

第一章匀变速直线运动

一、基本概念

1、速度 (v)

- (1) 物理意义：速度是表示运动的快慢、运动方向的物理量
- (2) 定义：等于位移跟发生这段位移 Δx 所用时间 Δt 的比值
- (3) 表达式： $v = \Delta x / \Delta t$ (SI 中，单位为 m/s) $1\text{m/s}=3.6\text{km/h}$

2、平均速度、瞬时速度

- (1) 平均速度：描述物体在某段时间（位移）内的平均的运动的快慢，是矢量；
- (2) 瞬时速度：运动的物体在（经过）某一时刻（或某一位置）的速度，是矢量

3、加速度的基本概念

- (1) 物理意义：描述速度变化快慢及变化方向的物理量
- (2) 定义：速度的变化量跟发生这一变化所用时间的比值(又是用比值法定义)
- (3) 计算公式及单位： $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ ，在 SI 中，单位是 m/s^2 （读作“米每二次方秒”）
- (4) 矢量：方向与 Δv 方向一致. 加（减）速直线运动时， a 方向与 v 方向相同（相反）
- (5) $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ 叫速度的变化率即加速度
- (6) 匀变速运动：加速度不变（大小、方向）的运动

4、加速度、速度、速度的变化量、速度的变化率之间的联系和区别(通过问题实例)

- (1) 区别：加速度大小与速度大小、速度的变化量的大小并无直接的关系
- (2) 联系：加速度大小与速度的变化率成正比

二、匀变速直线运动四大基本公式及推论

1、速度与时间的关系： $v_t = v_0 + at$ ，

2、位移与时间的关系： $s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$

3、速度与位移的关系： $v_t^2 - v_0^2 = 2as$ ，

4、位移与平均速度的关系： $s = \bar{v} \cdot t = \frac{v_0 + v_t}{2} t$

5、匀变速直线运动的物体相邻相等时间内的位移差 $\Delta x = aT^2$ $a = \frac{\Delta x}{T^2}$

$$\Delta S = aT^2; \quad a = \frac{S_{n+m} - S_n}{mT^2}; \quad \text{可以推广为: } S_m - S_n = (m-n)aT^2$$

6、某段时间的中间时刻的即时速度等于该段时间内的平均速度： $V_{\frac{t}{2}} = \frac{V_0 + V_t}{2}$

7、某段位移的中间位置的即时速度公式（不等于该段位移内的平均速度） $V_{\frac{s}{2}} = \sqrt{\frac{V_0^2 + V_t^2}{2}}$.

无论匀加速还是匀减速，都有 $V_{\frac{t}{2}} < V_{\frac{s}{2}}$.

初速度为零的匀变速直线运动特殊推论

做匀变速直线运动的物体，如果初速度为零，或者末速度为零，那么公式都可简化为：

$$V = at, \quad s = \frac{1}{2}at^2, \quad V^2 = 2as, \quad s = \frac{V}{2}t$$

以上各式都是单项式，因此可以方便地找到各物理量间的比例关系.

