下列说法正确的是 ()

- A. 物体的速度等于零，物体就一定处于平衡状态
- B. 物体相对另一物体保持静止时，物体一定处于平衡状态
- C. 物体所受合力为零时，就一定处于平衡状态
- D. 物体做匀加速运动时，物体处于平衡状态

解析 本题考查对于平衡状态的判断，处于平衡状态的物体，从运动形式上是处于静止或匀速直线运动状态，从受力上来看，物体所受合外力为零。速度为零的物体，受力不一定为零，故不一定处于平衡状态，选项 A 错；物体相对于另一物体静止时，该物体相对地面不一定静止，如当另一物体做变速运动时，该物体也做变速运动，此物体处于非平衡状态，故选项 B 错；选项 C 符合平衡条件的判断，为正确选项；物体做匀加速运动，所受合力不为零，故不是平衡状态，选项 D 错。

答案 C

解析 根据平衡条件分析 B 的受力可知 AB 绳的拉力情况，从而确定 A 球的受力情况，根据平衡条件判断出作用在 A 球上的外力 F 的可能范围。

因为 BO 处于竖直方向，所以 B 只受重力和竖直绳 OB 的拉力，绳 AB 没有力的作用，故而可知 A 球只受三个力的作用：重力，绳 OA 的拉力、外力。根据平衡条件， A 所受合外力为零，即绳 OA 的拉力与重力的合力一定与第三个力是一对平衡力。绳 OA 拉力大小不确定，所以其与重力的合力可能范围在两力的夹角内，那么外力的范围是该角的对顶角，综上选项 B 、 C 正确。

答案 BC

变式训练 1

(1) 在例 2 中，如果去掉 B 球，只存在 A 球。 A 仍静止在图示位置，那么该题应选哪几项？ ()

(2) 在例 2 中，若把 OA 换成一绕 O 点转动的轻杆，其他条件不变，又应选哪几项？ ()

解析 (1) 从上面分析知绳 AB 无作用力，即有没有 B 球对本题无影响，故选项 B 、 C 正确。

(2) 如果杆上产生的是拉力与原题相同，可能的范围不变；如果杆上产生的是压力，那么外力的可能方向应在竖直方向与 OA 夹角的锐角内。故换成杆后的范围增大了一个锐角。故选项 B 、 C 、 D 正确。

答案 (1)BC (2)BCD

三、超重与失重

例 3 悬挂在电梯天花板上的弹簧测力计的钩子挂着质量为 m 的物体，电梯静止时弹簧测力计的示数为 $G = mg$ 。下列说法正确的是 ()

A. 当电梯匀速上升时，弹簧测力计的示数增大，电梯匀速下降时，弹簧测力计的示数减小

B. 只有电梯加速上升时，弹簧测力计的示数才会增大，只有电梯加速下降时，弹簧测力计的示数才会减小

C. 不管电梯向上或向下运动，只要加速度的方向竖直向上，弹簧测力计的示数一定增大

D. 不管电梯向上或向下运动，只要加速度的方向竖直向下，弹簧测力计的示数一定减小

解析 超重是加速度方向向上，示数大于重力；失重是加速度方向向下，示数小于重力，与运动方向无关，因此选项 A、B 错误，C、D 正确。

答案 CD

点评 (1) 判断超重现象和失重现象，其关键是看加速度的方向，而不是运动的方向。

(2) 如知道物体处于超重状态，只能知道物体的加速度方向向上，物体是向上加速还是向下减速却无法判断。

(3) 如求物体的视重，则可选加速度方向为正方向，分析物体受力，利用牛顿第二定律求得。

变式训练 2

如图 26-3 所示，升降机天花板上用轻弹簧悬挂一物体，升降机静止时弹簧伸长 10 cm，运动时弹簧伸长 9 cm，则升降机的运动状态可能是（取 $g=10 \text{ m/s}^2$ ）（ ）

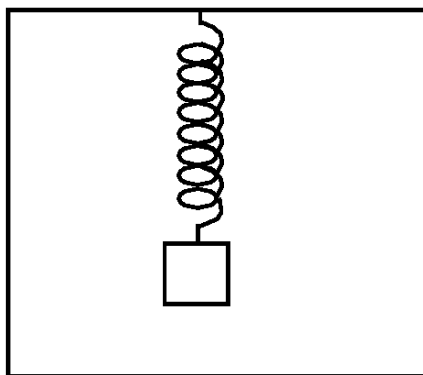


图 26-3

- A. 以 $a = 1 \text{ m/s}^2$ 的加速度加速下降
- B. 以 $a = 1 \text{ m/s}^2$ 的加速度加速上升
- C. 以 $a = 9 \text{ m/s}^2$ 的加速度减速上升
- D. 以 $a = 9 \text{ m/s}^2$ 的加速度加速下降

