《力学教程》（顾建中编）

学习指导书

李悦安　编

广东省韶关教育学院物理系

一九八六年七月

前　言

《力学教程》是综合大学及师范院校物理系本科教材，书中文字叙述较精练，为方便自学，帮助读者更好地掌握教材的基本内容，提高运用基本概念、基本定律（定理）解题的能力，我们编写出此学习指导书。

《学习指导书》是按顾建中编的《力学教程》之篇章顺序编写的，各章都由“目的要求”、“阅读指导”、“解题指导”以及“学习计划安排”四个基本部分组成。

“目的要求”参照部颁教学大纲及省中心教研组的教学意见，指出学习本章的目的要求。建议读者在阅读教科书前，先阅读关于该章的目的要求，以便心中有数地阅读教材。

“阅读指导”简要地勾划出该章教材内容的基本线索和地位，按目的要求概括出基本内容要点，剖析教材中某些疑难问题，指出读者容易发生错误之处。建议读者在粗读教材的基础上，阅读相应的“阅读指导”，然后再精读相应教材。

“解题指导”根据自学为主的特点，精选一些有助于读者理解教材重点、难点的典型例题，帮助读者掌握一些类型习题的解题规律和方法，提高读者分析问题和解决问题的能力。

“学习计划安排”规定了学习的内容，设置了有助于理解这些内容的相应思考题，规定了必要的（也就是要缴交的）基本练习题，提出了自学时间安排（参考），目的是使读者有计划地进行学习、思考和练习，更好地完成学习任务。

在编写本书的过程中，编者参阅了广东教育学院张明生教授在讲授顾建中编“普通物理”（力学部分）（61年版本）的笔记，华南师范大学陈俊衡副教授编的《力学学习指导书》，浙江大学编写的《物理学》学习指导书，以及国内发行的多种版本的力学教材。我院物理系的领导和有关教师对编写此学习指导书也给予

很大的鼓励和支持，系主任欧阳聪同志对全书作了审定。在此一并表示深切谢意。

由于水平有限，编写时间匆促，错误和不足之处难免，恳请老师们和读者给予批评指正。

编　者

1986年6月于广东韶关教育学院

第一章　质点运动学

一、目的要求

1、掌握描述质点运动的基本物理量——位移、速度、加速度等概念，着重理解它们具有相对性、瞬时性、方向性和迭加性。

2、明确运动方程的意义，熟练掌握求导数的方法，由已知运动方程求瞬时速度和瞬时加速度。

3、熟练掌握用坐标的方法分析竖直上抛与下落运动、抛体运动。

4、掌握切向加速度和法向加速度的概念以及园周运动的规律。

二、阅读指导

质点运动学是研究物体（能视为质点的物体）在空间的位置随时间变化的关系。而对运动的描述是相对的，因此描述质点的运动首先就要选取参照系和坐标系。质点运动的规律可用位移、速度和加速度来描述，而运动方程则表示了这些物理量之间的联系。

对位移、速度和加速度等概念，匀速运动和匀变速运动的规律及其运用，学员们已有一定的基础。在普通物理课程中，要运用矢量、微积分等数学工具，更深入、更严格、更精确地研究这些概念和规律以及它们的应用。

1、质点是物体的理想模型。把物体当作质点看待是有条件的，要根据研究问题的性质来决定。对于同一物体，在某个问题中可看作质点，而在另一问题中就不一定能看作质点。

2、位移是描述物体运动时位置变化的物理量。位移是矢量。

要分清坐标、位移、路程之间的区别。在计算位移时，必须同时表示出它在选定坐标系中的大小和方向。

3、速度是描述物体位移变化的物理量。速度是位移对时间的变化率。速度是矢量。

(1) 平均速度 $\vec{v}_{平}=\frac{\Delta\vec{S}}{\Delta t}$，它只能粗略地描述在某一定时间间隔内的运动情况。

(2) 瞬时速度 $\vec{v}=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{S}}{\Delta t}=\frac{d\vec{S}}{dt}$，能精确地描述某一时刻（某一位置）的运动情况，注意理解上两式在直线运动和曲线运动中的不同涵义。