①前 1s、前 2s、前 3s……内的位移之比为 1 : 4 : 9 : ……

②第 1s、第 2s、第 3s……内的位移之比为 1 : 3 : 5 : ……

③前 1m、前 2m、前 3m……所用的时间之比为 1 : $\sqrt{2}$: $\sqrt{3}$: ……

④第 1m、第 2m、第 3m……所用的时间之比为 1 : ($\sqrt{2}-1$) : ($\sqrt{3}-\sqrt{2}$) : ……

特殊的匀变速直线运动竖直上抛运动： 上升过程是匀减速直线运动，下落过程是匀加速直线运动。全过程是初速度为 V_0 、加速度为 $-g$ 的匀减速直线运动。

(1) 上升最大高度： $h = \frac{v_0^2}{2g}$

(2) 上升的时间： $t = \frac{v_0}{g}$

(3) 上升、下落经过同一位置时的加速度相同，而速度等值反向

(4) 上升、下落经过同一段位移的时间相等。

从抛出到落回原位置的时间： $t = \frac{2v_0}{g}$

三、图像问题

1、位移—时间图像

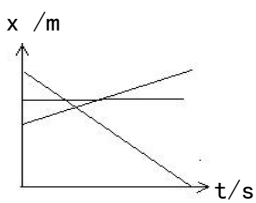
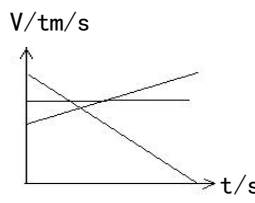
定义：用纵坐标表示位移 x ，用横坐标表示时间 t ，建立平面直角坐标系，所画出来的位移 x 随时间 t 变化的图像，叫位移—时间图像，简称 $x-t$

2、速度—时间图像

定义：在平面直角坐标系中，用纵坐标表示速度 v ，用横坐标表示时间 t ，根据实际数据取单位、标度、描点，用平滑线连接个点所得的图像，叫做 $v-t$ 图像。

匀速直线运动的 $v-t$ 图像是一条和横坐标平行的直线， $v-t$ 图像面积表示的是位移。

3、 $x-t$ 与 $v-t$ 的比较

图像内容		
坐标轴	横轴表示时间纵轴表示位移	横轴表示时间纵轴表示速度
点	表示某时刻质点所在的位置的变化情况	表示某时刻质点的速度
线	表示一段时间内质点位置的变化情况	表示一段时间内质点速度的变化情况
面		图线与横轴所围成的面积，表示在一段时间内质点所通过的位移
图像的斜率	表示质点运动的速度	表示质点运动的加速度
图像的截距	表示质点的初始位置	表示质点运动的初速度
两图线的交点	表示质点相遇的时刻和位置	表示两质点在此时刻速度相同

四、“追及”、“相碰”问题

1、“追及”、“相碰”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。常见的情形有三种：

- (1)、速度为零的匀加速运动的物体甲追赶同方向的匀速运动的物体乙时，一定能追上，在追上之前两者有最大距离的条件是两物体速度相等，即： $v_{甲} = v_{乙}$ ；
- (2)、匀速运动的物体甲追赶同方向做匀加速运动的物体乙时，存在一个恰好追上或恰好追不上的临界条件是两物体速度相等，即： $v_{甲} = v_{乙}$ ；此临界条件给出了一个判断此种追赶情形能否追上的方法，即可通过比较两物体处在同一位置时的速度大小来分析，具体方法是：假定在追赶过程中两者能处在同一位置，比较此时的速度大小。若 $v_{甲} > v_{乙}$ ，则能追上；若 $v_{甲} < v_{乙}$ ，则追不上。如果始终追不上，当两物体速度相等时，两物体的间距最小；
- (3)、匀减速运动的物体追赶同方向的匀速的运动的物体时，情形跟第二种相类似。

两物体恰能“相碰”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。

这类问题中，临界条件： $v_{甲} = v_{乙}$ 十分重要，但在不同的具体问题中这一条件对应的具体物理意义不尽相同，因此，要求同学们在利用好这一条件的同时区分好这一条件的物理意义。

2、解“追及”、“相碰”问题的思路

解题的基本思路是：

- 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、根据对两物体的运动性质，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关联方程。
- ④、联立方程求解。

3、分析“追及”、“相碰”问题应注意

- ①、分析“追及”、“相碰”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。其中通过画草图找出两物体位移之间的数量关系，是解题的突破口。因此，在学习中一定要养成画草图分析问题的良好习惯，对帮助我们理解题意，启迪思维大有裨益。
- ②、若被追赶的物体做匀减速运动，一定要注意追上前，该物体是否停止运动。

- 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。如：“刚好”、“恰好”、“最多”、“至少”等，往往对应一个临界状态，满足相应的临界条件。