解析 设物体的质量为 m ，弹簧的劲度系数为 k 。

升降机静止时，有： $kx_1 = mg$

升降机运动时，有： $kx_2 < mg$ ，物体受的合外力向下

弹簧的拉力小于物体重力，物体处于失重状态，有

向下的加速度，取向下为正方向。由牛顿第二定律得：

$$mg - kx_2 = ma$$

将 $k = \frac{mg}{x_1}$ 代入上式得： $a = \frac{x_1 - x_2}{x_1} g = 1 \text{ m/s}^2$

可见升降机正以 $a = 1 \text{ m/s}^2$ 的加速度加速下降或减速上升，只有选项 A 正确。

答案 A

例 4 一位同学的家住在一座 25 层的高楼内，他每天乘电梯上楼，随着所学物理知识的增多，有一天他突然想到，能否用所学物理知识较为准确地测出这座楼的高度呢？在以后的一段时间内他进行了多次实验测量，步骤如下：

经过多次仔细观察和反复测量，他发现电梯启动后的运动速度符合图 26-4 所示的规律，他就根据这一特点在电梯内用台秤、重物和停表测量这座楼房的高度。他将台秤放在电梯内，将重物放在台秤的托盘上，电梯从第一层开始启动，经过不间断的运行，最后停在最高层。在整个过程中，他记录了台秤在不同时间段内的示数，记录的数据如下表所示。但由于 $0 \sim 3.0 \text{ s}$ 段的时间太短，他没有来得及将台秤的示数记录下来，假设在每个时间段内台秤的示数都是稳定的，重力加速度 g 取 10 m/s^2 。

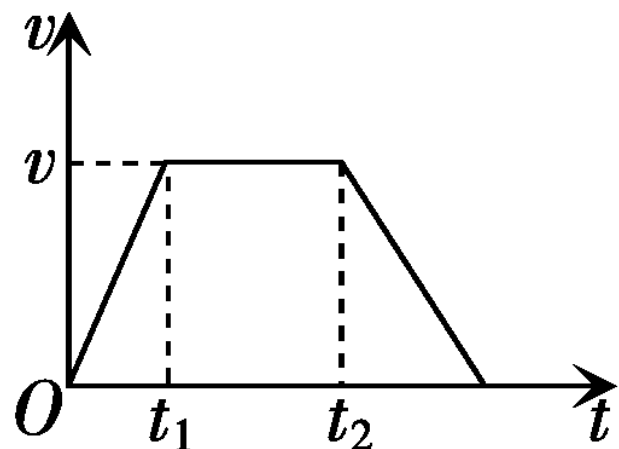


图 26-4

时间/s	台秤示数/kg
电梯启动前	5.0
0~3.0	
3.0~13.0	5.0
13.0~19.0	4.6
19.0 以后	5.0

(1) 电梯在 0 ~ 3.0 s 时间段内台秤的示数应该是多少

?

(2) 根据测量的数据计算该楼房每一层的平均高度.

解析 结合 $v-t$ 图象，根据台秤的示数，由牛顿定律求出各段运动的加速度，再结合运动学知识，即可求出楼层高度。但应注意电梯由一楼到停在最高层，上升了 24 个楼层高度。

(1) 电梯启动前，台秤的示数为 5.0 kg ，则物体的重力 $G=mg=50 \text{ N}$ 。

由于表中各段时间内台秤示数恒定，所以在时间 t_1 ($0 \sim 3.0 \text{ s}$) 内，物体做匀加速运动，在时间 t_2 ($3.0 \sim 13.0 \text{ s}$) 内物体做匀速直线运动，在时间 t_3 ($13.0 \sim 19.0 \text{ s}$) 内物体做匀减速直线运动， 19.0 s 末速度减为零。

在 $13.0 \sim 19.0 \text{ s}$ 内，物体所受的支持力 $F_{N3} = 46 \text{ N}$ ，根据牛顿第二定律，得： $mg - F_{N3} = ma_3$