(4) 加速度是描述物体运动速度变化的物理量。加速度是速度随时间的变化率。加速度是矢量。

(1) 平均加速度 $\vec{a}_{平}=\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$，它只能粗略地描述在某一时间间隔内速度变化的情况。

(2) 瞬时加速度 $\vec{a}=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}=\frac{d\vec{v}}{dt}$，它能精确地描述某一时刻（某一位置）速度变化的情况。

注意理解以上两式在直线运动和曲线运动中的不同涵义。要理解好加速度的意义，必须明确速度改变量 $\Delta\vec{v}$、速度 $\vec{v}$ 以及速度变化率 $\frac{d\vec{v}}{dt}$ 的区别。

5、迭加原理

任何一种运动都可看成是由两个或三个相互垂直（正交）方向上各自独立进行的运动的迭加，这就是运动的迭加原理或运动的独立性原理。据此原理，可把较复杂的运动（如曲线运动）分

解为两个或三个互相正交方向的直线运动，使问题的解决得到简化。

6. 运动方程

(1) 匀速直线运动 $\vec{a}=0$（$a_t=0$，$a_n=0$），$\vec{v}$恒定，$v=$常数，$S-S_0=v(t-t_0)$

(2) 匀变速直线运动 $\vec{a}\neq 0$（$a_t\neq 0$，$a_n=0$），$a=a_t=$常数，$\vec{v}$不恒定，$v\neq$常数。

$$v-v_0=a(t-t_0)$$
$$S-S_0=v_0(t-t_0)+\frac{1}{2}a(t-t_0)^2$$
$$v^2-v_0^2=2a(S-S_0)$$

此三式中只有两式是独立的。（上式中的a_t为切向加速度，a_n为法向加速度）当选时间起点$t_0=0$，质点的坐标起点$S_0=0$，

则上述的运动方程可简化为 $S=vt$

$$v=v_0+at$$
$$S=v_0t+\frac{1}{2}at^2$$
$$v^2-v_0^2=2aS$$

(3) 曲线运动

① 匀速园周运动 $\vec{a}\neq 0$（$a_t=0$，$a_n\neq 0$）

$a=a_n=\frac{v^2}{R}$（式中R为园周半径，v为园周运动速率）

$\vec{v}$不恒定，$v_t=$常数，$v_n=0$

② 一般曲线运动 $\vec{a}\neq 0$（$a_t\neq 0$，$a_n\neq 0$），$\vec{v}$不恒定，$v_n=0$，$v_t\neq$常数，$\vec{v}=\vec{v_t}=\frac{d\vec{S}}{dt}$，

$a_t=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta v_t}{\Delta t}=\frac{dv_t}{dt}$ 是描述速度矢量大小变化的量，

$$a_n=\frac{v^2}{R}$$，（式中的R是曲线上某一点的曲率半径）

是描述速度矢量方向变化的量。

t时刻的加速度（总加速度） $\vec{a}=\vec{a}_t+\vec{a}_n$

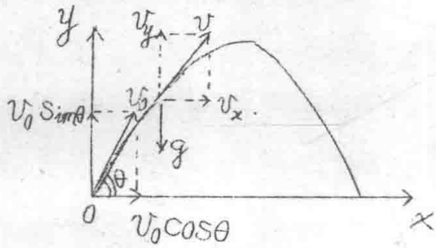
$$|\vec{a}|=\sqrt{a_t^2+a_n^2},$$

方向：$tg\,\theta=\frac{a_n}{a_t}$　θ为$\vec{a}$与$\vec{a}_t$的夹角.

注意上式中的$\vec{a}_t$和$\vec{a}_n$都是瞬时值，某点处$\vec{a}_t$方向和该点$\vec{v}$平行，（可同向平行或反向平行）$\vec{a}_n$的方向和$\vec{v}$垂直。

