

CONTENTS

知识清单

第一章 描述运动的基本概念

1 参考系 时间 质点	1
2 位置 位移	3
3 位置变化的快慢与方向——速度	5
4 实验:用打点计时器测量小车的速度	7
5 速度变化的快慢与方向——加速度	10

第二章 匀变速直线运动的规律

1 匀变速直线运动的研究	13
2 匀变速直线运动速度与时间的关系	16
3 匀变速直线运动位移与时间的关系	18
4 匀变速直线运动规律的应用	19
5 自由落体运动	20

第三章 相互作用

1 力 重力	23
2 弹 力	24
3 摩擦力	27
4 力的合成	29
5 力的分解	32
6 共点力作用下物体的平衡	35

第四章 牛顿运动定律

1 牛顿第一定律	38
2 探究加速度与力、质量的关系	39
3 牛顿第二定律	41
4 力学单位制	42
5 牛顿第三定律	43
6 牛顿运动定律的应用	44
7 超重与失重	45

第一章

描述运动的基本概念

1 参考系 时间 质点

知识点1 参考系

1.参考系的四性

标准性	作为参考系的物体,不论原来的运动情况如何,都假定静止,被研究的物体都是以参考系为标准的
任意性	参考系的选取在原则上是任意的
同一性	比较不同物体的运动应选择同一参考系
差异性	对于同一物体,选择不同的参考系,结果可能不同

2.参考系的选取原则

- (1)理论上:参考系的选择具有任意性。
- (2)实际问题中:以观测方便和使运动的描述尽可能简单为原则。
- ①研究地面上物体的运动时,常选地面或相对地面静止的物体作为参考系。
- ②研究某一系统中物体的运动时,常选系统为参考系。例如:*a.*研究列车员在列车上的运动情况时,选取列车为参考系;*b.*研究太空舱内物体的运动情况时,选取太空舱为参考系。

3.判断参考系的两种方法

- (1)静物法:在明确观察到的现象中,什么物体是运动的,什么物体是静止的,静止的物体可能就是参考系。
- (2)假设法:假设以某物体为参考系,看对物体运动的描述是否与描述中的结果一致。若一致,该物体可能就是参考系。

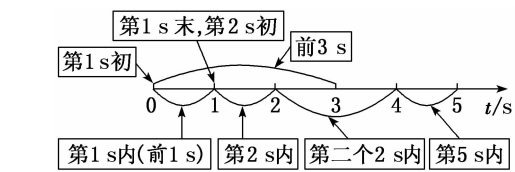
知识点2 时间和时刻

1.时刻与时间的比较

	时刻	时间
物理意义	事物运动、发展、变化过程所经历各个状态节点	事物运动、发展、变化所经历的过程长短的量度
用时间轴表示	用时间轴上的点表示	用时间轴上的线段表示

	时刻	时间
描述 关键词	“第 1 s 末”“第 3 s 初”“第 3 s 末”等	“第 1 s”“前 2 s”“前 3 s 内”等
联系	两个时刻的间隔即为一段时间,时间是一系列连续时刻的积累过程。时间能展示运动的一个过程,好比一段录像;时刻可以显示运动的一瞬间,好比一张照片	

2.时刻、时间的时间轴表示



两点注意:

- (1)第 $n\text{ s}$ 与 $n\text{ s}$ 的意义不同:前者指时间为 1 s ;后者指时间为 $n\text{ s}$ 。
- (2)第 $n\text{ s}$ 末与第 $(n+1)\text{ s}$ 初是同一时刻。

知识点 3 质点

1.理想化方法

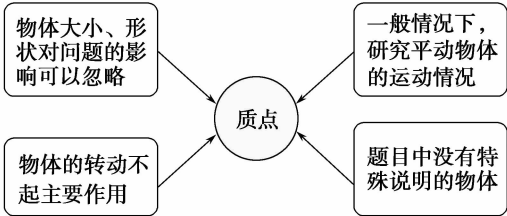
- (1)质点是一种科学的抽象,是一种理想化的物理模型,是在研究物体运动时,抓住主要因素,忽略次要因素,对实际物体进行的近似处理。
- (2)在物理学中,突出问题的主要因素,忽略次要因素,通过对事物的抽象,建立理想化“物理模型”,并将其作为研究对象,是经常采用的一种科学研究方法。

2.质点的三个特点

- (1)没有大小和形状。
- (2)具有物体的全部质量。
- (3)是一种理想化的物理模型,实际生活中并不存在。

3.把物体看作质点的条件:物体的大小和形状对研究问题的影响可以忽略不计,不论物体的大小如何,都可把物体看作质点。

4.可将物体看成质点的几种情况



5.物理学研究方法——建立理想化物理模型

- (1)理想化模型是为了使研究的问题得以简化或方便研究而进行的一种科学抽象,实际上并不存在。
- (2)在理想化模型的抽象过程中,应以研究目的为出发点,突出问题的主要因素,忽略次要因素,从而建立理想化物理模型。

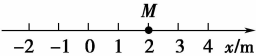
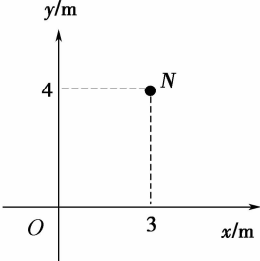
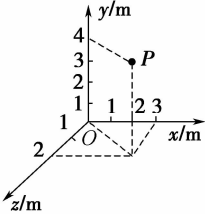
2 位置 位移

知识点1 确定质点位置的方法——坐标系

1.建立坐标系的意义和原则

- (1)意义:借助适当的坐标系可以定量地描述物体的位置及位置变化.
- (2)原则:建立坐标系的原则是确定物体的位置方便、简捷.

2.三种坐标系的比较

分类	直线坐标系	平面坐标系	三维坐标系
适用运动	物体沿直线运动时	物体在某平面内做曲线运动时	物体在空间内做曲线运动时
建立方法	在直线上规定原点、正方向和标度,即可组成直线坐标系	在平面内画相互垂直的 x 轴与 y 轴,即可组成平面直角坐标系.物体的位置由一对坐标值确定	在空间画三个相互垂直的 x 轴、 y 轴和 z 轴,即可组成三维坐标系.物体的位置由三个坐标值来确定
应用实例	 M 点位置坐标: $x=2\text{ m}$	 N 点位置坐标: $x=3\text{ m}, y=4\text{ m}$	 P 点位置坐标: $x=3\text{ m}, y=4\text{ m}, z=2\text{ m}$

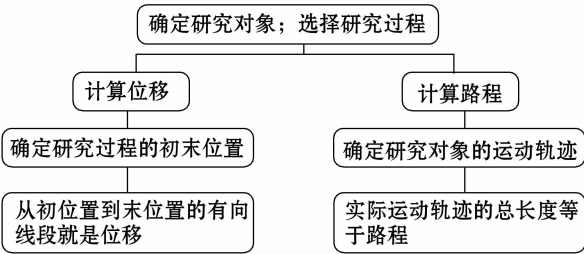
知识点2 位置的改变——位移

1.位移和路程的区别与联系:

项目		位移	路程
区别	物理意义	描述质点的位置变化	描述质点实际运动轨迹的长度
	定义	从初位置指向末位置的有向线段	物体运动轨迹的长度
	标矢性	是矢量,有大小和方向	是标量,只有大小,没有方向
	大小	初、末位置之间的距离,由初、末位置决定,与路径无关	运动轨迹的长度,与路径有关

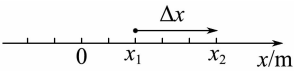
项目	位移	路程
联系	(1)都是描述质点运动的物理量 (2)单位相同,在国际单位制中,都是“米” (3)都是过程量 (4)位移的大小总小于或等于路程,只有在质点做单向直线运动时,位移的大小才等于路程	

2.求解位移和路程的思路：



3.直线运动中物体的位移

研究直线运动时,在物体运动的直线上建立 x 轴,如图所示。



做直线运动的物体,它的初位置为 x_1 ,末位置为 x_2 ,则物体的位移是由 x_1 指向 x_2 的有向线段,其大小等于末位置与初位置的坐标之差 $x_2 - x_1$,记为 $\Delta x = x_2 - x_1$ 。 x 既表示位移的大小,又表示位移的方向。

- (1) Δx 的绝对值表示位移的大小。
- (2) Δx 的正、负表示位移的方向——“正”表示位移 s 的方向与 x 轴的正方向相同;“负”表示位移 Δx 的方向与 x 轴的正方向相反。

知识点 3 位移—时间图像

1. $x-t$ 图像的画法

在平面直角坐标系中,用横轴表示时间 t ,纵轴表示位置 s ,根据给出的(或测量的)数据,描出几个点,用平滑的曲线将这几个点连接起来。

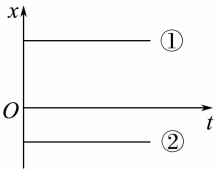
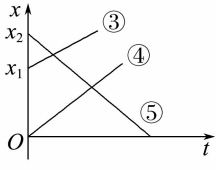
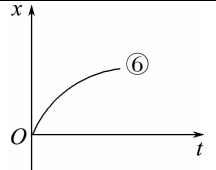
2. $x-t$ 图像的意义

反映了物体的位置随时间变化的规律。

3.从 $x-t$ 图像中可获得的信息

位移	大小	初、末位置的纵坐标差的绝对值
	方向	末位置与初位置的纵坐标差的正负值,正值表示位移沿正方向,负值表示位移沿负方向
运动开始位置		图线起点纵坐标
运动开始时刻		图线起点横坐标
两图线交点的含义		表示两物体在同一位置(相遇)

4.常见的几种 $x-t$ 图像的比较

图像	物理意义
	①、②都表示物体处于静止状态,但静止的位置不同
	③表示物体从 x_1 处沿正方向做匀速直线运动; ④表示物体从 $x=0$ 处沿正方向做匀速直线运动; ⑤表示物体从 x_2 处沿负方向做匀速直线运动
	⑥表示物体做变速直线运动,且运动得越来越慢

重点提醒:位移—时间图像反映的是物体做直线运动时位移随时间的变化关系,不是物体的运动轨迹;位移—时间图像只能描述直线运动,不能描述曲线运动.

3 位置变化的快慢与方向——速度

知识点1 平均速度和瞬时速度

1.平均速度与瞬时速度的区别与联系

		平均速度	瞬时速度
区别	物理意义	反映一段时间内物体运动的平均快慢程度,与一段位移或一段时间相对应	精确描述物体运动的快慢及方向,与某一时刻、某一位置相对应
	大小	由公式 $v=\frac{\Delta x}{\Delta t}$ 求出	根据 $v=\frac{\Delta x}{\Delta t}$ (Δt 极小) 近似得到
	方向	与该段过程的位移方向相同,与运动方向不一定相同	与该时刻物体运动的方向相同
联系		(1)瞬时速度总为零时,平均速度一定为零;平均速度为零时,瞬时速度不一定为零 (2)在匀速直线运动中,平均速度和瞬时速度相等 (3)当位移足够小或时间足够短时,可以认为平均速度就等于瞬时速度	

2. 平均速度的两种常见错误

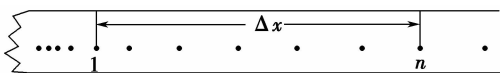
(1) 认为平均速度就等于速度的平均值, 即 $\bar{v} = \frac{v_1 + v_2}{2}$ (v_1 、 v_2 分别是物体的初、末速度). 实际上这个式子对于极个别的运动适用, 但对于一般的直线运动和曲线运动是不适用的.

(2) 认为平均速度大小等于平均速率. 在计算平均速度时, 用路程与时间的比值去求解. 而实际上平均速度必须依据其定义用位移与时间的比值去求解, 并且必须强调针对的是哪段位移(或哪段时间).

知识点 2 速度的测量

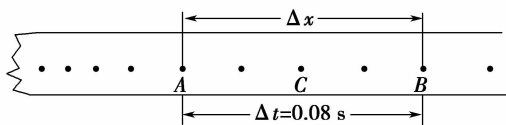
1. 求解平均速度

根据 $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$, 求出任意两点间的平均速度. 两点间的位移 Δx 可以用刻度尺测量出, Δt 为两点间的间隔数与单个时间间隔 0.02 s 的乘积. 如图所示, 将打好点的纸带从能够看清的某个点开始, 往后数出若干个, 比如共数出 n 个点, 用刻度尺测出第一个点到第 n 个点的距离 Δx , 并算出这 n 个点的时间间隔, 则平均速度 $\bar{v} = \frac{\Delta x}{(n-1)T}$ ($T = 0.02 \text{ s}$).



2. 粗略计算瞬时速度

当一段位移 Δx 对应的时间 Δt 很小时, 我们可用这段时间内的平均速度来表示 Δt 中某一时刻的瞬时速度. 如图所示, $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ 可以大致表示 C 点的瞬时速度, 即 $v_C = \frac{\Delta x}{\Delta t}$, A 、 B 两点离 C 点越近, 算出的平均速度越接近于 C 点的瞬时速度. 然而 A 、 B 两点距离过小时, 测量误差会增大, 所以应根据实际情况选取这两个点.



知识点 3 速度—时间图像

1. 坐标系的建立

- (1) 在坐标纸上画出平面直角坐标系.
- (2) 标出坐标原点.
- (3) 标出两个坐标轴代表的物理量的符号及单位: 纵轴为速度 v , 横轴为时间 t .
- (4) 在两个坐标轴上选择合适的单位长度.

2. $v-t$ 图像的描绘

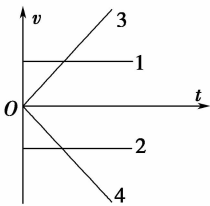
- (1) 根据不同时刻对应的瞬时速度值, 在坐标系中描点.