故在时间 t_3 内物体的加速度为:

$$a_3 = \frac{mg - F_{N3}}{m} = 0.8 \text{ m/s}^2.$$

13. 0 s 末物体的速度 $v_2 = a_3 t_3 = 4.8 \text{ m/s}$

而由于电梯在 13.0 s 末的速度与 3.0 s 末的速度相同, 因此根据匀变速运动规律, 物体在 0~3.0 s 内的加速度为:

$$a_1 = \frac{v_2}{t_1} = 1.6 \text{ m/s}^2$$

根据牛顿第二定律得: $F_{N1} - mg = ma_1$

解得: $F_{N1} = 58 \text{ N}$, 即台秤的示数为 5.8 kg.

(2) 0~3.0 s 内物体的位移 $x_1 = \frac{1}{2}a_1t_1^2 = 7.2 \text{ m}$

3. 0~13.0 s 内物体的位移 $x_2 = v_2t_2 = 48 \text{ m}$

13. 0~19.0 s 内物体的位移 $x_3 = \frac{v_2}{2}t_3 = 14.4 \text{ m}$

则电梯上升的总高度，实际为 24 层的总高度为：

$$x = x_1 + x_2 + x_3 = 69.6 \text{ m}$$

平均每层楼高 $h = \frac{x}{24} = 2.9 \text{ m}$.

答案 (1)5.8 kg (2)2.9 m

互动平台

育才老师与细心同学关于“猫的滑板表演”的对话

育才：你看了猫的精彩表演后，知道其中的物理原理了吗？

细心：原理主要是牛顿运动定律。

育才：若已知木板的质量是猫的质量的 2 倍，则猫必须使木板沿斜面以多大的加速度下滑，才能使自己相对斜面的位置不变？

细心：设猫和木板的质量分别为 m 、 M ，绳子断开后，因为猫相对斜面的位置不变，所以猫受力平衡，可知猫受到板沿斜面向上的作用力应与其重力沿斜面向下的分力平衡，即有：
$$F = mgsin \alpha$$