③抛射体运动

据运动的迭加原理把抛射体运动沿x、y轴分解可知抛射体运动是质点在x方向的匀速直线运动和在y方向的匀变速直线运动的合运动。



x方向：$v_x=v_0\cos\theta$，

$a_x=0$，

$x=v_0\cos\theta\cdot t$

y方向：$v_y=v_0\sin\theta-gt$，$a_y=-g$，

$y=v_0\sin\theta\cdot t-\frac{1}{2}gt^2$，

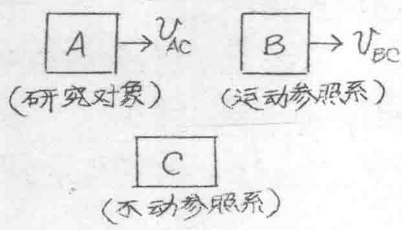
由上二个运动方程中消去t则可得出抛射体的径迹（轨道）方程。

7、相对运动

物体运动时，对不同的参照系其运动的速度是不一样的。

运动物体A对运动参照系B的速度v_{AB}称为相对速度。

运动参照系B对不动参照系C的速度v_{BC}称为牵连速度。



运动物体A对不动参照系C的速度v_{AC}称为绝对速度。

三个相对运动的关系满足 $\vec{v}_{AC}=\vec{v}_{AB}+\vec{v}_{BC}$

或 $\vec{v}_{AB}=\vec{v}_{AC}-\vec{v}_{BC}$

$\vec{v}_{BC}=\vec{v}_{AC}-\vec{v}_{AB}$

注意理解式子是矢量关系式，要根据问题要求分清那个是研究对象，那个是不动参照系，那个是运动参照系；进而再去弄清相应的速度，代入矢量关系式去求解。

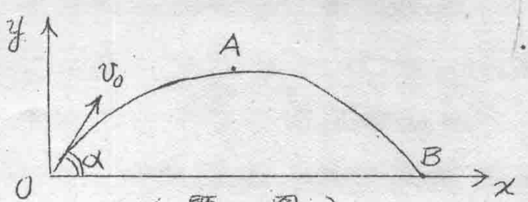
三、解题指导

本章的习题要求主要是由已知的运动方程求位移、速度、加速度，而对于从已知速度或加速度通过积分求运动方程只作一般了解。解题中碰到的大多数习题是匀变速运动问题，当$\vec{v}_0$与$\vec{a}$方向平行时质点作匀变速直线运动，当$\vec{v}_0$与$\vec{a}$有一定夹角时则质点在$\vec{v}_0$和$\vec{a}$的平面内作曲线运动。从解题方法上看，主要采用解析法（迭加原理方法），要注意对物体运动过程变化的分析，熟练矢量运算和微积分运算。题中各量单位全部採用国际单位制单位（以后同）。

例题（一）．如图，物体作抛射体运动，初速度为v_0，抛射角为α，

(1)．求证：物体落地时速度方向与水平方向夹角为α

(2)．求抛出点O、最高点A和落地点B的法向加速度a_n和切向加速度a_t



（题 图）

［解］(1)．证明：根据抛体运动公式

$$y=v_0\sin\alpha\cdot t-\frac{1}{2}gt^2$$

物体落地时 $y=0$，解得：$t_1=0$

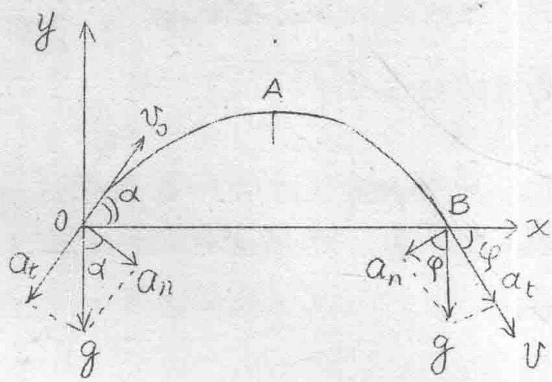
$$t_2=\frac{2v_0\sin\alpha}{g}$$

t_1 为抛出时刻对应时间。

t_2 为落地时所对应的时间，

代入 $v_y=v_0\sin\alpha-gt$

得 $v_y=-v_0\sin\alpha$



物体在水平方向作匀速直线运动，$v_x=v_0\cos\alpha$

设落地时速度方向与水平方向的夹角为 φ。

则 $$\operatorname{tg}\varphi=\left|\frac{v_y}{v_x}\right|=\left|\frac{-v_0\sin\alpha}{v_0\cos\alpha}\right|=\operatorname{tg}\alpha$$

$\therefore \varphi=\alpha$，即物体落地时速度方向与水平方向夹角为 α

(2) 根据 $\vec{a}=\vec{a}_n+\vec{a}_t$，物体作抛射体运动 $\vec{a}=\vec{g}$

则 $\vec{g}=\vec{a}_n+\vec{a}_t$

对于 O 点：$a_n=g\cos\alpha$，$a_t=g\sin\alpha$

对于 A 点：$a_n=g$，$a_t=0$

对于 B 点：$a_n=g\cos\varphi=g\cos\alpha$，$a_t=g\sin\varphi=g\sin\alpha$.