- (2)用平滑曲线来“拟合”实验中描出的点.
- (3) $v-t$ 图像只能描述直线运动的速度与时间关系.

3. $v-t$ 图像的应用

由图像判断物体的运动性质.瞬时速度为正,说明物体的运动方向与选定的正方向相同;瞬时速度为负,说明物体的运动方向与正方向相反.

如图,若图线平行于 t 轴,说明物体做匀速运动;若图线是倾斜的直线,说明物体做变速运动.



- 如图线 1,物体沿正方向做匀速运动;
- 如图线 2,物体沿负方向做匀速运动;
- 如图线 3,物体沿正方向做加速运动;
- 如图线 4,物体沿负方向做加速运动.

4 实验：用打点计时器测量小车的速度

知识点 1 实验原理

1.运动时间和位移的记录

(1)应用打点计时器记录运动的时间和位移

①纸带记录的信息

打点计时器打出的点迹记录了物体运动的时间和位移信息。

②两种打点计时器的比较

	电火花打点计时器	电磁打点计时器
结构 图示		
工作电压	220 V 交流电	4~6 V 交流电
打点方式	周期性产生电火花	振针周期性上下振动
打点周期	0.02 s	0.02 s
打点原理	电火花激发碳粉打点	振针挤压纸带打点
阻力大小	阻力较小	阻力较大
记录信息	位移、时间	

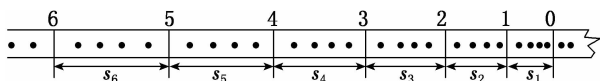
(2)应用频闪照相法记录物体运动的时间和位移

①频闪灯每隔相等的时间曝光一次,当物体运动时利用照相机可以拍下物体每隔相等的时间到达的位置。频闪照相法与打点计时器使用的效果一样,都是既记录了物体的位移又记录了运动的时间,只不过打点计时器用点表示了物体的位置,频闪照相法得到的是物体像的位置。

②频闪照相法与打点计时器法的比较

频闪照相法与打点计时器法相比,频闪灯的闪光频率相当于打点计时器交变电源的频率;频闪照片上相同的时间间隔的影像则与打点计时器在纸带上打出的点相当。频闪照片既记录了物体运动的时间信息,又记录了物体运动的位移信息。通过对照片的研究,就可以分析物体运动的速度变化规律。

2.瞬时速度的计算



小车下滑过程中打点计时器打出的纸带如图所示,在纸带上,选取便于测量的某点作为计时的起点,记为0,依次向后每5个点选取一个计数点,分别记为1,2,3,...,用刻度尺量出相邻计数点间的长度,分别记为 $s_1, s_2, s_3, \dots$ 。

(1)若打点计时器的工作周期为 0.02 s ,那么相邻计数点间隔的时间 $T=5 \times 0.02\text{ s}=0.1\text{ s}$ 。

(2)在间隔时间很短的情况下,平均速度可近似视为瞬时速度。各计数点对应的瞬时速度

可近似用平均速度来代替,即 $v_1 = \frac{s_1 + s_2}{2T}, v_2 = \frac{s_2 + s_3}{2T}, \dots, v_n = \frac{s_n + s_{n+1}}{2T}$ 。

3.判断物体是否做匀变速直线运动的方法

(1)利用 $v-t$ 图像判断物体是否做匀变速直线运动。

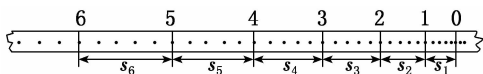
(2)利用 $\Delta s = s_2 - s_1 = s_3 - s_2 = \dots = s_n - s_{n-1} = aT^2$ 判断物体是否做匀变速直线运动。

4.加速度的计算

(1)应用 $v-t$ 图像的斜率求加速度。

(2)逐差法求加速度。

以如图所示的纸带为例:



根据 $s_4 - s_1 = (s_4 - s_3) + (s_3 - s_2) + (s_2 - s_1) = 3a_1 T^2$ 。同理有 $s_5 - s_2 = 3a_2 T^2, s_6 - s_3 =$

$3a_3 T^2$, 求出 $a_1 = \frac{s_4 - s_1}{3T^2}, a_2 = \frac{s_5 - s_2}{3T^2}, a_3 = \frac{s_6 - s_3}{3T^2}$, 再算出 a_1, a_2, a_3 的平均值, 即所求加速度

$$a = \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3} = \frac{\Delta s_1 + \Delta s_2 + \Delta s_3}{3 \times 3T^2} = \frac{(s_4 + s_5 + s_6) - (s_1 + s_2 + s_3)}{9T^2}。$$

知识点2 实验器材

电磁打点计时器(或电火花打点计时器)、纸带、低压交流电源(或 220 V 交流电源)、小车、U形夹、长木板(或轨道)、毫米刻度尺。

知识点3 实验步骤

1.将打点计时器固定在长木板的一端,并用垫片垫高此端,使木板倾斜。

2.将长 60 cm 左右的纸带一端穿过打点计时器,另一端固定于小车,尽量让小车靠近打点计时器。

3.闭合电路开关,稍后释放小车,待小车滑到斜面底端时止住小车,关闭开关,取下纸带,检查点迹。

4. 选择一条点迹最清晰的纸带,舍掉开头一些过于密集的点,找一适当的点记为点 0。在该点后面,依次标出间隔时间相等的计数点 1,2,3,4,5,...
5. 根据打点计时器的周期,计算各计数点到 0 点对应的时间 t ,测量各计数点与下一相邻计数点间的距离 s ,并将数据填入设计好的表格中。

知识点 4 数据分析

1. 表格法

计数点	0	1	2	3	4	5	6
时间 t/s							
s/m							
$v/(m \cdot s^{-1})$							

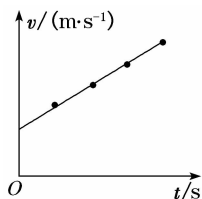
(1) 利用 $v_n = \frac{s_n + s_{n+1}}{2T}$,求得计数点 1,2,3,4,...的瞬时速度,填入上面的表格中。

(2) 根据表格的数据,分析小车速度随时间怎样变化。

2. 图像法

(1) 在坐标纸上建立直角坐标系,横轴表示时间,纵轴表示速度,并根据表格中的数据在坐标系中描点。

(2) 画一条直线,让这条直线通过尽可能多的点,不在线上的点均匀分布在直线的两侧,偏差比较大的点忽略,如图所示。



(3) 观察所得到的直线,分析小车的速度随时间变化的规律。

知识点 5 误差分析

误差	产生原因	减小方法
偶然误差	①纸带上计数点间距离的测量不准确 ②作出的 $v-t$ 图像并非一条直线	①多次测量求平均值 ②大多数点在图线上,不在图线上的点尽可能均匀分布在图线两侧
系统误差	①小车、纸带运动过程中有摩擦 ②电源的不稳定性	①使用电火花打点计时器 ②使用稳压电源

知识点 6 注意事项

- 实验中长木板不宜垫得过高,以免加速度过大而使纸带上的点太少;也不宜垫得过低,以免加速度太小而使各段位移差别不大。
- 开始释放小车时,应使小车靠近打点计时器。
- 先接通电源,等打点稳定后,再释放小车。

4.取下纸带前,先断开电源。

5.选取一条点迹清晰的纸带,适当舍弃点迹密集的部分,选取适当的计数点(注意计数点与计时点的区别),弄清楚所选的时间间隔 T 的数值。

6.在坐标纸上画 $v-t$ 图像时,注意坐标轴单位长度的选取,应使图像尽量占满坐标纸。

5 速度变化的快慢与方向——加速度

知识点 1 加速度的理解及计算

1.对加速度的理解

(1)加速度是表示速度变化快慢的物理量,加速度越大,速度变化越快,加速度越小,速度变化越慢。

(2) $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ 是加速度的定义式,不能说 a 与 Δv 成正比,与 Δt 成反比,速度变化量 Δv 大,加速度 a 不一定大,比如,列车由静止到高速行驶,速度变化量很大,但经历时间也长,所以加速度并不大。

(3)速度 v 大,速度变化量 Δv 不一定大,比如,匀速飞行的飞机速度很大,速度变化量 Δv 为零,加速度 a 等于零。速度 v 小,加速度 a 不一定小,比如射击瞬间的子弹。所以 v 、 Δv 、 a 大小无直接关系。

(4) $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ 叫速度变化率,表示单位时间速度变化大小。

2.加速度的计算

(1)规定正方向。一般选初速度 v_1 的方向为正方向。

(2)判定 v_2 的方向,确定 v_2 的符号。

(3)利用公式 $a = \frac{v_2 - v_1}{t}$ 计算。要注意速度反向情况下,速度变化量的计算。

3.速度、速度变化量、加速度的比较

	速度 v	速度变化量 Δv	加速度 a
定义	位移与所用时间的比值	末速度与初速度的差值	速度变化量与时间的比值
表达式	$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$	$\Delta v = v_2 - v_1$	$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
单位	m/s	m/s	m/s^2
方向	为物体运动的方向,与 a 的方向不一定相同	由初、末速度决定,与 a 的方向相同	与 Δv 的方向相同,与 v 的方向不一定相同
物理意义	表示物体运动的快慢和方向	表示物体速度变化的大小和方向	表示物体速度变化的快慢和方向
大小关系	三个物理量的大小没有必然联系,其中一个物理量较大时,其余两个物理量不一定较大		

知识点 2 加速度对物体运动的影响

1. 判断物体速度的大小变化情况, 不必去管加速度大小, 只需看加速度的方向与速度的方向是否相同. 若加速度方向与速度的方向相同, 则物体一定加速; 若加速度方向与速度的方向相反, 则物体一定减速. 具体情况概括如下:

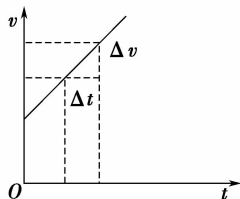
$$\left\{ \begin{array}{l} a, v \text{ 同向}, v \text{ 增大? 加速运动} \left\{ \begin{array}{l} a \text{ 不变}, v \text{ 均匀增大} \\ a \text{ 增加}, v \text{ 增加得越来越快} \\ a \text{ 减小}, v \text{ 增加得越来越慢} \end{array} \right. \\ a, v \text{ 反向}, v \text{ 减小? 减速运动} \left\{ \begin{array}{l} a \text{ 不变}, v \text{ 均匀减小} \\ a \text{ 增加}, v \text{ 减小得越来越快} \\ a \text{ 减小}, v \text{ 减小得越来越慢} \end{array} \right. \\ a=0, \Delta v=0, v \text{ 不变, 物体做匀速直线运动} \end{array} \right.$$

2. 判断物体速度变化的快慢, 只需看加速度的大小. 物体的加速度大, 则表明物体的速度变化较快; 加速度小则表明物体的速度变化较慢.
3. 注意: 不能根据加速度的正、负来判断物体做加速运动还是做减速运动, 要根据加速度与速度的方向关系来判断. 例如做直线运动的物体, 某时刻物体的速度 $v = -5 \text{ m/s}$, 加速度 $a = -1 \text{ m/s}^2$, 则物体沿与规定的正方向相反的方向做加速直线运动.

知识点 3 从 $v-t$ 图像看加速度

1. $v-t$ 图像的斜率表示加速度大小

如图所示的 $v-t$ 图像中, 图线的倾斜程度(斜率) $k = \frac{\Delta v}{\Delta t} = a$, 表示物体的加速度. 斜率越大, 加速度越大; 斜率越小, 加速度越小; 斜率为零, 加速度为零, 即速度保持不变.

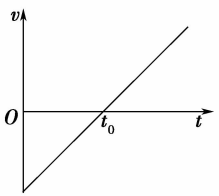


2. 斜率的正负表示加速度的方向

斜率为正, 表示加速度的方向与正方向相同; 斜率为负, 表示加速度的方向与正方向相反.

3. 由 $v-t$ 图像判断速度的变化

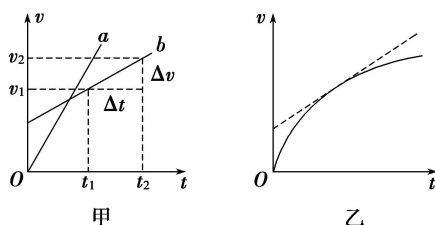
通过 $v-t$ 图像可直观判断出速度的正、负与加速度的正、负无关. 如图所示, 在整个运动过程中物体的加速度 $a > 0$.



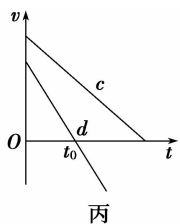
(1)在 $0 \sim t_0$ 时间内, $v < 0, a > 0$, 物体做减速运动;

(2)在 $t > t_0$ 时间内, $v > 0, a > 0$, 物体做加速运动.

4. $v-t$ 图像为倾斜直线时, 表示斜率不变, 物体加速度不变, 倾斜程度越大, 加速度越大, 如图甲, a 的加速度比 b 的加速度大。



5. $v-t$ 图像为曲线时, 则切线的斜率表示加速度, 如图乙, 切线斜率变小, 加速度变小。



6. 图甲中图线 a, b 斜率为正, 代表 $a > 0$ 。

图丙中图线 c, d 斜率为负, 代表 $a < 0$ 。

图线 d 在 $0 \sim t_0$ 内, $v > 0, a < 0$, 物体做减速运动; 在 $t > t_0$ 时, $v < 0, a < 0$, 物体做加速运动。

第二章

匀变速直线运动的规律

1 匀变速直线运动的研究

知识点 1 匀变速直线运动

1. 定义: 速度随时间均匀变化的直线运动.

2. 特点

- (1) 任意相等时间内 Δv 相等, 速度均匀变化;
- (2) 加速度大小、方向都不变化(填“变化”或“不变化”).