再对板进行受力分析，由牛顿第三定律可知猫对板沿斜面向下的作用力为 $F' = mgsin \alpha$

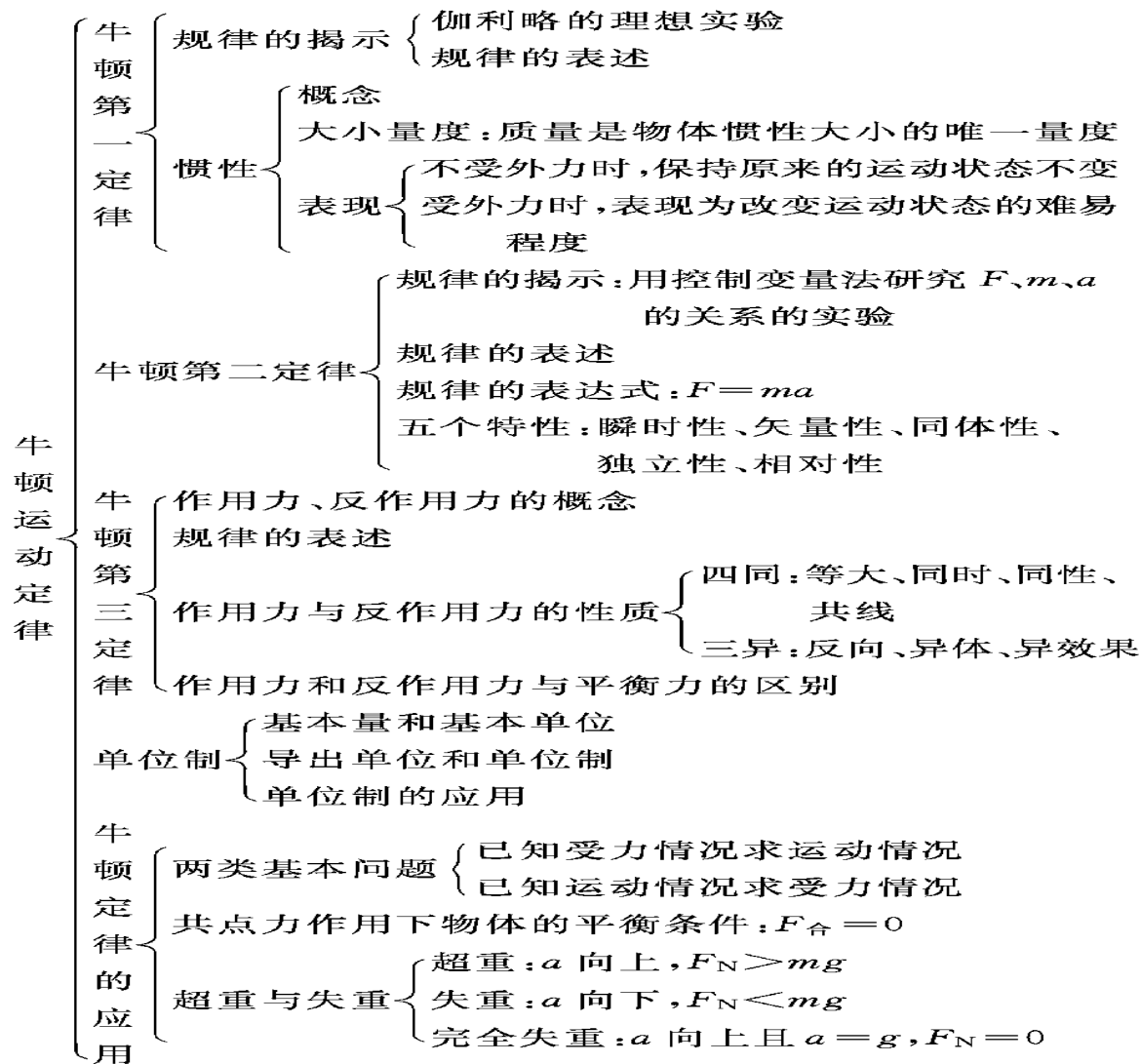
对板应用牛顿第二定律得：
$$F' + Mgsin \alpha = Ma$$

又 $M = 2m$

由以上各式解得：
$$a = \frac{3}{2} gsin \alpha.$$

课时 27 《牛顿运动定律》单元小结

本单元知识梳理



方法归纳

一、两种重要思维方法

1. 理想实验法：所谓“理想实验”，又叫“假想实验”，它是人们在思想中塑造的理想过程，是一种逻辑推理的思维过程和理论研究的重要方法，“理想实验”不同于科学实验，它是在真实的科学实验的基础上，抓住主要矛盾，忽略次要矛盾，对实际过程作出更深层次的抽象思维。

惯性定律就是理想实验得出的一个重要结论。

2. 控制变量法：这是物理学上常用的研究方法，在研究三个物理量之间的关系时，先让其中一个量保持不变，研究另外两个量之间的关系，最后总结三个量之间的相互关系，在研究牛顿第二定律，确定 F 、 m 、 a 三者之间的关系时，就采用了这种方法。

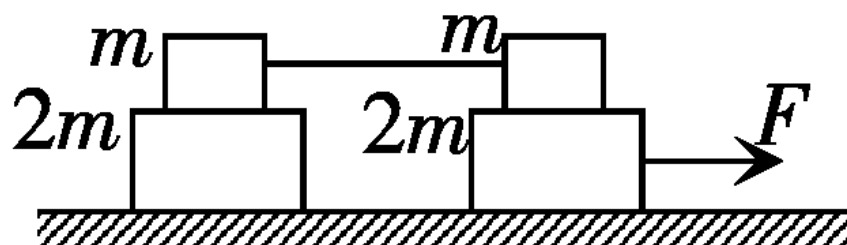
二、应用牛顿定律解题

1. 整体法与隔离法

(1) 整体法是把几个物体组成的系统作为一个整体来分析，隔离法是把系统中的某个物体单独拿出来研究。

(2) 整体法与隔离法解决问题时常常结合使用，对整体法和隔离法的灵活运用可以给解题带来很大的方便。

例 1 [2007 年高考·江苏物理卷] 如图 27-1 所示，光滑水平面上放置质量分别为 m 和 $2m$ 的四个木块，其中两个质量为 m 的木块间用一不可伸长的轻绳相连，木块间的最大静摩擦力是 μmg 。现用水平拉力 F 拉其中一个质量为 $2m$ 的木块，使四个木块以同一加速度运动，则轻绳对 m 的最大拉