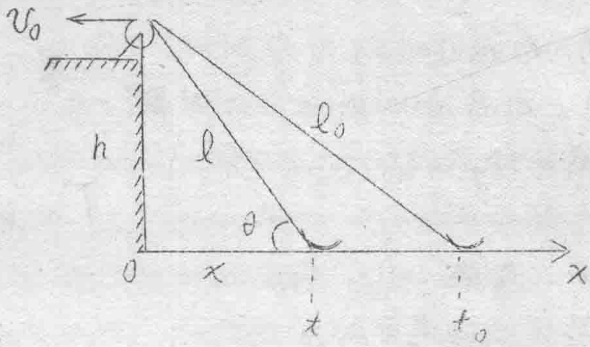
（式中 $\varphi=\alpha$ 是已证明的）

注意：对于抛射体运动，应用 $\vec{g}=\vec{a}_n+\vec{a}_t$ 关系比从定义式 $a_n=\frac{v^2}{R}$，$a_t=\frac{dv}{dt}$ 求解方便多。

例题（三）. 在高度为 h 的岸上，人通过滑轮以不变的速率 v，

收绳子拉小船靠岸（如图）求小船靠岸时的前进速度。

〔解法1〕对小船的运动方程 $x=x(t)$ 求导数便可求得小船前进的速度。



在任何时刻小船的位置坐标 $x=\sqrt{l^2-h^2}$

而 $l=l_0-v_0t$

代入上式得小船的运动方程 $x=\sqrt{(l_0-v_0t)^2-h^2}$，

对时间求导数则得小船前进速度 $v=\dfrac{dx}{dt}=\dfrac{d}{dt}\left(\sqrt{(l_0-v_0t)^2-h^2}\right)$

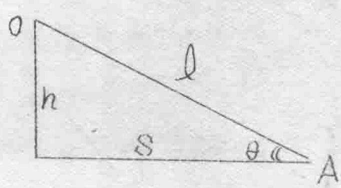
$$=\frac{-(l_0-v_0t)v_0}{\sqrt{(l_0-v_0t)^2-h^2}},$$

负号表示 $\vec{v}$ 方向与 x 轴正方向相反。

若把上式改写为 $v=-\dfrac{lv_0}{\sqrt{l^2-h^2}}=-\dfrac{v_0}{x/l}=-\dfrac{v_0}{\cos\theta}$

由于 θ 是随时间改变的，所以 v 值是不断变化的。可见，虽然收绳的速率 v_0 不变而小船却是加速前进靠岸的。

〔解法2〕仍以绳端A点为研究对象，它在 l 方向上的运动方程。$l=\sqrt{S^2+h^2}$ 式中S和 l 均为时间 t 的函数则

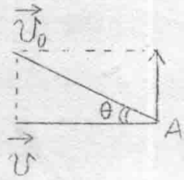


$$v_0=\frac{d}{dt}\sqrt{S^2+h^2}=\frac{S}{\sqrt{S^2+h^2}}\cdot\frac{dS}{dt}$$

$$=\frac{S}{\sqrt{S^2+h^2}}v,$$ 式中 v 为船的速率

$$\therefore v=\frac{\sqrt{S^2+h^2}}{S}v_0$$

解本题常见的错误方法是将收绳的速率 v_0 当作总速度的大小，认为总速度的方向是沿绳子的方向，而船的速度只是其一个分量（如图），于是便有下面错误的结果，



$$v=v_0\cos\theta=\frac{S}{\sqrt{S^2+h^2}}v_0$$

错误的原因在于对研究对象的选取（应是绳端却误为绳子），对船的速度 v 与收绳的速率 v_0 的涵义不明确。

例题（三）、质点的运动方程 $x=x(t)$，$y=y(t)$，在计算质点的速度和加速度时，有人先求出 $r=\sqrt{x^2+y^2}$ 然后根据 $v=\frac{dr}{dt}$ 和 $a=\frac{d^2r}{dt^2}$ 求得 v 和 a 的值，也有人先计算出速度和加速度的分量再合成求得 v 和 a 的值。即：

$$v=\sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2+\left(\frac{dy}{dt}\right)^2}\text{，和}\quad a=\sqrt{\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)^2+\left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)^2}$$