3. 分类

- (1) 匀加速直线运动: 速度随时间均匀增加的匀变速直线运动.
- (2) 匀减速直线运动: 速度随时间均匀减小的匀变速直线运动.

知识点 2 实验: 研究小车的运动

1. 方案 1: 用打点计时器进行研究

- (1) 与第一章第四节实验采取类似的装置图, 但与其不同的在于不再使用手拉细线, 而是用细线下方悬挂钩码的方式来拉动小车, 使其运动.
- (2) 用手按住小车, 使其保持静止, 先开启打点计时器的电源, 待工作稳定后释放小车, 使它在恒定拉力作用下开始运动, 并打出一条纸带.
- (3) 测量位移、位移差与其对应的时刻填入表格.
- (4) 求瞬时速度、画 $v-t$ 图像.

2. 方案 2: 用位移传感器进行研究

- (1) 利用传感器实验系统, 我们可以在计算机屏幕上直接获得相关实验结果.
- (2) 实验系统包括位移传感器、数据采集器、计算机、力学轨道、小车等.
- (3) 获得数据利用软件线性拟合得到 $v-t$ 图像.

知识点 3 用打点计时器进行研究

1. 实验原理与方法

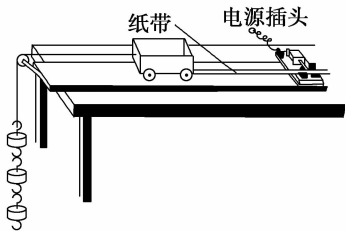
- (1) 利用打点计时器所打纸带的信息, 代入计算式 $v_n = \frac{x_n + x_{n-1}}{2T}$, 即用以 n 点为中心的一小段时间间隔的平均速度代替 n 点的瞬时速度.
- (2) 用描点法作出小车的 $v-t$ 图像, 根据图像的形状判断小车的运动性质. 若所得图像为一条倾斜直线, 则表明小车做匀变速直线运动.
- (3) 利用 $v-t$ 图像求出小车的加速度.

2. 实验器材

打点计时器、一端附有定滑轮的长木板、小车、纸带、细绳、钩码、刻度尺、导线、交流电源.

3.实验步骤

(1)如图所示,把一端附有滑轮的长木板放在实验桌上,并使滑轮伸出桌面,把打点计时器固定在长木板上没有滑轮的一端,连接好电路.

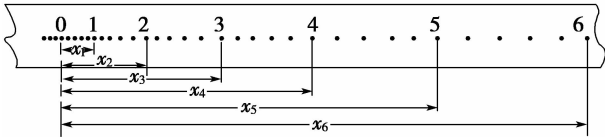


- (2)把一条细绳拴在小车上,使细绳跨过滑轮,下边挂上钩码,把纸带穿过打点计时器,并把纸带的一端固定在小车的后面.
- (3)把小车停在靠近打点计时器处,先接通电源,待它工作稳定后释放小车,使小车在恒定拉力作用下拖着纸带运动,打点计时器就在纸带上打下一列小点.
- (4)换上新的纸带,重复实验两次.
- (5)增减所挂钩码,按以上步骤再做两次实验.

4.数据处理

(1)表格法

①从几条纸带中选择一条比较理想的纸带,舍掉开始一些比较密集的点,在后面便于测量的地方找一个点,作为计数始点,以后依次每五个点取一个计数点,并标明 0,1,2,3,4,⋯,如图所示.



②依次测出 01,02,03,04,⋯的距离 $x_1, x_2, x_3, x_4, \cdots$,填入表中.

位置	1	2	3	4	5	6
长度	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
各段长度	0~2	1~3	2~4	3~5	4~6	5~7
时间间隔						
$v/(m \cdot s^{-1})$						

③1,2,3,4,⋯各点的瞬时速度分别为: $v_1 = \frac{x_2}{2T}, v_2 = \frac{x_3 - x_1}{2T}, v_3 = \frac{x_4 - x_2}{2T}, v_4 = \frac{x_5 - x_3}{2T},$

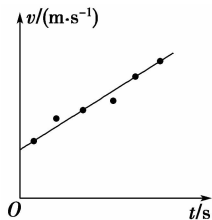
⋯.将计算得出的各点的速度填入表中.

④根据表格中的数据,分析速度随时间变化的规律.

(2)图像法

①在坐标纸上建立直角坐标系,横轴表示时间,纵轴表示速度,并根据表格中的数据在坐标系中描点.

②画一条直线,让这条直线通过尽可能多的点,不在线上的点均匀分布在直线两侧,偏差比较大的点忽略不计,如图所示.



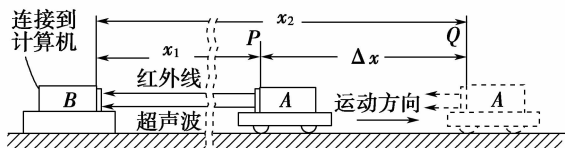
③观察所得到的直线,分析小车的速度随时间的变化规律.

④根据所画 $v-t$ 图像求出小车运动的加速度 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$.

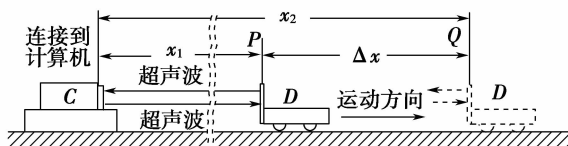
知识点 3 用位移传感器进行研究

1. 测量装置

(1)方案一 如图所示,该系统由发射器 A 与接收器 B 组成,发射器 A 能够发射红外线和超声波信号,接收器 B 可以接收红外线和超声波信号.发射器 A 固定在被测的运动物体上,接收器 B 固定在桌面上或滑轨上.测量时 A 向 B 同时发射一个红外线脉冲和一个超声波脉冲(即持续时间很短的一束红外线和一束超声波).B 接收到红外线脉冲开始计时,接收到超声波脉冲时停止计时.



(2)方案二 如图所示,该系统只有一个小盒 C,工作时小盒 C 向被测的运动物体 D 发出短暂的超声波脉冲,脉冲被运动物体反射后又被小盒 C 接收,根据发射与接收超声波脉冲的时间差和空气中的声速,可以得到小盒 C 与运动物体 D 的距离.



2. 测速原理

(1)方案一利用了声和光在空气中传播速度的不同来确定物体和接收器之间的距离 x .若经过 Δt 时间,两者之间的距离由 x_1 变为 x_2 ,则物体运动的速度 $v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{\Delta t}$.

(2)方案二中,小盒发出的信号到达被测物体所用的时间是小盒发射信号到接收到反射信号所用时间的一半,再根据空气中声速即可得小盒到被测物体的距离 x .若经过 Δt 时间,两者之间的距离由 x_1 变为 x_2 ,则物体运动的速度 $v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{\Delta t}$.

3. 线性拟合

获得数据后,通过计算机软件对数据进行处理,我们就得到了一系列的 (v_i, t_i) 数据.在软件的绘图设置对话框中,将横轴设置为 t ,纵轴设置为 v ,可以生成 $v-t$ 的散点图;利用软件的图像分析中的“线性拟合”功能,得到 $v-t$ 图像.

2 匀变速直线运动速度与时间的关系

知识点 1 匀变速直线运动速度与时间的关系

- 适用范围:公式 $v_t = v_0 + at$ 只适用于匀变速直线运动。
- 公式的矢量性:公式中 v_0 、 v_t 、 a 均为矢量,应用公式解题时,首先应选取正方向。一般以 v_0 的方向为正方向:
 - 匀加速直线运动中 $a > 0$;
 - 匀减速直线运动中 $a < 0$ 。
- 公式的特殊形式
 - 当 $a = 0$ 时, $v_t = v_0$ (匀速直线运动)。
 - 当 $v_0 = 0$ 时, $v_t = at$ (由静止开始的匀加速直线运动)。
- 应用速度公式 $v_t = v_0 + at$ 解题的思路
 - 选取研究对象和过程。
 - 画出运动草图,标上已知量。
 - 选定正方向,判断各量的正、负,利用 $v_t = v_0 + at$ 由已知条件求解,最后指明所求量的方向。
- 速度公式 $v_t = v_0 + at$ 与加速度定义式 $a = \frac{v_t - v_0}{\Delta t}$ 的比较

速度公式 $v_t = v_0 + at$ 虽然是加速度定义式 $a = \frac{v_t - v_0}{\Delta t}$ 的变形,但两式的适用条件是不同的:

- $v_t = v_0 + at$ 仅适用于匀变速直线运动;
- $a = \frac{v_t - v_0}{\Delta t}$ 可适用于任意的运动,包括直线运动和曲线运动。

- 匀变速直线运动: $v_{t/2} = \frac{v_A + v_B}{2}$ 。

中间时刻的瞬时速度等于始末速度和的一半。

知识点 2 匀变速直线运动的速度—时间图像

1. $v-t$ 图像的应用

通过 $v-t$ 图像,可以明确以下信息:

图线上某点的纵坐标	正负号	表示瞬时速度的方向
	绝对值	表示瞬时速度的大小
图线的斜率	正负号	表示加速度的方向
	绝对值	表示加速度的大小
图线与坐标轴的交点	纵截距	表示初速度
	横截距	表示开始运动或速度为零的时刻

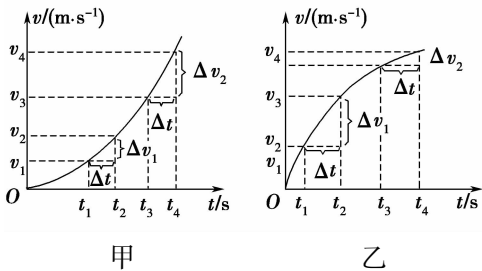
续表

图线的拐点	表示运动性质、加速度改变的時刻
两图线的交点	表示速度相等的時刻
图线与横轴所围图形的面积	表示位移,面积在横轴上方位移为正值,在横轴下方位移为负值

特别提醒:(1) $v-t$ 图像只能描述直线运动,不能描述曲线运动。
(2) $v-t$ 图像描述的是物体的速度随时间的运动规律,并不表示物体的运动轨迹。

2.非匀变速直线运动的 $v-t$ 图像

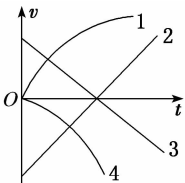
非匀变速直线运动的 $v-t$ 图像是一条曲线,如图所示。



甲图中,在相等的时间 Δt 内 $\Delta v_2 > \Delta v_1$,加速度增大;乙图中,在相等的时间 Δt 内 $\Delta v_2 < \Delta v_1$,加速度减小.即 $v-t$ 图像为曲线时,物体的加速度是变化的,曲线上某点的切线斜率等于该时刻物体的加速度。

3.应用 $v-t$ 图像的三点提醒

(1) $v-t$ 图像只能描述直线运动,反映了速度 v 随时间 t 变化的规律,并非物体的运动轨迹,如图所示,图线 1、2、3、4 都表示直线运动。



(2)当 $v-t$ 图像为穿过 t 轴的直线时,物体的运动方向即速度方向发生了变化,但加速度的大小和方向都不变,即物体先做匀减速直线运动,速度减小为零后反向做匀加速直线运动,全程为有往复的匀变速直线运动,如图线 2、3 所示。

(3) $v-t$ 图像向上倾斜时加速度为“正”,如图线 1、2 所示;向下倾斜时加速度为“负”,如图线 3、4 所示。但不能据此判断物体做加速运动还是减速运动,关键还是看加速度的方向与速度的方向之间的关系,或者根据 $v-t$ 图像判断速度在增大还是减小。

3 匀变速直线运动位移与时间的关系

知识点 1 匀变速直线运动位移公式的理解及应用

1. 公式的适用条件: 位移公式 $x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ 只适用于匀变速直线运动.
2. 公式的矢量性: 公式 $x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ 为矢量公式, 其中 x 、 v_0 、 a 都是矢量, 应用时必须选取统一的正方向, 一般选 v_0 的方向为正方向. 通常有以下几种情况:

运动情况	取值
若物体做匀加速直线运动	a 与 v_0 同向, a 取正值 (v_0 方向为正方向)
若物体做匀减速直线运动	a 与 v_0 反向, a 取负值 (v_0 方向为正方向)
若位移的计算结果为正值	说明位移的方向与规定的正方向相同
若位移的计算结果为负值	说明位移的方向与规定的正方向相反

3. 公式的两种特殊形式

- (1) 当 $a = 0$ 时, $x = v_0 t$ (匀速直线运动).
- (2) 当 $v_0 = 0$ 时, $x = \frac{1}{2} a t^2$ (由静止开始的匀加速直线运动).

知识点 2 重要推论

1. 平均速度

- (1) 三个平均速度公式及适用条件

① $\bar{v} = \frac{x}{t}$, 适用于所有运动.

② $\bar{v} = \frac{v_0 + v_t}{2}$, 适用于匀变速直线运动.

③ $\bar{v} = v_{\frac{t}{2}}$, 即一段时间内的平均速度, 等于这段时间内中间时刻的瞬时速度, 适用于匀变速直线运动.

(2) 对 $\bar{v} = v_{\frac{t}{2}} = \frac{v_0 + v_t}{2}$ 的推导

设物体的初速度为 v_0 , 做匀变速直线运动的加速度为 a , t 秒末的速度为 v_t .

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

平均速度 $\bar{v} = \frac{x}{t} = v_0 + \frac{1}{2} a t$. ②

由速度公式 $v_t = v_0 + a t$ 知, 当 $t' = \frac{t}{2}$ 时,

$v_{\frac{t}{2}} = v_0 + a \frac{t}{2}$, ③

由②③得 $\bar{v} = v_{\frac{t}{2}}$. ④

又 $v_t = v_{\frac{t}{2}} + a \cdot \frac{t}{2}$, ⑤

由③④⑤解得 $v_{\frac{t}{2}} = \frac{v_0 + v_t}{2}$, 所以 $\bar{v} = v_{\frac{t}{2}} = \frac{v_0 + v_t}{2}$.