A. $\frac{3\mu mg}{5}$

B. $\frac{3\mu mg}{4}$ **图 27-1**

C. $\frac{3\mu mg}{2}$

D. $3\mu mg$

解析 以两个上面小物体和后面的大物体为整体，分析知前面两物体间的摩擦力为该整体的动力，最先达到临界值 μmg ，设整体加速度为 a ，则：

$$\text{隔离前面 } m : \mu mg - F_T = ma$$

$$\text{隔离后面两物体： } F_T = (m + 2m)a$$

解得： $a = \mu g$ ， $F_T = \mu mg$ ，所以选项 B 正确。

答案 B

2. 图解法

此法是处理动态平衡常用的方法，比如在三力平衡情况下，一个力大小、方向固定，一个力方向固定，判断第三个力大小变化及求极值情况特别方便。

例 2 如图 27-2 甲所示，一个重为 G 的匀质球放在光滑斜面上，斜面倾角为 α ，在斜面上有一个光滑的不计厚度的木板挡住球，使之处于静止状态，今使板与斜面的夹角 β 缓慢增大，问：在此过程中，球对挡板和球对斜面的压力大小如何变化？

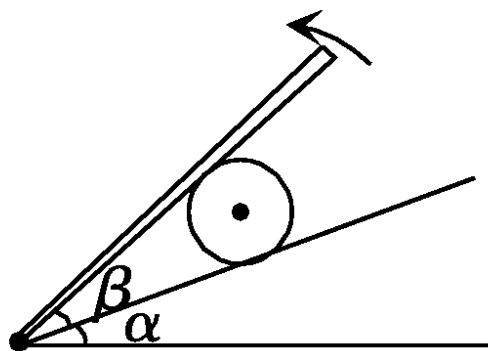


图 27-2 甲

解析 取球为研究对象，球受重力 G 、斜面支持力 F_1 、挡板支持力 F_2 ，因为球始终处于平衡状态，故三个力的合力始终为零，三个力构成封闭的三角形，当挡板逆时针转动时， F_2 的方向也逆时针转动，作出如图 27-2 乙所示的动态矢量三角形，由图可见， F 先减小后增大， F_1 随 β 增大而始终减小。

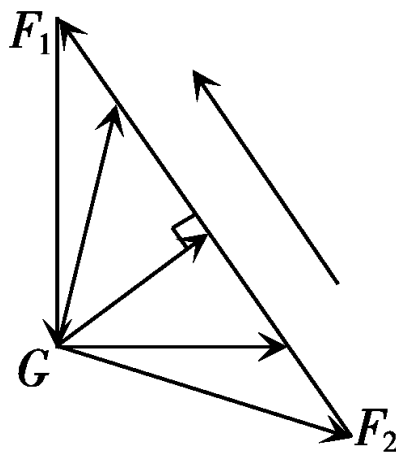


图 27-2 乙

由牛顿第三定律知，球对挡板的压力先减小后增大，对斜面的压力始终减小。

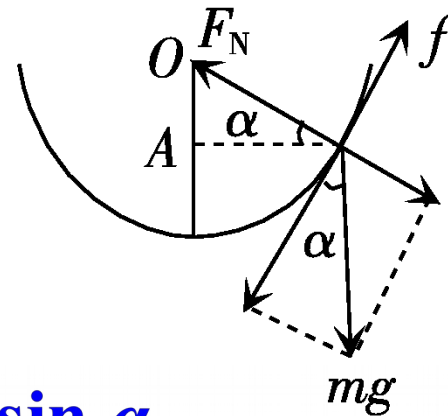
答案 见解析

3. 数形结合法

利用几何图形（直角三角形）、力的平行四边形、力的矢量三角形等处理平衡问题，如相似三角形法。

例 3 有一小甲虫，在半径为 r 的半球形碗中向上爬，设虫足与碗壁的摩擦因数为 $\mu = 0.75$. 试问它能爬到的最高点离碗底多高？

解析 此题中告诉我们的是一半球形碗，这很容易使某些同学误认为是一圆周运动题目而无从下手，实际上此题考查的是共点力平衡问题，小甲虫爬到的最高点，就是小甲虫努力往上爬但不能再升高时所处的位置。如图所示的位置为小甲虫能爬到的最高点，受力情况如图所示，则有：



$$mg \cos \alpha = f = \mu mg \sin \alpha$$

$$\text{得: } \cot \alpha = \mu = 0.75 = \frac{3}{4}$$

$$\text{则 } \sin \alpha = \frac{4}{5}, \quad \overline{OA} = r \sin \alpha = \frac{4}{5}r$$

$$\text{故 } h = r - \overline{OA} = \frac{1}{5}r.$$

$$\text{答案 } \frac{1}{5}r$$

4. 正交分解法

(1) 所谓正交分解法是指一个矢量分解在两个互相垂直的坐标轴上的方法.