这两种方法，那一种正确？差别何在？

〔解答〕：因位移、速度、加速度是矢量，因此求速度和加速度时应根据矢量求导法则。

$$\vec{v}=\frac{d\vec{r}}{dt}=\frac{d}{dt}(x\vec{i}+y\vec{j})=\frac{dx}{dt}\vec{i}+\frac{dy}{dt}\vec{j}$$

$$\vec{a}=\frac{d^2\vec{r}}{dt^2}=\frac{d^2}{dt^2}(x\vec{i}+y\vec{j})=\frac{d^2x}{dt^2}\vec{i}+\frac{d^2y}{dt^2}\vec{j}$$

因为 $\vec{i}$ 和 $\vec{j}$ 是单位矢且是恒向量，则 $\frac{d\vec{i}}{dt}=0$，$\frac{d\vec{j}}{dt}=0$

∴速度的大小 $v=\sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2+\left(\frac{dy}{dt}\right)^2}$，加速度的大小 $a=\sqrt{\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)^2+\left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)^2}$

所以，第二种方法是正确的，而第一种方法是不正确的。

例题（四）一人骑自行车向东行，在速度为 $10\ m\cdot s^{-1}$ 时觉得有南风；速度增加至 $15\ m\cdot s^{-1}$ 时觉得有东南风，求风的速度。

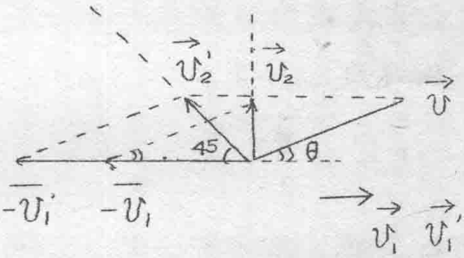
〔解〕：地是"不动"参照系，车是运动参照系，风是运动物体。

车对地的运动速度是牵连速度，先为 v_1（向东）后为 v_1'（向东）。

风对地的速度是"绝对"速度 v（大小、方向待求）（注意：$\vec{v}$ 的大小方向对两种情况都相同）。

风对车的速度是相对速度先为 v_2（向北）后为 v_2'（向西北）。

由相对运动的三个速度关系 $\vec{v}_2 = \vec{v} - \vec{v}_1 = \vec{v} + (-\vec{v}_1)$ 作出矢量图示（示意图）



设风对地速度 $\vec{v}$ 和正东方向夹角为θ。

则第一种情况：

$$v\cos\theta = v_1 = 10 \text{------} ①$$

第二种情况：$$\frac{15 - v\cos\theta}{v\sin\theta} = tg\,45^\circ \text{......} ②$$

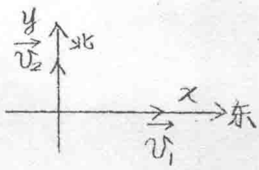
式①代入式②解得，$tg\,\theta = \frac{1}{2}$，查表得，

$\theta = 26^\circ 34'$（方向东偏北）

$$v = \frac{v}{\cos\theta} = \frac{10}{\cos 26^\circ 34'} = 11.2\ m\cdot s^{-1}$$

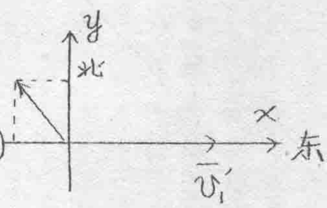
〔另解法〕用正交分解法求解。根据相对运动关系式有：

(第一种情况)



$$\vec{v}_2 = \vec{v} - \vec{v}_1$$

(第二种情况)