2. 位移差公式 $\Delta x = aT^2$

(1) 匀变速直线运动中任意两个连续相等的时间间隔内的位移差相等. 做匀变速直线运动的物体, 如果在各个连续相等的时间 T 内的位移分别为 x_I 、 x_{II} 、 x_{III} 、 $\cdots$ 、 x_N , 则 $\Delta x = x_{II} - x_I = x_{III} - x_{II} = \cdots = aT^2$.

(2) 推导: $x_1 = v_0 T + \frac{1}{2} a T^2$, $x_2 = v_0 \cdot 2T + \frac{1}{2} a \cdot (2T)^2$, $x_3 = v_0 \cdot 3T + \frac{1}{2} a (3T)^2 \cdots$,

所以 $x_{II} - x_I = x_2 - x_1 = v_0 T + \frac{1}{2} a T^2$;

$x_{III} - x_{II} = x_3 - x_2 = v_0 T + \frac{1}{2} a T^2$;

$x_N - x_{N-1} = v_0 T + \frac{1}{2} a T^2 \cdots$,

故 $x_{II} - x_I = aT^2$, $x_{III} - x_{II} = aT^2 \cdots$,

所以 $\Delta x = x_{II} - x_I = x_{III} - x_{II} = \cdots = aT^2$.

(3) 应用

① 判断物体是否做匀变速直线运动

如果 $\Delta x = x_{II} - x_I = x_{III} - x_{II} = \cdots = x_N - x_{N-1} = aT^2$ 成立, 则 a 为一恒量, 说明物体做匀变速直线运动.

② 求加速度

利用 $\Delta x = aT^2$, 可求得 $a = \frac{\Delta x}{T^2}$.

4 匀变速直线运动规律的应用

知识点 1 速度与位移关系式 $v^2 - v_0^2 = 2ax$ 的理解及应用

1. 适用条件

速度与位移的关系 $v^2 - v_0^2 = 2ax$ 仅适用于匀变速直线运动.

2. 意义

公式 $v^2 - v_0^2 = 2ax$ 反映了初速度 v_0 、末速度 v 、加速度 a 、位移 x 之间的关系, 当其中三个物理量已知时, 可求另一个未知量.

3. 公式的矢量性

公式中 v_0 、 v 、 a 、 x 都是矢量, 应用时必须选取统一的正方向, 一般选 v_0 方向为正方向.

(1) 物体做加速运动时, a 取正值; 做减速运动时, a 取负值.

(2) $x > 0$, 说明物体通过的位移方向与初速度方向相同; $x < 0$, 说明位移的方向与初速度的方向相反.

4. 两种特殊形式

(1) 当 $v_0=0$ 时, $v^2=2ax$ 。(初速度为零的匀加速直线运动)

(2) 当 $v=0$ 时, $-v_0^2=2ax$ 。(末速度为零的匀减速直线运动)

知识点 2 匀变速直线运动的推论

1. 中间位置的速度与初末速度的关系

在匀变速直线运动中,某段位移 x 的初末速度分别是 v_0 和 v , 加速度为 a , 中间位置的速度

为 $v_{\frac{x}{2}}$, 则根据速度与位移关系式, 对前半位移 $v_{\frac{x}{2}}^2 - v_0^2 = 2a \cdot \frac{x}{2}$, 对后半位移 $v^2 - v_{\frac{x}{2}}^2 = 2a \cdot \frac{x}{2}$, 即 $v_{\frac{x}{2}}^2 - v_0^2 = v^2 - v_{\frac{x}{2}}^2$, 所以 $v_{\frac{x}{2}} = \sqrt{\frac{v_0^2 + v^2}{2}}$. 由数学知识知: $v_{\frac{x}{2}} > v_{\frac{t}{2}} = \frac{v_0 + v}{2}$.

2. 由静止开始的匀加速直线运动的几个重要比例

(1) $1T$ 末、 $2T$ 末、 $3T$ 末…… nT 末瞬时速度之比

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

(2) $1T$ 内、 $2T$ 内、 $3T$ 内…… nT 内的位移之比

$$x_1 : x_2 : x_3 : \dots : x_n = 1^2 : 2^2 : 3^2 : \dots : n^2.$$

(3) 第一个 T 内、第二个 T 内、第三个 T 内……第 n 个 T 内位移之比

$$x_I : x_{II} : x_{III} : \dots : x_n = 1 : 3 : 5 : \dots : (2n-1).$$

(4) 通过前 x 、前 $2x$ 、前 $3x$ ……位移时的速度之比

$$v_1 : v_2 : v_3 : \dots : v_n = 1 : \sqrt{2} : \sqrt{3} : \dots : \sqrt{n}.$$

(5) 通过前 x 、前 $2x$ 、前 $3x$ ……的位移所用时间之比

$$t_1 : t_2 : t_3 : \dots : t_n = 1 : \sqrt{2} : \sqrt{3} : \dots : \sqrt{n}.$$

(6) 通过连续相等的位移所用时间之比

$$t_I : t_{II} : t_{III} : \dots : t_n = 1 : (\sqrt{2}-1) : (\sqrt{3}-\sqrt{2}) : \dots : (\sqrt{n}-\sqrt{n-1}).$$

5 自由落体运动

知识点 1 参考系

一、对自由落体运动的理解

1. 物体做自由落体运动的条件

(1) 初速度为零。

(2) 除重力之外不受其他力的作用。

2. 自由落体运动的特点

(1) 自由落体运动是一种理想化的运动模型。只有当空气阻力比重力小得多, 可以忽略时, 物体的下落才可以当作自由落体运动来处理。

(2) 自由落体运动实质上是初速度 $v_0=0$ 、加速度 $a=g$ 的匀加速直线运动, 是匀变速直线运动的一个特例。

知识点 2 自由落体加速度的理解与测量

1. 自由落体加速度的大小和方向

- (1) 方向: 总是竖直向下。
- (2) 大小: ①在同一地点, 重力加速度都相同。
- ②大小与在地球上的纬度以及距地面的高度有关。

与纬度的关系	在地球表面上, 重力加速度随纬度的增加而增大, 即赤道处重力加速度最小, 两极处重力加速度最大, 但差别很小
与高度的关系	在地面上的同一地点, 重力加速度随高度的增加而减小。但在一定的高度内, 可认为重力加速度的大小不变

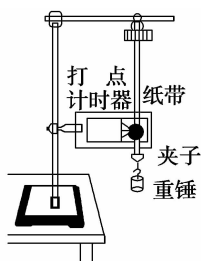
[易错提醒]

- (1) 在物体下落的高度不太高的条件下, 一般认为重力加速度大小不变。
- (2) 重力加速度的方向既不能说是“垂直向下”, 也不能说是“指向地心”, 只有在赤道或两极时重力加速度的方向才指向地心。
- (3) 物体在其他星球上也可以做自由落体运动, 但不同天体表面的自由落体加速度不同。

2. 自由落体加速度的测定

(1) 打点计时器法

- ①利用如图所示装置, 让物体自由下落打出点迹清晰的纸带。



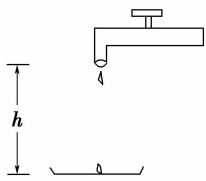
- ②对纸带上计数点间的距离 x 进行测量, 利用 $g = \frac{x_n - x_{n-1}}{T_2}$, 求出重力加速度。

[易错提醒]

- (1) 为尽量减小空气阻力的影响, 重物应选密度大的物体。
- (2) 打点计时器应竖直固定好。
- (3) 重物应靠近打点计时器释放, 且要先打开打点计时器的电源再放开重物。
- (4) 改变重物的质量, 重复打出几条纸带。
- (5) 选点迹清晰且 1、2 两点间距离小于或接近 2 mm 的纸带分析探究。
- (2) 频闪照相法: 频闪照相机可以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个时刻的位置, 根据 Δx 是否为恒量, 可判断自由落体运动是否为匀变速直线运动。并且可以根据匀变速运动的推论 $\Delta x = gT^2$ 求出重力加速度 $g = \frac{\Delta x}{T_2}$ 。也可以根据 $v \frac{t}{2} = \bar{v} = \frac{x}{t}$, 求出物体在某一时刻的速度, 则由 $v = v_0 + gt$, 也可求出重力加速度 g 。

(3)滴水法:如图所示,让水滴自水龙头滴下,在水龙头正下方放一个盘,调节水龙头,让水一滴一滴地滴下,并调节到使第一滴水碰到盘的瞬间,第二滴水正好从水龙头口开始下落,并且能依次持续下去.用刻度尺测出水龙头口距盘面的高度 h ,再测出每滴水下落的时间 T ,其方法是:当听到某一滴水滴落在盘上的同时,开启秒表开始计时,之后每落下一滴水依次数 1、2、3、...,当数到 n 时按下秒表停止计时,则每一滴水下落的时间为 $T = \frac{t}{n}$,由 $h = \frac{1}{2}gT^2$ 得

$$g = \frac{2h}{T^2} = \frac{2n^2h}{t^2}.$$



(4)误差来源:

①打点计时器法的误差主要来自阻力的影响和测量误差.

②频闪照相法和滴水法的误差主要是测量误差.

知识点 3 自由落体运动的规律

自由落体运动的重要公式

(1)应用思路:自由落体运动是匀变速直线运动的特例,因此匀变速直线运动规律也适用于自由落体运动.

(2)转化方法:将匀变速直线运动公式中的 v_0 换成 0, a 换成 g , 匀变速直线运动公式就变为自由落体运动公式.

$$\begin{cases} \textcircled{1} v = v_0 + at \\ \textcircled{2} x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \\ \textcircled{3} v^2 - v_0^2 = 2ax \\ \textcircled{4} \bar{v} = v_{\frac{t}{2}} = \frac{v_0 + v}{2} \\ \textcircled{5} x_n - x_{n-1} = aT^2 \end{cases} \xrightarrow[\begin{matrix} v_0 = 0 \\ a = g \end{matrix}]{\quad} \begin{cases} \textcircled{1} v = gt \\ \textcircled{2} x = \frac{1}{2} gt^2 \\ \textcircled{3} v^2 = 2gx \\ \textcircled{4} \bar{v} = v_{\frac{t}{2}} = \frac{v}{2} \\ \textcircled{5} x_n - x_{n-1} = gT^2 \end{cases}$$

知识点 4 内容扩展:竖直上抛运动

(1)将一个物体以某一初速度竖直向上抛出,抛出的物体只在重力作用下运动,即竖直上抛运动.

(2)具体计算中以初速度 v_0 的方向为正,则加速度为负值,为 $-g$. 代入匀变速直线运动公式得:

①速度公式: $v = v_0 - gt$

②位移公式: $h = v_0 t - \frac{1}{2} gt^2$

③速度—位移关系式: $v^2 - v_0^2 = -2gh$

④上升的最大高度: $H = \frac{v_0^2}{2g}$

⑤上升到最高点所用时间: $t = \frac{v_0}{g}$

第三章

相互作用

1 力 重力

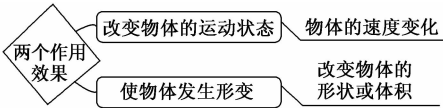
知识点 1 力的理解与表示

1.力的四性的认识

物质性	(1)力是物体对物体的作用,没有脱离物体而独立存在的力 (2)对于一个指定的力,一定同时具有受力物体和施力物体
相互性	(1)物体之间力的作用是相互的:只要一个物体对另一个物体施加了力,那么另一个物体也一定同时对这个物体施加了力 (2)力总是成对出现的:施力物体同时又是受力物体,受力物体同时又是施力物体
矢量性	力不仅有大小,而且有方向,是矢量
独立性	任何一个力都独立地产生作用效果,使物体发生形变或使物体运动状态改变

2.力的作用效果

(1)



- (2)力的作用效果与力的大小、方向、作用点都有关系.
- (3)分析力的作用效果是判断物体是否受力的最基本方法.

3.力的图示与力的示意图的画法

作图步骤	力的图示	力的示意图
选标度	选定标度(用某一长度表示一定大小的力)	
画线段	从作用点开始沿力的方向画一线段,根据选定的标度和力的大小按比例确定线段长度	从作用点开始沿力的方向画一适当长度线段即可
标方向	在线段的末端标出箭头,表示方向	在线段的末端标出箭头,表示方向

4.特别提醒

- (1)力的图示反映了力的三要素,而力的示意图只反映了力的作用点和方向,在分析物体受力时经常用到.
- (2)标度的选取应根据力的大小合理设计.一般情况下,线段应取 2~5 段整数段标度的长度.
- (3)要用同一标度画同一物体受到的不同的力.