4、解决追及和相碰问题大致分为两种方法，即数学方法和物理方法。
求解过程中可以有不同的思路，例如考虑图象法等等。

第二章 力与物体的平衡

基本概念

1. 力：是物体对物体的作用，是物体发生形变和改变物体的运动状态(即产生加速度)的原因。力是矢量。

2. 重力

(1)重力是由于地球对物体的吸引而产生的。

[注意]重力是由于地球的吸引而产生，但不能说重力就是地球的吸引力，重力是万有引力的一个分力。但在地球表面附近，可以认为重力近似等于万有引力。

(2)重力的大小：地球表面 $G=mg$ ，离地面高 h 处 $G'=mg'$ ，其中 $g'=[R/(R+h)]^2g$ 。

(3)重力的方向：竖直向下(不一定指向地心)。

(4)重心：物体的各部分所受重力合力的作用点，物体的重心不一定在物体上。

3. 弹力

(1)产生原因：由于发生弹性形变的物体有恢复形变的趋势而产生的。

(2)产生条件：①直接接触；②有弹性形变。

(3)弹力的方向：与物体形变的方向相反，弹力的受力物体是引起形变的物体，施力物体是发生形变的物体。在点面接触的情况下，垂直于面；在两个曲面接触(相当于点接触)的情况下，垂直于过接触点的公切面。

①绳的拉力方向总是沿着绳且指向绳收缩的方向，且一根轻绳上的张力大小处处相等。

②轻杆既可产生压力，又可产生拉力，且方向不一定沿杆。

(4)弹力的大小：一般情况下应根据物体的运动状态，利用平衡条件或牛顿定律来求解。弹簧弹力可由胡克定律来求解。

★胡克定律：在弹性限度内，弹簧弹力的大小和弹簧的形变量成正比，即 $F=kx$ 。 k 为弹簧的劲度系数，它只与弹簧本身因素有关，单位是 N/m 。

4. 摩擦力

(1)产生的条件：①相互接触的物体间存在压力;②接触面不光滑;③接触的物体之间有相对运动(滑动摩擦力)或相对运动的趋势(静摩擦力)，这三点缺一不可。

(2)摩擦力的方向：沿接触面切线方向，与物体相对运动或相对运动趋势的方向相反，与物体运动的方向可以相同也可以相反。

(3)判断静摩擦力方向的方法：

①假设法：首先假设两物体接触面光滑，这时若两物体不发生相对运动，则说明它们原来没有相对运动趋势，也没有静摩擦力;若两物体发生相对运动，则说明它们原来有相对运动趋势，并且原来相对运动趋势的方向跟假设接触面光滑时相对运动的方向相同。然后根据静摩擦力的方向跟物体相对运动趋势的方向相反确定静摩擦力方向。

②平衡法：根据二力平衡条件可以判断静摩擦力的方向。

(4)大小：先判定是何种摩擦力，然后再根据各自的规律去分析求解。

①滑动摩擦力大小：利用公式 $f = \mu F_N$ 进行计算，其中 F_N 是物体的正压力，不一定等于物体的重力，甚至可能和重力无关。或者根据物体的运动状态，利用平衡条件或牛顿定律来求解。

②静摩擦力大小：静摩擦力大小可在 0 与 $f_{\max}$ 之间变化，一般应根据物体的运动状态由平衡条件或牛顿定律来求解。

5. 物体的受力分析

(1)确定所研究的物体，分析周围物体对它产生的作用，不要分析该物体施于其他物体上的力，也不要分析作用在其他物体上的力错误地认为通过“力的传递”作用在研究对象上。

(2)按“性质力”的顺序分析。即按重力、弹力、摩擦力、其他力顺序分析，不要把“效果力”与“性质力”混淆重复分析。

(3)如果有一个力的方向难以确定，可用假设法分析。先假设此力不存在，想像所研究的物体会发生怎样的运动，然后审查这个力应在什么方向，对象才能满足给定的运动状态。

6. 力的合成与分解

(1)合力与分力：如果一个力作用在物体上，它产生的效果跟几个力共同作用产生的效果相同，这个力就叫做那几个力的合力，而那几个力就叫做这个力的分力。(2)力合成与分解的根本方法：平行四边形定则。