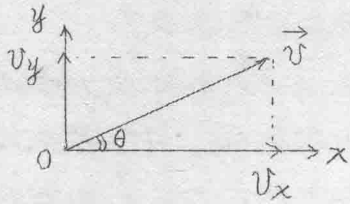
$$\vec{v}_2' = \vec{v} - \vec{v}_1'$$

$v_{2x}=v_x-v_{1x}=0$ 或 $v_x-10=0$ ……①　　$v'_{2x}=v_x-v'_{1x}$ 或 $v'_{2x}=v_x-15$ ……③

$v_{2y}=v_y-v_{1y}$　　或 $v_{2y}=v_y$ ……②　　$v'_{2y}=v_y-v'_{1y}$ 或 $v'_{2y}=v_y$ ……④

又 $\vec{v}_2'$ 向正西北取坐标投影 $-v'_{2x}=v'_{2y}$ ……⑤

由①式得 $v_x=10m\cdot s^{-1}$　由③④⑤式联立解得 $v_y=5m\cdot s^{-1}$



$$\therefore v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\sqrt{10^2+5^2}\doteq 11.2\ m\cdot s^{-1}$$（风速的大小）

$$\theta=tg^{-1}\frac{v_y}{v_x}=tg^{-1}\frac{5}{10}\doteq 26^\circ 34'$$（风速方向东偏北）

用正交分解法对几个互成角度的矢量合成（分是为了合）的处理显得简便且可减少错误。

四、自学计划安排

自学时间	学习内容	思考题	面授前应交作业	面授后应交作业
16	引言	0.1 — 0.5	1—1，1—2，	1.1），1.3），
	§ 1.1	1.1		1.5），1.7），
	§ 1.2	1.2 —1.7	（面授前应交作业题是另行印发的练习题）	1.9）。
	§ 1.3	1.8 —1.12		
	§ 1.4	1.13—1.18		

第二章　牛顿运动定律和参照系

一、目的要求：

1、正确理解牛顿三定律以及有关概念（惯性、力、质量、惯性参照系），领会牛顿定律作为经典力学基础的含义。

2、掌握几种常见力的规律，并能熟练地分析物体受力情况。

3、能正确运用牛顿三定律分析质点力学问题，并能熟练地运用隔离体法解题。

4、理解惯性力的概念，初步掌握在非惯性系中解决力学问题的方法（仅限于直线加速系和匀角速转动系中物体处于相对静止的情况）。

二、阅读指导

第一章研究了质点的空间位置随时间变化的规律（称之为质点运动学），但没有涉及运动状态发生变化的原因。本章进而研讨物体间的相互作用及由于这种相互作用所引起的机械运动状态变化的规律（称之为质点动力学）。

牛顿运动定律是质点运动必须遵循的基本规律。它揭示了物体间的相互作用及由于这种相互作用所引起的机械运动状态变化的规律。进而导出刚体、流体等的运动规律，建立了整个经典力学体系。牛顿运动定律也是学习热学、电磁学以及其它科学技术所必须掌握的基础知识。正确掌握力的分析方法和运用牛顿三定律处理质点力学问题是本章的重点内容。

1．牛顿三定律：

牛顿运动定律是概括了宏观物体在速度远小于光速的大量事实而总结出来的实验定律。牛顿定律只是在惯性参照系中才成立。

牛顿定律只适用于研究质点的运动（如果物体各部分之间有相对运动，则必须把物体的运动看成是由许许多多质点运动所组成）。

(1) 牛顿第一定律　学习该定律时必须注意：

① 定律肯定了力的概念。即：力是物体间的相互作用（起源）。

力是物体运动状态改变的原因（效果）。

② 不受力作用的物体是没有的，但只要所受的合力 $\sum \vec{F}=0$，物体就保持运动状态不变。

③ 任何物体都具有保持运动状态不变的特性——惯性。

(2) 牛顿第二定律：$\sum \vec{F_i}=m\vec{a}$

或写成分量式：$\sum F_{ix}=ma_x$，$\sum F_{iy}=ma_y$，$\sum F_{iz}=ma_z$

学习该定律时要注意：

① 第二定律是运动定律，而不是力的定义。

② 深刻理解力和加速度之间的瞬时性、同时性和同向性。即：合外力 $\sum \vec{F_i}$ 和 $\vec{a}$ 为同一时刻的瞬时量，因果同时，且方向一致。