知识点 2 对重力和重心的理解

1. 对重力的理解

(1)概念:重力是由于地球的吸引而使物体受到的力,但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。

(2)大小:由 $G=mg$, 在同一地点,重力的大小与质量成正比;在不同地点,如从两极到赤道或远离地面, g 值均减小,从而使同一物体的重力也有所不同;物体的重力与其运动状态无关。

(3)方向:重力的方向始终竖直向下,也可以说“垂直于水平面向下”,不能将重力的方向描述为“垂直向下、向下、指向地心”。

(4)重力的测量

①测量工具:弹簧测力计;

②测量方法:悬挂在测力计上的物体静止时,测力计的示数即为物体重力的大小。

2. 对重心的理解

(1)重心不是重力的真实作用点,重力作用于整个物体,重心是重力的等效作用点。

(2)重心不是物体上最重的一点,但可以把物体的质量看成都集中在重心这一点。

(3)重心的位置可以不在物体上。

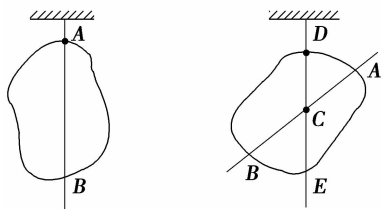
3. 特殊情况下物体重心的确定方法

(1)支撑法

轴对称的碗、碟等,它们的重心在其中垂线上。它们的重心可用两个力平衡的方法找到,如用一个手指将碟子顶起并静止,即可找到其重心。

(2)悬挂法

如图所示,将薄板状物体用细线在 A 点悬挂起来,由于物体静止时只受重力 mg 和悬线拉力 F 的作用,因此这两个力是一对平衡力。由二力平衡条件知,这两个力一定大小相等、方向相反,故物体的重心一定位于悬线的延长线 AB 上。同理,将其在 D 点悬挂起来,其重心一定位于悬线的延长线 DE 上。因此, AB 与 DE 的交点 C 就是重心 G 的位置。



2 弹 力

知识点 1 形变与弹力

1. 弹力的产生条件

(1)两物体相互接触。

(2)接触面之间发生弹性形变。

2. 弹力产生的过程

外力作用等原因 → 相互挤压或拉伸 → 发生弹性形变 → 产生弹力

3. 弹力有无的判断方法

(1)直接法:对于形变比较明显的情况,可以根据弹力产生的条件判断:①物体间相互接

触；②发生弹性形变.两个条件必须同时满足才有弹力产生.

(2)假设法:要判断物体在某一接触位置是否受弹力作用,可假设将此处与物体接触的其他物体去掉,看物体是否在该位置保持原来的状态,若能保持原来的状态,则说明物体间无弹力作用;否则有弹力作用.

(3)根据物体的运动状态判断:看除了要研究的弹力外,物体所受的其他作用力与物体的运动状态是否满足相应的规律(目前主要应用二力平衡的规律),若满足,则无弹力存在;若不满足,则有弹力存在.

(4)利用力的作用效果分析:如果相互接触的物体间存在弹力,则必有相应的作用效果,或平衡其他作用力或改变受力物体的运动状态,可利用作用效果确定弹力的有无.

特别提醒:判断弹力有无时应灵活选用判断方法,当直接法不易判断时,可考虑运动状态判断法.

4.与形变方向的关系

发生弹性形变的物体,由于恢复原状产生弹力,所以弹力的方向由施力物体形变的方向决定,弹力的方向总与施力物体形变的方向相反.

5.几种常见弹力的方向如下表

类型		方向	图示
接触方式	面与面	垂直接触面	
	点与面	过点垂直于面	
	点与点	垂直于切面	
轻绳		沿绳指向绳收缩方向	
轻杆	可沿杆		 伸长方向 收缩方向
	可不沿杆		
轻弹簧		沿弹簧形变的反方向	 收缩方向 伸长方向

特别提醒:(1)一个物体对另一物体的作用力不一定垂直于接触面,但一个物体对另一物体的支持力一定垂直于接触面.

(2)轻杆的弹力方向较为复杂,一般根据物体的运动状态结合平衡条件确定.

知识点 2 胡克定律的应用

1. 应用胡克定律的四个关键

- (1) 弹簧发生形变时必须在弹性限度内。
- (2) x 是弹簧的形变量, 不是弹簧的原长, 也不是弹簧形变后的长度。
- (3) 其 $F-x$ 图像为一条经过原点的倾斜直线, 图像斜率表示弹簧的劲度系数。同一根弹簧, 劲度系数不变。
- (4) 一个有用的推论: $\Delta F = k\Delta x$ 。

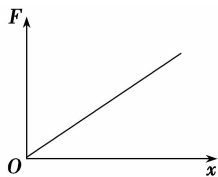
推导: $F_1 = kx_1, F_2 = kx_2$, 故 $\Delta F = F_2 - F_1 = kx_2 - kx_1 = k\Delta x$ 。因此, 弹簧弹力的变化量 ΔF 与形变量的变化量 Δx 也成正比关系。

2. 计算弹力大小的两种方法

- (1) 公式法: 利用公式 $F = kx$ 计算, 适用于弹簧、橡皮筋等物体的弹力的计算。
- (2) 二力平衡法: 若物体处于静止状态, 物体所受弹力与物体所受的其他力应为平衡力, 可根据其他力的大小确定弹力的大小。

[易错提醒]

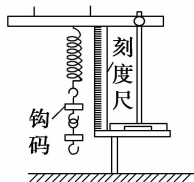
- (1) 无论是计算弹簧的弹力大小还是判断弹簧的弹力方向, 都应注意弹簧是被拉伸还是被压缩。
- (2) 应用胡克定律计算时, F 、 k 、 x 的单位要统一到 N 、 N/m 、 m , 其中 x 为形变量而不是弹簧的长度。



知识点 3 实验: 探究弹簧弹力与形变的关系

(一) 实验步骤

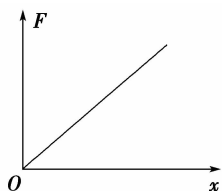
1. 将弹簧的一端挂在铁架台上, 让其自然下垂, 用刻度尺测出弹簧自然伸长状态时的长度 l_0 , 即原长。
2. 如图所示, 在弹簧下端挂质量为 m_1 的钩码, 测出此时弹簧的长度 l_1 , 记录 m_1 和 l_1 。
3. 改变所挂钩码的质量, 测出对应的弹簧长度, 记录 m_2 、 m_3 、 m_4 、 m_5 、 $\dots$ 和相应的弹簧长度 l_2 、 l_3 、 l_4 、 l_5 、 $\dots$ 。
4. 计算出每次弹簧的伸长量 x ($x = l - l_0$) 和弹簧受到的拉力 F ($F = mg$), 并将数据填入表格。



	1	2	3	4	5	6	7
F/N	0						
l/cm							
x/cm	0						

(二) 数据处理

1. 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, 如图所示。



2. 以弹簧伸长量为自变量, 写出弹力和弹簧伸长量之间的函数关系, 函数表达式中常数即为弹簧的劲度系数, 这个常数也可据 $F-x$ 图线的斜率求解, $k = \frac{\Delta F}{\Delta x}$ 。
3. 得出弹力和弹簧伸长量之间的定量关系, 解释函数表达式中常数的物理意义。

(三) 误差分析

1. 本实验误差的主要来源为读数和作图时的偶然误差, 为了减小误差, 要尽量多测几组数据.
2. 弹簧竖直悬挂时, 未考虑弹簧自身重力的影响会带来系统误差. 为了减小该系统误差, 实验中应使用轻弹簧.

(四) 注意事项

1. 实验中弹簧下端挂的钩码不要太多, 以免超出弹簧的弹性限度.
2. 测量长度时, 应区别弹簧原长 l_0 、实际长度 l 及伸长量 x 三者之间的不同, 明确三者之间的关系. 为了减小弹簧自身重力带来的影响, 测弹簧原长时应让弹簧在不挂钩码时保持自然下垂状态, 而不是平放在水平面上处于自然伸长状态.
3. 记录数据时要注意弹力及伸长量的对应关系及单位.
4. 描点作图时, 应使尽量多的点落在画出的线上, 可允许少数点分布于线两侧, 描出的线不应是折线, 而应是平滑的曲线或直线.
5. 尽量选轻质弹簧以减小弹簧自身重力带来的影响.

3 摩擦力

知识点 1 滑动摩擦力大小的计算及方向的判断

1. 滑动摩擦力的产生及作用效果

(1) 产生条件: ①两物体之间有弹力; ②接触面粗糙; ③有相对运动.

(2) “相对”的含义

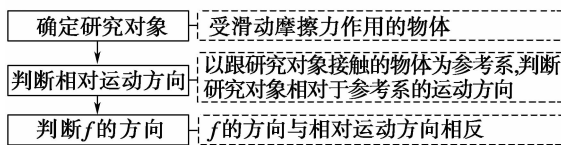
“相对”是指相互摩擦的两个物体之间有位置的变化, 而不用考虑相对别的物体是否有位置的变化.

(3) 作用效果: 阻碍物体间的相对运动.

2. 滑动摩擦力方向

(1) 方向: 跟接触面相切并与物体相对运动的方向相反, 与物体的运动方向不一定相反.

(2) 判断滑动摩擦力方向的基本步骤



3. 滑动摩擦力大小的计算

(1) 公式法: 根据 $f = \mu N$ 计算.

① 根据物体的受力情况, 求出压力 N ;

② 根据 $f = \mu N$ 求出滑动摩擦力.

(2) 二力平衡法: 物体处于匀速直线运动或静止状态时, 根据二力平衡的条件求解.

[易错提醒]

(1) 滑动摩擦力的方向与“相对运动的方向相反”并不是与“运动方向相反”。

(2) 滑动摩擦力的作用总是阻碍物体的相对运动, 而不是阻碍物体的运动。

知识点 2 洛伦兹力的方向

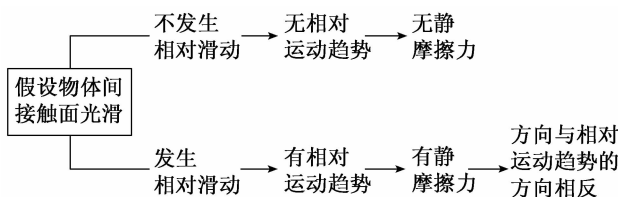
1. 产生条件

两物体 $\left\{ \begin{array}{l} \text{① 接触面粗糙} \\ \text{② 相互挤压} \\ \text{③ 有相对运动趋势} \end{array} \right\}$ 缺一不可

2. 静摩擦力有无的判断方法

(1)平衡条件法:当相互接触的两物体处于静止状态或匀速直线运动状态时,可根据二力平衡条件判断静摩擦力的存在与否及其方向。

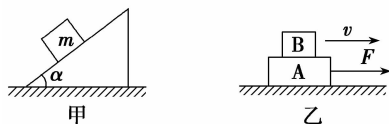
(2)假设法:利用假设法进行判断时,可按以下思路进行分析:



3. 静摩擦力的方向

(1)静摩擦力的方向总是跟接触面相切,并且跟物体相对运动趋势的方向相反。

如图甲所示,静止在斜面上的物体 m 有沿斜面下滑的趋势,所以物体受到沿斜面向上的静摩擦力。



(2)静摩擦力的方向与运动方向的关系:可以与运动方向相同;也可以与运动方向相反;也可以与运动方向不在一条直线上(以后会学到)。

例如:①手握瓶子在水平方向上运动,此时手对瓶子的静摩擦力的方向竖直向上,与运动方向是垂直的;②如图乙所示,用力 F 拉水平地面上的物体 A , A 与物体 B 保持相对静止且做加速运动时,则 B 相对 A 有向后运动的趋势,所以 B 受到方向与运动方向相同的静摩擦力作用,而 B 对 A 的静摩擦力方向向后与 A 的运动方向相反。

4. 静摩擦力方向的判定步骤

- (1)选取受力物体.
- (2)确定施力物体.
- (3)利用假设法判断受力物体相对施力物体的运动趋势方向.
- (4)静摩擦力方向与相对运动趋势方向相反.

[易错提醒]

静摩擦力既可以起动力作用也可以起阻力作用。

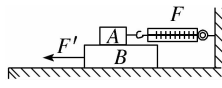
知识点 3 静摩擦力大小的计算

- 1.静摩擦力的大小总等于使物体发生相对运动趋势的外力的大小.两物体间的静摩擦力 $f_{\text{静}}$ 在 0 和最大静摩擦力 $f_{\text{静max}}$ 之间,即 $0 < f_{\text{静}} \leq f_{\text{静max}}$.
2. $f_{\text{静max}}$ 为最大静摩擦力,大小等于物体刚要发生相对运动时所需要的沿相对运动趋势方向的最小外力.其值略大于滑动摩擦力,有时认为二者相等.
- 3.静摩擦力的大小与正压力无关,但最大静摩擦力的大小与正压力成正比.