(2) 正交分解法是一种常用的矢量运算方法, 其实质是将复杂的矢量运算转化为简单的代数运算, 从而简捷方便地解题.

(3) 正交分解法是解牛顿运动定律题目的最基本方法, 物体在受到三个或三个以上的不在同一直线上的力作用时一般都用正交分解法.

例 4 如图 27-3 甲所示, 质量 $m = 1 \text{ kg}$ 的小球穿在斜杆上, 球与杆之间的动摩擦因数 $\mu = \frac{1}{4}$, 用拉力 $F = 20 \text{ N}$ 竖直向上拉小球使它沿杆加速上滑, 则小球的加速度为多大? (g 取 10 m/s^2)

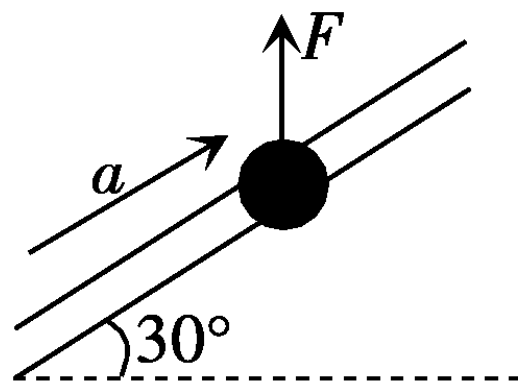


图 27-3 甲

解析 以小球为研究对象, 小球受重力 G 、拉力 F 和滑动摩擦力 F' 的作用, 这几个力方向较明确, 但杆对球的弹力沿什么方向需要具体判断.

建立如图 27-3 乙所示的坐标系，加速度方向沿 x 轴正方向，将 F 、 G 分解，在 x 轴方向上，由牛顿第二定律得：

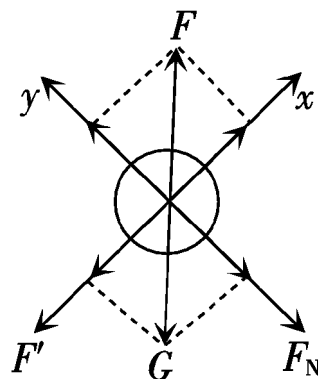


图 27-3 乙

$$F \sin 30^\circ - (\mu F_N + mg \sin 30^\circ) = ma$$

在 y 轴方向上，有：

$$F_N + mg \cos 30^\circ = F \cos 30^\circ$$

联立解得：

$$(F - mg) \sin 30^\circ - \mu(F - mg) \cos 30^\circ = ma$$

$$a = 1.25 \text{ m/s}^2.$$

答案 1.25 m/s^2

5. 临界分析法

在题目中如出现“最大”、“最小”、“刚好”等词语时，一般隐含着临界问题，处理这类问题时，可把物理问题（或过程）推向极端，从而使临界现象（或状态）暴露出来，达到尽快求解的目的。

例 5 光滑圆柱体放在 V 形槽中，截面如图 27-4 甲所示，它的左边接触点为 A ，V 形槽间夹角为 2α ($2\alpha > 90^\circ$)。用一细绳拴住 V 形槽，另一端通过定滑轮拴住一重物 m' 。设圆柱体质量为 m ，槽的质量为 M ，不计各种摩擦和滑轮的质量。当重物 m' 足够大时，在运动中圆柱体可以从槽中滚出。欲使圆柱体在运动中不离开 V 形槽，则重物 m' 应满足什么条件？

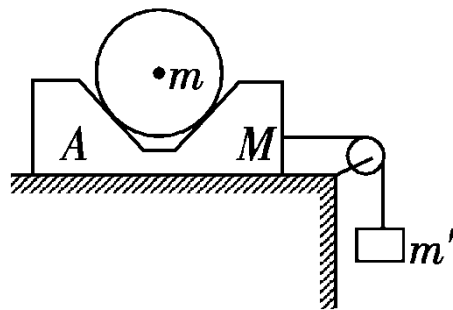


图 27-4 甲

解析 设想 m' 足够大， M 向右运动的加速度够多大， m 将会从 V 形槽中相对槽向左滚出，那么使圆柱体刚好不滚出时应对应圆柱体与槽右侧面间无作用力，如图所示，有：