③ $\sum \vec{F_i}=m\vec{a}$　各物理量都采用国际力学单位制（MKS制）。

④ 从加速度与物体质量的关系 $\frac{a_1}{a_2}=\frac{m_2}{m_1}$ 中理解质量是物体的惯性的量度。

⑤ 物体处于平衡状态时 $\vec{a}=0$，$\sum \vec{F_i}=0$ 是物体处于平衡的条件。

⑥ 牛顿第二定律是在牛顿第一定律的基础上，表示物体的基本属性（质量），物体机械运动状态的变化、物体与其他物体的相互作用三者的定量关系，因此它是独立于第一定律的定律。

(3) 牛顿第三定律　$\vec{F}=-\vec{F}'$，学习该定律时应注意：

① 两个物体相互作用的一对力 $\vec{F}$、$\vec{F}'$，大小相等方向

相反且同在一直线上。

② 同时产生，同时消失。即有 $\vec{F}$ 就有 $\vec{F}'$，其中一个叫作用力，则另一个就叫反作用力。

③ $\vec{F}$ 和 $\vec{F}'$ 分别作用在不同物体上，因此绝不能"抵消"或平衡。

④ $\vec{F}$ 和 $\vec{F}'$ 是同一性质的力（如 $\vec{F}$ 是万有引力，则 $\vec{F}'$ 也必为万有引力）。

⑤ 无论相互作用的物体双方处于何种运动状态，牛顿第三定律均成立。

2、力（力学中常见的力）

力是物体间的相互作用。力是矢量，要注意它的方向、大小和作用点。

相互作用分为接触作用和场作用两种。在经典力学中，场作用主要是万有引力，接触作用主要有弹性力和摩擦力。

（1）万有引力：宇宙间任何两个物体间都存在着相互吸引的力，这种力称之为万有引力。

① 万有引力定律：$F = G\dfrac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$，式中 $G = 6.67\times10^{-11}$ 牛顿·米^2/千克^2，称为万有引力常数，引力的方向总是沿两质点的连线，相互吸引。

学习该定律应注意：i，m_1、m_2 为引力质量，和惯性质量在数值上相等。即质量这个物理量，既描述物体的惯性又描述物体的引力性。

ii，只有当 m_1、m_2 是质点时定律才成立。不能视为质点的物体则可看成是质点组，只能分别求质点间引力后再求合力。

iii，无论物体互相接触或相隔一定距离，万有引力都一样存在。

ⅳ，均匀球体对球外某一质点的引力作用定律仍成立，但r应为球心与质点间的距离。

②重力是地球对地面附近物体的万有引力。在地球表面附近，可以相当准确地把重力看作是竖直向下的恒力。

重力 $\vec{P}=m\vec{g}$，式中g是重力对物体作用所引起的加速度，在没有特别指明地球纬度和物体高度以及地球自转影响的话，就可近似地认为$g=9.8m\cdot S^{-2}$，方向指向地心。

重力加速度g亦可由下列关系推出：$F=G\frac{mM}{r^2}$，$P=mg$

根据重力定义，则 $mg=G\frac{mM}{r^2}$，（式中M为地球质量，r为地球半径）

$$\therefore g=G\frac{M}{r^2}=6.67\times10^{-11}\times\frac{5.98\times10^{24}}{(6.38\times10^6)^2}=9.8m\cdot S^{-2}$$

(2)弹性力是形变物体恢复原状而施于相接触的另一物体的力。相互接触且发生形变是产生弹性力的充分必要条件。

弹性力包括弹簧由于伸长或压缩而施于物体的力、绳子的张力，以及物体的支持力、压力等。其特点是形变物体的弹性恢复力与外力方向相反。对轻绳而言，绳中各点张力相同。

(3)摩擦力：

当两物体接触面间发生相对运动，或具有相对运动趋势时，在接触面间产生阻止物体相对运动的力，称之为摩擦力。

①当物体在外力作用下，仍保持相对静止，但有相对运动的趋势时接触面间产生的摩擦力称之为静摩擦力。静摩擦力随外力的增大而增大，在即将开始滑动时静摩擦达到最大值。

$f_{max}=\mu_0 N$，μ_0为静摩擦系数，N为正压力。