知识点 4 实验探究:测定动摩擦因数的方法

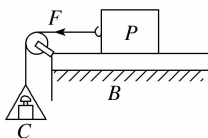
- 1.将弹簧测力计一端固定,用外力 F' 拉木板 B (如图所示),并不需要 B 做匀速运动,只要运动就行,此时弹簧测力计示数为 F ,根据 $\mu = \frac{F}{N}$ 可

得到 $\mu = \frac{F}{mg}$ 。



2. 利用砝码和弹簧测力计, 借助平衡法测滑动摩擦力和动摩擦因数。

如图所示, 向砝码盘 C 内加加减砝码, 轻推铁块 P , 使其恰能在水平木板 B 上向左匀速滑动, 铁块 P 处于平衡状态。用弹簧测力计测出 P 和 C 的重力 G_P 和 G_C , 则 P 所受的滑动摩擦力 $f = G_C$, 可求出 P 、 B 间的动



摩擦因数 $\mu = \frac{G_C}{G_P}$ 。

实验方法: (1) 将橡皮筋的两端拴上两条细线, 并用直尺测出橡皮筋的原长 l_0 。

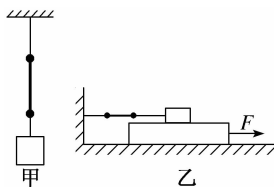
(2) 橡皮筋的一端连接木块, 另一端竖直悬挂起来, 如图甲所示, 测出此时橡皮筋的长度 l_1 。

(3) 将橡皮筋的一端固定于竖直墙上, 将木块放在长木板上, 如图乙所示, 用水平力使长木板在木块下滑动, 测出此时橡皮筋的长度 l_2 。

(4) 根据二力平衡原理, 得 $k(l_1 - l_0) = mg$

$k(l_2 - l_0) = \mu mg$

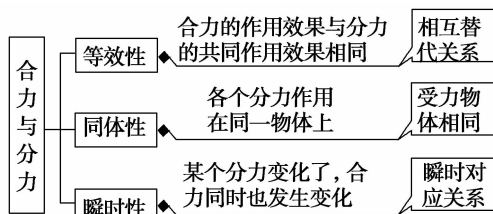
由此可得 $\mu = \frac{l_2 - l_0}{l_1 - l_0}$ 。



4 力的合成

知识点 1 合力与分力关系的理解

1. 合力与分力的相关性



2. 合力与分力间的大小关系

当两分力 F_1 、 F_2 大小一定, 夹角 θ 从 0° 增大到 180° 时, 合力大小随夹角 θ 的增大而减小。

(1) 最大值: 夹角 $\theta = 0^\circ$ (两力同向) 时合力最大,

$F = F_1 + F_2$, 方向与两力同向。

(2) 最小值: 夹角 $\theta = 180^\circ$ (两力反向) 时合力最小,

$F = |F_1 - F_2|$, 方向与两力中较大的力同向。

(3) 合力范围: $|F_1 - F_2| \leq F \leq F_1 + F_2$ 。

3. 三个力的合成

(1) 三个力进行合成时, 若先将其中两个力 F_1 、 F_2 进行合成, 则这两个力的合力 F_{12} 的范围为 $|F_1 - F_2| \leq F_{12} \leq F_1 + F_2$; 再将 F_{12} 与第三个力 F_3 合成, 则合力 F 的范围为 $|F_{12} - F_3| \leq F \leq F_{12} + F_3$ 。

(2) 对 F 的范围进行讨论: ①最大值: 当三个力方向相同时 $F_{12} = F_1 + F_2$, $F = F_{12} + F_3$, 此时合力最大, 大小为 $F_{\max} = F_1 + F_2 + F_3$; ②最小值: 若 F_3 的大小介于 F_1 、 F_2 的和与差之间, F_{12} 可以与 F_3 等大小, 即 $|F_{12} - F_3|$ 可以等于零, 此时三个力合力的最小值就是零; 若

F_3 不在 F_1 、 F_2 的和与差之间,合力的最小值等于最大的力减去另外两个较小的力的和的绝对值;③合力范围: $F_{\min} \leq F \leq F_{\max}$.

【易错提醒】

合力可能大于某一分力,可能小于某一分力,也可能等于某一分力。

知识点 2 探究两个互成角度的力的合成规律

一、实验原理和方法

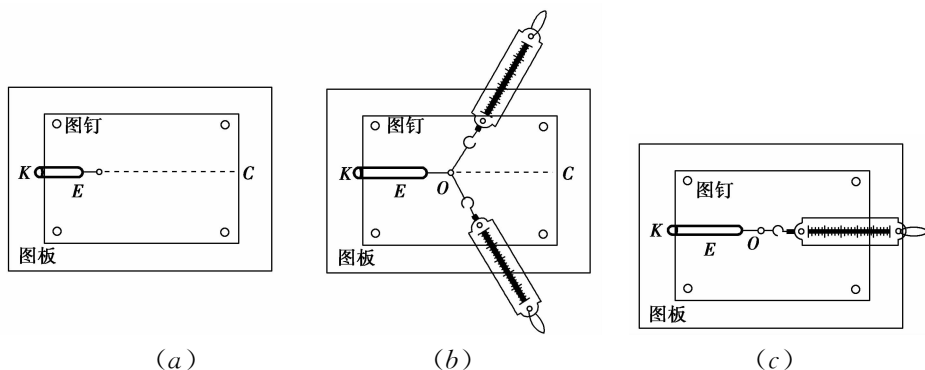
- 1.合力 F' 的确定:一个力 F' 的作用效果与两个共点力 F_1 与 F_2 共同作用的效果都是把橡皮条拉伸到某点,则 F' 为 F_1 和 F_2 的合力。
- 2.合力理论值 F 的确定:根据平行四边形定则作出 F_1 和 F_2 的合力 F 的图示。
- 3.平行四边形定则的验证:在实验误差允许的范围内,比较 F' 和 F 是否大小相等、方向相同。

知识点 2 实验器材

薄木板、白纸、弹簧测力计(两只)、橡皮筋、轻质小圆环、细绳(两个)、三角板、刻度尺、图钉(若干)、铅笔。

知识点 3 实验步骤

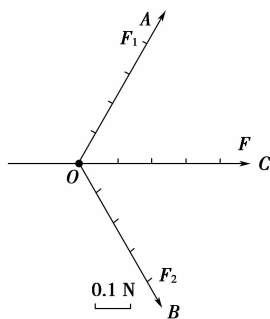
- 1.用图钉把白纸钉在水平桌面上的薄木板上.用图钉把橡皮筋的一端固定在 K 点处,橡皮筋的自然长度为 KE ,橡皮筋的 E 端与轻质小圆环连接起来,如图(a)所示。



- 2.从小圆环上再引出两根细绳,用两个弹簧测力计分别钩住两个细绳,互成角度地拉小圆环,使橡皮筋伸长.保持小圆环静止,结点到达某一位置 O (如图(b)所示).用铅笔描下结点 O 的位置,和 F_1 、 F_2 的方向,并记录弹簧测力计的读数大小。
- 3.撤去 F_1 和 F_2 ,改用一个弹簧测力计钩住连接小圆环的细绳,通过细绳把橡皮筋的结点拉到与前面相同的位置 O ,记下弹簧测力计的读数和拉力 F' 的方向,如图(c)所示。
- 4.取下白纸

知识点 4 数据处理

- 1.用铅笔和刻度尺从结点 O 沿两条细绳方向画直线,按选定的标度作出这两只弹簧测力计的拉力 F_1 和 F_2 的图示,如图并以 F_1 和 F_2 为邻边用刻度尺作平行四边形,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。
- 2.用刻度尺从 O 点按同样的标度沿记录的方向作出实验步骤 3 中弹簧测力计的拉力 F' 的图示。
- 3.比较 F 与 F' 是否完全重合或几乎完全重合,从而验证平行四边形定则。



知识点 5 误差分析

(1) 读数误差: 弹簧测力计数据在允许的情况下, 尽量大一些, 读数时眼睛一定要正视, 要按有效数字正确读数和记录。

(2) 作图误差

① 结点 O 的位置和两个弹簧测力计的方向画得不准确, 造成作图误差。

② 两个分力的起始夹角 α 太大(如大于 120°), 当重复做两次实验时, 为保证结点 O 位置不变(即保证合力不变), 则 α 变化范围不大, 因而弹簧测力计示数变化不显著, 读数误差较大, 导致作图产生较大误差。

③ 作图比例不恰当、不准确等造成作图误差。

知识点 6 注意事项

1. 正确使用弹簧测力计

(1) 测量前应首先检查弹簧测力计的零点是否准确, 注意使用中不要超过其弹性限度。

(2) 实验时, 弹簧测力计必须保持与木板平行, 且拉力应沿轴线方向, 弹簧测力计的指针、拉杆都不要与刻度板和刻度板末端的限位孔发生摩擦。

(3) 读数时应正对、平视刻度, 估读到最小刻度的下一位。

2. 规范实验操作

(1) 位置不变: 在同一次实验中, 将橡皮筋拉长时结点的位置一定要相同。

(2) 角度合适: 两个弹簧测力计所拉细绳套的夹角不宜太小, 也不宜太大, 以 $60^\circ \sim 100^\circ$ 为宜。

(3) 在不超出弹簧测力量程及在橡皮条弹性限度内的前提下, 测量数据应尽量大一些。

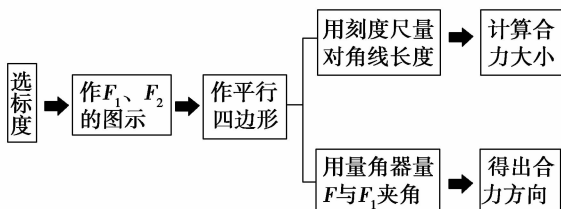
(4) 细绳套应适当长一些, 便于确定力的方向, 不要直接沿细绳套方向画直线, 应在细绳套两端画个投影点, 去掉细绳套后, 连接直线确定力的方向。

3. 规范合理作图: 在同一次实验中, 画力的图示选定的标度要相同, 并且要恰当选定标度, 使力的图示稍大一些。

知识点 7 求合力的方法——作图法、计算法

1. 作图法

作图法就是根据平行四边形定则作出标准的平行四边形, 然后根据图形用测量工具确定出合力的大小、方向, 具体操作流程如下:



2. 计算法

(1) 两分力共线时:

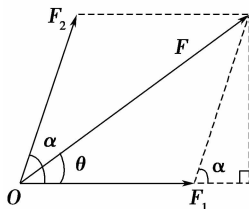
① 若 F_1 、 F_2 两力同向, 则合力 $F = F_1 + F_2$, 方向与两力同向;

② 若 F_1 、 F_2 两力反向, 则合力 $F = |F_1 - F_2|$, 方向与两力中较大的同向。

(2) 两分力不共线时:

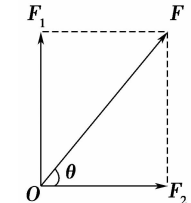
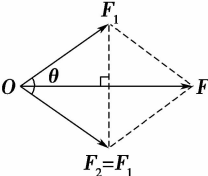
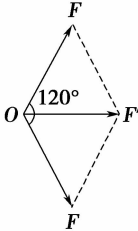
可以根据平行四边形定则作出力的示意图, 然后根据正、余弦定理, 三角函数, 几何知识等计算合力。

若两个分力的大小分别为 F_1 、 F_2 , 它们之间的夹角为 α , 由平行四边形定则作出它们的合力 F 如图所示, 则合力 F 的大小为 $F =$



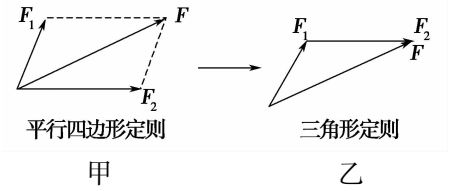
$\sqrt{F_1^2+F_2^2+2F_1F_2\cos\alpha}$, 合力的方向 $\tan \theta=\frac{F_2\sin\alpha}{F_1+F_2\cos\alpha}$, θ 为合力 F 与 F_1 之间的夹角.

3.几种特殊情况下力的合成方法

类型	作图	合力的计算
两力互相垂直		$F=\sqrt{F_1^2+F_2^2}$ $\tan\theta=\frac{F_1}{F_2}$
两力等大, 夹角为 θ		$F=2F_1\cos\frac{\theta}{2}$ $F \text{ 与 } F_1 \text{ 夹角为 } \frac{\theta}{2}$
两力等大且夹角为 120°		合力与分力等大

4.三角形法

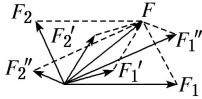
如图所示,力的平行四边形定则,也可以用力矢量三角形表示,图甲可用图乙的力的三角形定则表示,即将各分力依次“首”“尾”相接,合力即为起于一个力的“首”,止于另一个力的“尾”的有向线段.



5 力的分解

知识点 1 不受限制条件的分解

将某个力进行分解,如果没有条件约束,从理论上讲有无数组解,因为同一条对角线可以构成的平行四边形有无穷多个(如图所示),这样分解是没有实际意义的。实际分解时,一个力按力的作用效果可分解为两个确定的分力。



知识点 2 有限条件的力的分解

条件	已知示意图	分解示意图	解的情况
已知两个分力的方向			唯一解
已知一个分力的大小和方向			唯一解
已知两个分力的大小	$F_1 + F_2 > F$		两解
	$F_1 + F_2 = F$		唯一解
	$F_1 + F_2 < F$		无解
已知合力的大小和方向以及它的一个分力(F_2)的大小和另一个分力(F_1)的方向	$F_2 < F \sin \theta$		无解
	$F_2 = F \sin \theta$		唯一解
	$F \sin \theta < F_2 < F$		两解
	$F_2 > F$		唯一解

特别提醒: 根据已知条件, 利用作图法作平行四边形可能用到的作图方法有:

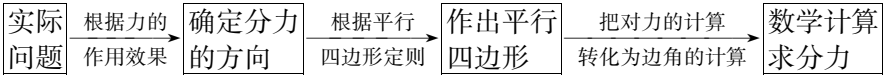
- (1) 过一点作另一条直线的平行线.
- (2) 以某点为圆心, 以定长为半径画圆弧.

知识点 3 按力的效果分解

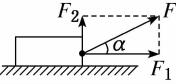
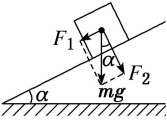
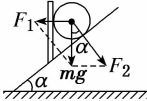
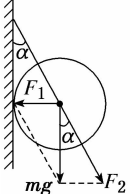
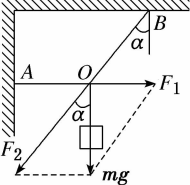
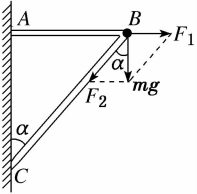
1. 力的分解的实质

将一个已知力 F 进行分解, 其实质是寻找等效分力的过程. 一个力可以分解为两个力, 也可以分解为更多力, 但这几个分力不是物体实际受到的力, 是“等效替代法”的应用.