(3)力的合成：求几个已知力的合力，叫做力的合成。

共点的两个力(F_1 和 F_2)合力大小 F 的取值范围为： $|F_1 - F_2| \leq F \leq F_1 + F_2$ 。

(4) 力的分解：求一个已知力的分力，叫做力的分解(力的分解与力的合成互为逆运算)。

在实际问题中，通常将已知力按力产生的实际作用效果分解；为方便某些问题的研究，在很多问题中都采用正交分解法。

7. 共点力的平衡

(1) 共点力：作用在物体的同一点，或作用线相交于一点的几个力。

(2) 平衡状态：物体保持匀速直线运动或静止叫平衡状态，是加速度等于零的状态。

(3) 平衡条件的推论

二力平衡：如果物体在两个共点力的作用下处于平衡状态，这两个力必定大小相等，方向相反。

三力平衡：如果物体在三个共点力的作用下处于平衡状态，其中任何一个力与其余两个力的合力大小相等，方向相反，并且这三个力的矢量可以形成一个封闭的矢量三角形。

多力平衡：如果物体在多个共点力的作用下处于平衡状态，其中任何一个力与其余几个力的合力大小相等，方向相反。

★(4) 共点力作用下的物体的平衡条件：物体所受的合外力为零，即 $\Sigma F=0$ ，若采用正交分解法求解平衡问题，则平衡条件应为： $\Sigma F_x=0$ ， $\Sigma F_y=0$ 。

(5) 解决平衡问题的常用方法：隔离法、整体法、图解法、力的合成、三角形相似法、正交分解法正弦定理等等。

第三章 牛顿运动定律 知识点

一、牛顿第一定律

1. 牛顿第一定律（惯性定律）：一切物体总是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。

这个定律有两层含义：

(1) 保持匀速直线运动状态或静止状态是物体的固有属性；物体的运动不需要用力来维持。

(2) 要使物体的运动状态（即速度包括大小和方向）改变，必须施加力的作用，力是改变物体运动状态的原因。

点评：

①牛顿第一定律导出了力的概念

力是改变物体运动状态的原因。（运动状态指物体的速度）又根据加速度定义：

$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ ，有速度变化就一定有加速度，所以可以说：力是使物体产生加速度的原因。

（不能说“力是产生速度的原因”、“力是维持速度的原因”，也不能说“力是改变加速度的原因”。）

②牛顿第一定律导出了惯性的概念

一切物体都有保持原有运动状态的性质，这就是惯性。惯性反映了物体运动状态改变的难易程度（惯性大的物体运动状态不容易改变）。质量是物体惯性大小的量度。

③牛顿第一定律描述的是理想化状态

牛顿第一定律描述的是物体在不受任何外力时的状态。而不受外力的物体是不存在的。物体不受外力和物体所受合外力为零是有区别的，所以不能把牛顿第一定律当成牛顿第二定律在 $F=0$ 时的特例。

2. 惯性：物体保持原来匀速直线运动状态或静止状态的性质。对于惯性理解应注意以下三点：

（1）惯性是物体本身固有的属性，跟物体的运动状态无关，跟物体的受力无关，跟物体所处的地理位置无关。

（2）质量是物体惯性大小的量度，质量大则惯性大，其运动状态难以改变。

（3）外力作用于物体上能使物体的运动状态改变，但不能认为克服了物体的惯性。

二、牛顿第三定律

1. 对牛顿第三定律理解应注意：

（1）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，作用在一条上

（2）作用力与反作用力总是成对出现，同时产生，同时变化，同时消失

（3）作用力和反作用力在两个不同的物体上，各产生其效果，永远不会抵消

（4）作用力和反作用力是同一性质的力

（5）物体间的相互作用力既可以是接触力，也可以是“场”力

定律内容可归纳为：同时、同性、异物、等值、反向、共线

2. 区分一对作用力反作用力和一对平衡力

一对作用力反作用力和一对平衡力的共同点有：大小相等、方向相反、作用在同一条直线上。不同点有：作用力反作用力作用在两个不同物体上，而平衡力作用在同一个物体上；作用力反作用力一定是同种性质的力，而平衡力可能是不同性质的力；作用力反作用力一定是同时产生同时消失的，而平衡力中的一个消失后，另一个可能仍然存在。