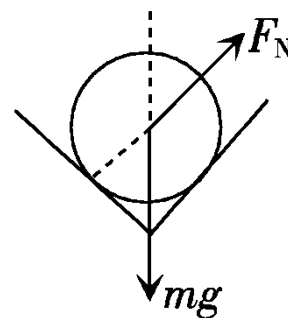


图 27-4 乙

$$F_N \cdot \sin \alpha = mg, \quad F_N \cdot \cos \alpha = ma$$

$$\text{所以 } a = g \cot \alpha$$

设绳中张力为 F ，以 m 、 M 为一个整体，由牛顿第二定律得：

$$F = (M + m)a$$

对 m' 应用牛顿第二定律得： $m'g - F = m'a$

$$\text{联立解得： } m' = \frac{(M + m)\cot \alpha}{1 - \cot \alpha}$$

所以当重物的质量满足 $m' \leq \frac{(M + m)\cot \alpha}{1 - \cot \alpha}$ 时，

圆柱体不会从槽中滚出。

答案 $m' \leq \frac{(M + m)\cot \alpha}{1 - \cot \alpha}$

6. 巧用超重、失重观点解决问题

根据牛顿运动定律可知，当质量为 m 的物体具有竖直向上的加速度 a 时，物体对水平支持面的压力或物体对绳的拉力大于物体受的重力，压力或拉力大于重力的部分在数值上等于 ma ，这种现象称为超重；当物体具有竖直向下的加速度时，物体对水平支持面的压力或对绳的拉力小于物体的重力，压力或拉力小于重力的部分在数值上等于 ma ，这种现象称为失重。

例 6 如图 27-5 甲所示，一个重力 $G = 4\text{ N}$ 的物体放在倾角为 30° 的光滑斜面上。斜面放在台秤上，当烧断细线后，物块正在下滑的过程中与稳定时比较，台秤的示数 ()

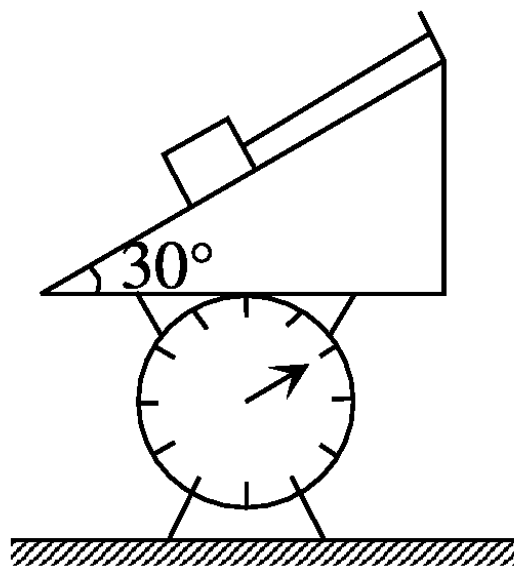


图 27-5 甲

- A. 减小 2 N
- B. 减小 1 N
- C. 增大 2 N
- D. 增大 1 N

解析 本题考虑整体法解，属于超重、失重的定量计算，烧断细线后，物体加速下滑，下滑加速度 $a = g \sin 30^\circ = \frac{1}{2}g$ ，方向沿斜面向下（如图 27-5 乙所示），其中竖直向下的分量 $a_{\perp} = a \sin 30^\circ = \frac{1}{4}g$

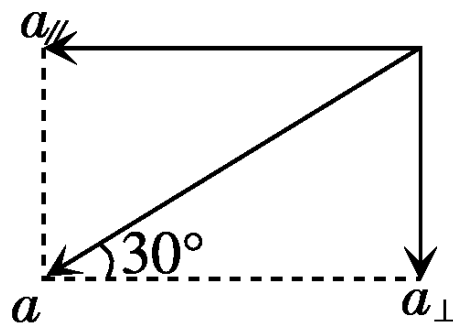


图 27-5 乙

所以物块 G 失重，台秤的示数减小量为：

$$ma_{\perp} = \frac{1}{4}G = 1 \text{ N}.$$

答案 B