2.按力的效果分解的基本思路



3.按实际效果分解的几个实例

实例	分析
	(1)拉力 F 的效果 ①使物体沿水平地面前进(或有前进趋势); ②向上提物体。 (2)两个分力:水平向前的力 F_1 和竖直向上的力 F_2 。 $F_1 = F \cos \alpha, F_2 = F \sin \alpha$
	(1)重力的两个效果 ①使物体沿斜面下滑(或有下滑趋势); ②使物体垂直压紧斜面。 (2)分力大小: $F_1 = mg \sin \alpha, F_2 = mg \cos \alpha$
	(1)重力的两个效果 ①使球沿水平方向压紧挡板; ②使球垂直压紧斜面。 (2)分力大小: $F_1 = mg \tan \alpha, F_2 = \frac{mg}{\cos \alpha}$
	(1)重力的两个效果 ①使球垂直压紧竖直墙壁; ②使球拉紧悬线。 (2)分力大小: $F_1 = mg \tan \alpha, F_2 = \frac{mg}{\cos \alpha}$
	(1)重力的两个效果 ①拉紧 OA ; ②拉紧 OB 。 (2)分力大小: $F_1 = mg \tan \alpha, F_2 = \frac{mg}{\cos \alpha}$
	(1)重力的两个效果 ①拉伸 AB ; ②压缩 BC 。 (2)分力大小: $F_1 = mg \tan \alpha, F_2 = \frac{mg}{\cos \alpha}$

特别提醒: (1) 对力进行分解时, 按力的作用效果准确确定出两分力的方向是关键.

(2) 作出平行四边形后分力大小的计算常用到直角三角形、相似三角形等有关的几何知识.

知识点 3 力的正交分解法及其应用

1. 力的正交分解目的: 正交分解, “分”是为了更好地“合”。

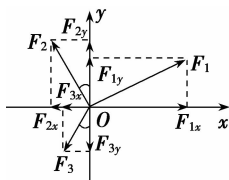
2. 概念: 把力沿着两个选定的相互垂直的方向分解的方法。

3. 坐标轴的选取原则: 坐标轴的选取理论上是任意的, 但为使问题简化, 实际中建立坐标系时应使尽量多的力落在坐标轴上。

4. 一般步骤

(1) 建立坐标系: 选取合适的方向建立直角坐标系。

(2) 正交分解各力: 将每一个不在坐标轴上的力分解到 x 轴和 y 轴上, 并求出各分力的大小, 如图所示。



(3) 分别求出 x 轴和 y 轴方向上所受的合力, 合力等于在该方向上所有力的代数和 (沿坐标轴正方向的力取为正, 反之取为负), 即

$$F_x = F_{1x} + F_{2x} + \dots; F_y = F_{1y} + F_{2y} + \dots.$$

(4) 求合力: 合力大小 $F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$, 设合力的方向与 x 轴的夹角为 φ , 则 $\tan \varphi = \frac{F_y}{F_x}$ 。

5. 应用: 一般用于计算物体受三个或三个以上共点力的合力。

[易错提醒]

正交分解法不一定按力的实际效果来分解, 而是根据需要为了简化问题在两个相互垂直的方向上分解, 它是处理力的合成和分解的一种简便方法。

6 共点力作用下物体的平衡

知识点 1 共点力作用下物体的平衡状态和平衡条件

【平衡状态】

1. 从运动学的角度理解

平衡状态的物体处于静止或匀速直线运动状态, 此种状态其加速度为零. 即处于平衡状态的物体加速度为零, 反过来加速度为零的物体一定处于平衡状态。

2. 从动力学的角度理解

处于平衡状态的物体所受的合外力为零, 反过来物体受到的合外力为零, 它一定处于平衡状态。

3. 静态平衡与动态平衡

(1) 静态平衡是处于静止状态的平衡, 合力为零。

(2)动态平衡是匀速直线运动状态的平衡,合力为零.

【平衡条件】

1.对共点力作用下物体平衡条件的理解

(1)两种表达式:

$$\textcircled{1} F_{\text{合}} = 0;$$

$$\textcircled{2} \begin{cases} F_{x_{\text{合}}} = 0 \\ F_{y_{\text{合}}} = 0 \end{cases}, \text{其中 } F_{x_{\text{合}}} \text{ 和 } F_{y_{\text{合}}} \text{ 分别是将所受的力进行正交分解后,物体在 } x \text{ 轴和 } y \text{ 轴方向上所受的合力.}$$

(2)对应两种状态:①静止状态: $a=0, v=0$

②匀速直线运动状态: $a=0, v \neq 0$

(3)说明:①物体某时刻速度为零,但 $F_{\text{合}} \neq 0$,不是平衡状态,如竖直上抛的物体到达最高点时,只是速度为零,不是平衡状态;

②处于平衡状态的物体,沿任意方向的合力都为零.

2.平衡条件的几个推论

(1)若物体在两个力作用下处于平衡状态,则这两个力大小相等,方向相反,且作用在同一直线上,其合力为零,这就是初中学过的二力平衡.

(2)若物体在三个力作用下处于平衡状态,则三个力的作用线必交于一点.

(3)物体在 n 个共点力作用下处于平衡状态时,这些力在任何一个方向上的合力均为零.其中任意 $(n-1)$ 个力的合力必定与第 n 个力等大、反向,作用在同一直线上.

(4)物体在多个共点力作用下处于平衡状态时,各力首尾相接必构成一个封闭的多边形.

知识点 2 解答共点力平衡问题的三种常用方法

1.力的合成法:物体受三个力作用而平衡时,其中任意两个力的合力必跟第三个力等大反向,可利用力的平行四边形定则,将三个力放到一个三角形中,然后根据有关几何知识求解.

2.力的分解法:物体受三个力作用而平衡时,可将任意一个力沿着其他两个力的反方向分解,则物体相当于受到两对平衡力的作用,同样可将三个力放到一个三角形中求解.

合成法或分解法的实质都是等效替代,即通过两个力的等效合成或某个力的两个等效分力建立已知力与被求力之间的联系,为利用平衡条件解问题做好铺垫.

3.正交分解法:将不在坐标轴上的各力分别分解到 x 轴上和 y 轴上,运用两坐标轴上的合力等于零的条件 $\begin{cases} F_{x_{\text{合}}} = 0 \\ F_{y_{\text{合}}} = 0 \end{cases}$ 解题,多用于三个以上共点力作用下的物体的平衡.

特别提醒:(1)物体受三个力作用而平衡时,以上方法都可应用,具体方法应视解决问题方便而定.

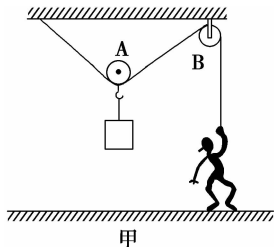
(2)利用正交分解法时,坐标轴的选择原则是尽量使落在 x 、 y 轴上的力最多,被分解的力尽可能是已知力.

知识点 3 “活结”与“死结”“活杆”与“死杆”模型

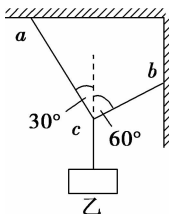
1.“活结”与“死结”模型

(1)“活结”一般是由轻绳跨过光滑滑轮或者绳上挂一光滑挂钩而形成的.绳子虽然因“活

结”而弯曲,但实际上是同一根绳,所以由“活结”分开的两段绳子上弹力的大小一定相等,两段绳子合力的方向一定沿这两段绳子夹角的平分线,如图甲所示。

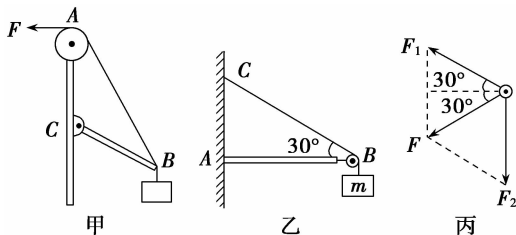


(2)“死结”两侧的绳因打结(或“系住”)而变成了两根独立的绳,因此由“死结”分开的两段绳子上的弹力大小一般不相等,如图乙所示。



2.“活杆”与“死杆”模型

(1)“活杆”:即轻杆用转轴或铰链连接,当杆处于平衡状态时,杆所受到的弹力方向一定沿着杆,否则会引起杆的转动。如图甲所示,若 C 为转轴,则轻杆在缓慢转动中,弹力方向始终沿杆的方向。



(2)“死杆”:若轻杆被固定不发生转动,则杆所受到的弹力方向不一定沿杆的方向。如图乙所示,水平横梁的一端 A 插在墙壁内,另一端装有一个小滑轮 B ,一轻绳的一端 C 固定于墙壁上,另一端跨过滑轮后悬挂重物 m 。滑轮对绳子的作用力应为图丙中两段绳中拉力 F_1 和 F_2 的合力 F 的反作用力,即死杆弹力的方向可以沿杆的方向,也可以与杆成任意夹角。

第四章

牛顿运动定律

1 牛顿第一定律

知识点 1 亚里士多德的观点与伽利略的研究工作

1. 17 世纪前对运动和力的关系的认识

- (1) 亚里士多德的观点: 力是维持物体运动的原因.
- (2) 根据: 有力作用在物体上, 物体才运动; 没有力的作用, 物体就要静止在一个地方.
- (3) 方法: 观察 + 直觉 (由生活经验得出直观印象).

2. 伽利略的理想实验

- (1) 基本观点: 在水平面上运动的物体之所以会停下来, 是因为受到摩擦阻力. 力是改变物体运动状态的原因, 运动并不需要力来维持.
- (2) 根据: 理想实验.
- (3) 方法: 实验 + 科学推理 (将可靠事实和理论思维结合起来).

3. 意义

- (1) 伽利略用“实验 + 科学推理”的方法推翻了亚里士多德的观点.
- (2) 第一次确立了物理实验在物理研究中的基础地位.
- (3) 揭示了力不是维持物体运动的原因.
- (4) “理想实验”在自然科学的理论研究中有着重要的作用. 但是, “理想实验”只不过是一种逻辑推理的思维过程, 它的作用只限于逻辑上的证明与反驳, 而不能用来作为检验认识正确与否的标准. 相反, 由“理想实验”所得出的任何推论, 都必须由观察或实验的结果来检验.

知识点 2 牛顿第一定律

1. 对牛顿第一运动定律的理解

- (1) 揭示了力和运动的关系:
 - ① 力是改变物体运动状态的原因 (或者说力是使物体产生加速度的原因), 而不是维持物体运动状态的原因.
 - ② 物体不受外力时处于匀速直线运动状态或静止状态.
- (2) 揭示了一切物体都具有的一种固有属性——惯性. 因此牛顿第一运动定律也叫惯性定律.

2. 运动状态改变 (即速度改变) 的三种情境

- (1) 速度的方向不变, 大小改变.
- (2) 速度的大小不变, 方向改变.
- (3) 速度的大小和方向同时发生改变.

知识点 3 对惯性的理解

1. 对惯性的理解

- (1) 惯性是物体保持原来运动状态的一种性质, 是物体维持运动状态的原因.

(2)一切物体都具有惯性,惯性是物体的固有属性。

2. 惯性的表现形式

(1)物体不受力时,惯性表现为保持原来的运动状态。

(2)物体受力且合力不为零时,物体仍然具有惯性,此时惯性表现为物体运动状态改变的难易程度,惯性越大,物体运动状态越难改变。

3. 几个关系

(1)惯性与质量的关系:质量是物体惯性大小的唯一量度,质量越大,惯性越大。

(2)惯性与力的关系:惯性不是力,而是物体本身固有的一种性质,惯性大小与物体的受力情况无关。

(3)惯性与速度:一切物体都有惯性,惯性大小与物体是否有速度及速度的大小无关。

[易错提醒]

惯性不是惯性定律,惯性是物体的一种固有属性,惯性定律是物体不受外力时所遵循的一条规律,属性不同于规律。

2 探究加速度与力、质量的关系

知识点 1 实验目的

- 1.探究加速度与力、质量的关系。
- 2.学习用控制变量法探索物理规律。

知识点 2 实验原理

采用控制变量法

- 1.保持物体质量 m 不变,探究加速度 a 与力 F 的关系。
- 2.保持物体所受的力 F 相同,探究加速度 a 与质量 m 的关系。

实验设计有一个关键点:如何测量小车受到的合外力?常用方法是木板一端垫高,使小车不拉重物时能匀速运动,此时小车重力沿斜面的分力恰好抵消其所受摩擦力及其他阻力;同时,所挂重物的质量应远小于小车的质量。在此条件下,对应的重物的重力大小便可近似认为等于作用于小车的合外力的大小。

知识点 3 实验器材

带定滑轮的木板、薄垫块、小车、细绳、重物(小钩码或沙桶等)、打点计时器、纸带、交流电源、天平、砝码、刻度尺。

四、实验步骤

- 1.将小车置于带有定滑轮的木板上,将纸带穿过打点计时器后挂在小车尾部。
- 2.用薄垫块将木板带有打点计时器的一端垫高,调整其倾斜程度,直至小车运动时打点计时器在纸带上打出的点分布均匀为止。
- 3.在细绳的一端挂上重物,另一端通过定滑轮系在小车前端。注意重物质量应远小于小车的质量。
- 4.将小车靠近打点计时器后开启打点计时器,稍后再将小车由静止释放。打点计时器在纸带上打出一系列点,据此计算出小车的加速度。保持小车的质量不变,增加重物的质量

(重物的总质量仍远小于小车的质量),重复实验,将小车所受的不同拉力与相应计算出的加速度记录下来。

5.保持重物不变,增加或减少小车上的砝码以改变小车的质量,重复实验,将小车的质量与相应的加速度记录下来。

五、数据处理

1.物体的质量一定,探究加速度与受力的关系

实验序号	1	2	3	4	5	...
拉力 F/N						
加速度 $a/(m \cdot s^{-2})$						

由表中数据,作出质量 m 一定时的 $a-F$ 图像,并得出结论。

2.物体的受力一定,探究加速度与质量的关系

实验序号	1	2	3	4	5	...
质量 m/kg						
$\frac{1}{m}/kg^{-1}$						
加速度 $a/(m \cdot s^{-2})$						

由表中数据,作出力 F 不变时, $a-\frac{1}{m}$ 的图像,并得出结论。

六、误差分析

	产生原因	减小方法
偶然误差	质量测量不准、计数点间距测量不准	多次测量求平均值
	小车所受拉力测量不准	(1)准确平衡摩擦力 (2)使细绳和纸带平行于木板
系统误差	小桶和沙子的总重力代替小车所受的拉力	使小桶和沙子的总质量远小于小车的质量

七、注意事项

- 平衡摩擦力时不要挂重物,整个实验平衡了摩擦力后,不管以后是改变小桶和沙子的质量还是改变小车及砝码的质量,都不需要再重新平衡摩擦力。
- 实验中必须满足小车和砝码的总质量远大于小桶和沙子的总质量。只有如此,小桶和沙子的总重力才可视为与小车受到的拉力相等。
- 拉小车的细线应尽可能与长木板平行。
- 作图像时,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地均匀地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。
- 释放小车时,小车应靠近打点计时器且先接通电源再释放小车。

3 牛顿第二定律

知识点 1 牛顿第二定律

1. 对牛顿第二定律的理解

(1) $a = \frac{F}{m}$ 是加速度的决定式, 该式揭示了加速度的大小取决于物体所受的合力大小及物体的质量, 加速度的方向取决于物体所受的合力的方向。

(2) $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ 是加速度的定义式, 但加速度的大小与速度变化量及所用的时间无关。

(3) 表达式 $F = ma$ 中 F 、 m 、 a 三个物理量的单位都必须是国际单位。

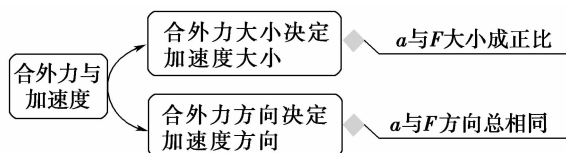
(4) 在公式 $F = ma$ 中, 若 F 是合力, 加速度 a 为物体的实际加速度; 若 F 是某一个分力, 加速度 a 为该力产生的分加速度。

2. 牛顿第二定律的五种特性

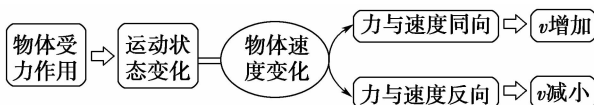
矢量性	公式 $F = ma$ 是矢量式, 式中 F 和 a 都是矢量, 且它们在任何时刻方向都相同, 当 F 方向变化时, a 的方向同时变化
瞬时性	牛顿第二定律表明了物体的加速度与物体所受合外力的瞬时对应关系, a 为某一时刻的加速度, F 为该时刻物体所受的合外力
同一性	有两层意思: 一是指加速度 a 相对同一惯性系 (一般指地球), 二是指 $F = ma$ 中 F 、 m 、 a 必须对应同一物体或同一个系统
独立性	作用于物体上的每一个力各自产生的加速度都遵从牛顿第二定律, 而物体的实际加速度则是每个力产生的加速度的矢量和, 分力和加速度在各个方向上的分量关系也遵从牛顿第二定律, 即: $F_x = ma_x$, $F_y = ma_y$
相对性	物体的加速度必须是对相对于地球静止或匀速直线运动的参考系而言的

3. 合外力、加速度和速度的关系

(1) 合外力与加速度的关系:



(2) 力与运动的关系:



知识点 2 牛顿第二定律的应用

1. 应用牛顿第二定律解题的一般步骤

(1) 确定研究对象。

(2) 进行受力分析和运动状态分析, 画出受力示意图。

(3) 建立坐标系, 或选取正方向, 写出已知量, 根据定律列方程。

(4) 统一已知量单位, 代值求解。

(5)检查所得结果是否符合实际,舍去不合理的解.

2.常用方法

(1)矢量合成法

若物体只受两个力作用时,应用平行四边形定则求这两个力的合力,再由牛顿第二定律求出物体的加速度的大小及方向.加速度的方向就是物体所受合外力的方向,反之,若知道加速度的方向也可应用平行四边形定则求物体所受的合力.

(2)正交分解法

物体受到三个或三个以上的不在同一直线上的力作用时,常用正交分解法:

$$\begin{cases} F_x = F_{x_1} + F_{x_2} + F_{x_3} + \cdots = ma_x \\ F_y = F_{y_1} + F_{y_2} + F_{y_3} + \cdots = ma_y. \end{cases}$$

为减少矢量的分解,建立坐标系时,确定 x 轴正方向有两种基本方法.

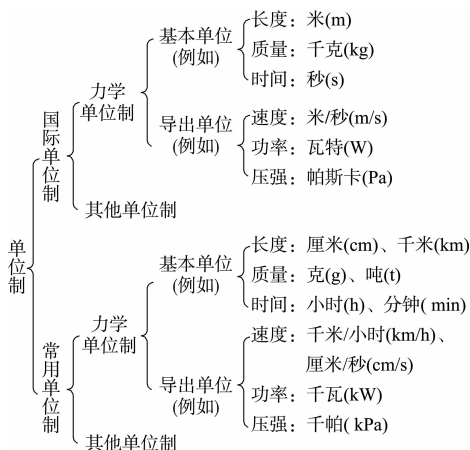
①分解力:通常以加速度 a 的方向为 x 轴正方向,建立直角坐标系,将物体所受的各个力分解在 x 轴和 y 轴上,分别得 x 轴和 y 轴的合力 F_x 和 F_y ,得方程: $\begin{cases} F_x = ma \\ F_y = 0. \end{cases}$

②分解加速度:若以加速度的方向为 x 轴正方向,分解的力太多,比较繁琐,可根据受力情况,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: $\begin{cases} F_x = max \\ F_y = may. \end{cases}$

4 力学单位制

知识点1 对单位制的理解

- 1.基本物理量与物理量:基本物理量属于物理量,基本物理量的特殊性在于:根据基本物理量能够推导出其他物理量.
- 2.物理量与单位:物理量的单位是用来衡量物理量的标准,物理量的描述要同时用数字和单位来描述,否则没有任何物理意义.
- 3.基本单位与导出单位:基本单位是导出单位的基础,在选定了基本单位之后,由基本单位以相乘、相除的形式构成的单位称为导出单位.
- 4.单位制的组成



知识点 3 单位制的应用

1. 简化计算过程的单位表达

解题计算时,在统一已知量的单位后,就不必写出各个量的单位,只在式子末尾写出所求量的单位即可。

2. 推导物理量的单位

物理公式在确定物理量的数量关系的同时,也确定了物理量的单位关系,所以我们可以根据物理公式中物理量间的关系推导出物理量的单位。

3. 判断比例系数的单位

根据公式中物理量的单位关系,可判断公式中比例系数有无单位,如公式 $F=kx$ 中 k 的单位为 N/m , $F_f=\mu F_N$ 中的 μ 无单位, $F=kma$ 中的 k 无单位。

4. 检验表达式的正误

对某个表达式中各量的单位统一成国际单位,则计算结果的单位与待求量的国际单位一致时,该表达式才可能是正确的。若计算结果的单位不对,则表达式一定错误。

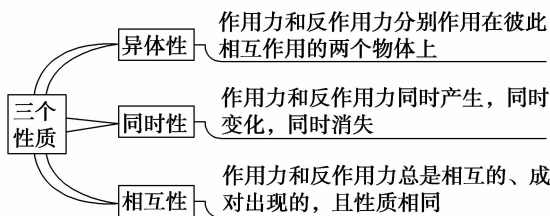
5 牛顿第三定律

知识点 1 对牛顿第三运动定律的理解

1. 牛顿第三定律表达式: $F=-F'$, 式中的“-”号表示作用力与反作用力方向相反。

2. 作用力与反作用力的理解

(1) 三个性质



(2) 四个特征

等值	作用力和反作用力大小总是相等的
反向	作用力和反作用力方向总是相反的
共线	作用力和反作用力总是作用在同一条直线上
同性质	作用力和反作用力的性质总是相同的

3. 正确理解牛顿第三运动定律中“总是”的含义

“总是”是强调对于任何物体,在任何情况下,作用力与反作用力的关系都成立。对此,我们可以从以下几个方面理解。

(1) 不管物体的大小、形状如何,例如,大物体与大物体之间,大物体与小物体之间,任何形状的物体之间,其相互作用力总是大小相等、方向相反的。

- (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、静止与运动的物体之间,其相互作用力总是大小相等、方向相反的。
- (3)作用力与反作用力的产生和消失总是同时的,两者中若有一个力产生、变化或消失,则另一个力必然同时产生、变化或消失。

知识点 2 一对作用力与反作用力和一对平衡力的比较

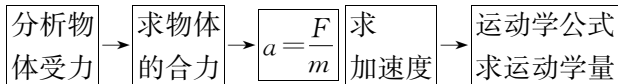
		一对作用力与反作用力	一对平衡力
共同点		大小相等、方向相反,且作用在同一条直线上	
不同点	作用对象	作用在两个物体上	作用在同一个物体上
	力的性质	一定是同性质的力	不一定是同性质的力
	作用效果	作用在两个物体上,各自产生作用效果,故不能作为使物体平衡的条件	一对平衡力的作用效果是使物体处于平衡状态,合力为零
	依赖关系	两个力一定同时产生、同时变化、同时消失,不可能单独存在	不存在依赖关系,撤除一个力时另一个力可依然存在,只是不再平衡

特别提醒:作用力与反作用力是“异体、共线、反向、等大、同性同存”,而平衡力是“同体、共线、反向、等大”。

6 牛顿运动定律的应用

知识点 1 从受力确定运动情况

1. 解题的一般思路

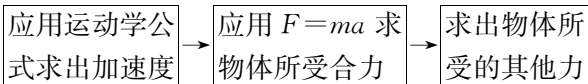


2. 解题的一般步骤

- (1)选定研究对象,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方法,求出物体所受的合外力。
- (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,分析运动情况并画出运动草图,选择运动学公式。

知识点 2 从运动情况确定受力

1. 解题的一般思路



2. 解题的一般步骤

- (1) 选定研究对象, 对研究对象进行运动情况分析和受力分析, 并画出运动草图及受力图。
- (2) 选择合适的运动学公式, 求出物体的加速度。
- (3) 根据牛顿第二定律列方程, 求物体所受的合外力。
- (4) 根据力的合成与分解的方法, 由合外力求出待求力。

7 超重与失重

知识点 1 对超重、失重现象的理解

(一) 超重现象

1. 实重与视重

- (1) 实重: 物体实际所受重力. 物体所受重力不会因为物体运动状态的改变而变化。
- (2) 视重: 用弹簧测力计或台秤来测量物体重力时, 弹簧测力计或台秤的示数叫作物体的视重. 当物体与弹簧测力计保持静止或者匀速运动时, 视重等于实重; 当存在竖直方向的加速度时, 视重不再等于实重。

2. 产生超重的原因

当物体具有竖直向上的加速度 a 时, 支持物对物体的支持力(或悬绳的拉力)为 F . 由牛顿第二定律可得: $F - mg = ma$. 所以 $F = m(g + a) > mg$. 由牛顿第三定律知, 物体对支持物的压力(或对悬绳的拉力) $F' > mg$.

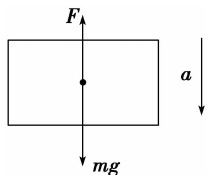
3. 超重的动力学特点

超重 $\left\{ \begin{array}{l} \text{向上加速运动} \\ \text{向下减速运动} \end{array} \right\}$ 加速度方向向上(或有向上的分量).

(二) 失重现象

1. 对失重现象的理解

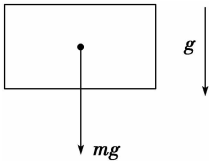
- (1) 从力的角度看: 失重时物体受到竖直悬绳(或测力计)的拉力或水平支撑面(或台秤)的支持力小于重力, 好像重力变小了, 正是由于这样, 把这种现象定义为“失重”。
- (2) 从加速度的角度看: 根据牛顿第二定律, 处于失重状态的物体的加速度方向向下($a \leq g$, 如图), 这是物体失重的条件, 也是判断物体失重与否的依据。



- (3) 从速度的角度看: 只要加速度向下物体就处于失重状态, 其速度可以向上也可以向下. 常见的失重状态有两种: 加速向下或减速向上运动。

2. 对完全失重的理解: 物体处于完全失重状态($a = g$)时, 重力全部产生加速度, 不再产生压力(如图), 平常一切由重力产生的物理现象都会完全消失, 如天平失效、浸在水中的物体

不再受浮力、液柱不再产生压强等.



知识点2 用牛顿运动定律分析超重和失重现象

1.超重、失重的比较

特征状态	加速度	视重(F)与重力关系	运动情况	受力示意图
平衡	$a=0$	由 $F-mg=0$ 得 $F=mg$	静止或匀速直线运动	
超重	向上	由 $F-mg=ma$ 得 $F=m(g+a)>mg$	向上加速或向下减速	
失重	向下	由 $mg-F=ma$ 得 $F=m(g-a)<mg$	向下加速或向上减速	
完全失重	$a=g$	由 $mg-F=ma$ 得 $F=0$	自由落体,抛体, 正常运行的卫星等	

2.超重、失重的定量计算

设物体质量为 m , 竖直方向加速度为 a , 重力加速度为 g , 支持力为 N .

(1)超重:由 $N-mg=ma$ 可得 $N=m(g+a)$,即视重大于重力,超重“ ma ”,加速度 a 越大,超重越多.

(2)失重:由 $mg-N=ma$ 可得 $N=m(g-a)$,即视重小于重力.失重“ ma ”,加速度 a 越大,失重越多.

(3)完全失重:由 $mg-N=ma$ 和 $a=g$ 联立解得 $N=0$,即视重为 0 ,失重“ mg ”.

3.解答超重、失重问题的步骤

(1)明确题意,确定研究对象.

(2)对研究对象受力和运动情况的分析.

(3)确定加速度的方向.

(4)根据牛顿第二定律列式求解.