	一对作用力和反作用力	一对平衡力
作用对象	两个物体	同一个物体
作用时间	同时产生，同时消失	不一定同时产生或消失
力的性质	一定是同性质的力	不一定是同性质的力
力的大小关系	大小相等	大小相等
力的方向关系	方向相反且共线	方向相反且共线

3. 一对作用力和反作用力的冲量和功

一对作用力和反作用力在同一个过程中（同一段时间或同一段位移）的总冲量一定为零，但做的总功可能为零、可能为正、也可能为负。这是因为作用力和反作用力的作用时间一定是相同的，而位移大小、方向都可能是不同的。

1. 都不做功。如：静止于地面上的物体或沿水平地面运动的物体，物体与地面间的一对弹力均不做功等。

2. 都做正功。如：两个完全相同带电小球相互远离（对地向相反方向运动）的过程中，一对库仑力都做正功等。

3. 都做负功。如：两个条形磁铁同名磁极相对互相靠近过程中，一对磁力均做负功等。

4. 一个做正功，另一个做负功。如：

(一). 一颗子弹击中木块过程中，木块对子弹的力做负功，子弹对木块的力做正功（功的代数和为负）；

(二). 斜面体 B 的斜面光滑，放在光滑水平面上。一滑块 A 沿 B 的斜面滑下。在下滑中，A、B 间存在一对弹力，A、B 在垂直斜面方向是相对静止的，B 对 A 的弹力作负功，A 对 B 的弹力作正功（功的代数和为零）

5. 一个做功（正或负），另一个不做功。

如：重力做功；滑动摩擦力做功；电场力做功；分子力做功；安培力做功等。

四、牛 顿 第 二 定 律

1. 定律的表述

物体的加速度跟所受的外力的合力成正比，跟物体的质量成反比，加速度的方向跟合力的方向相同，即 $F=ma$ （其中的 F 和 m 、 a 必须相对应）

点评：特别要注意表述的第三句话。因为力和加速度都是矢量，它们的关系除了数量大小的关系外，还有方向之间的关系。明确力和加速度方向，也是正确列出方程的重要环节。

若 F 为物体受的合外力，那么 a 表示物体的实际加速度；若 F 为物体受的某一个方向上的所有力的合力，那么 a 表示物体在该方向上的分加速度；若 F 为物体受的若干力中的某一个力，那么 a 仅表示该力产生的加速度，不是物体的实际加速度。

2. 对定律的理解：

（1）**瞬时性**：加速度与合外力在每个瞬时都有大小、方向上的对应关系，这种对应关系表现为：合外力恒定不变时，加速度也保持不变。合外力变化时加速度也随之变化。合外力为零时，加速度也为零。

（2）**矢量性**：牛顿第二定律公式是矢量式。公式 $a = \frac{F}{m}$ 只表示加速度与合外力的大小关系。矢量式的含义在于加速度的方向与合外力的方向始终一致。

（3）**同一性**：加速度与合外力及质量的关系，是对同一个物体（或物体系）而言。即 F 与 a 均是对同一个研究对象而言。

(4) **相对性**：牛顿第二定律只适用于惯性参照系。

(5) **局限性**：牛顿第二定律只适用于低速运动的宏观物体，不适用于高速运动的微观粒子。

3. 牛顿第二定律确立了力和运动的关系

牛顿第二定律明确了物体的受力情况和运动情况之间的定量关系。联系物体的受力情况和运动情况的桥梁或纽带就是加速度。

4. 应用牛顿第二定律解题的步骤

(1) 明确研究对象。可以以某一个物体为对象，也可以以几个物体组成的质点组为对象。设每个质点的质量为 m_i ，对应的加速度为 a_i ，则有：

$$F_{\text{合}} = m_1 a_1 + m_2 a_2 + m_3 a_3 + \cdots + m_n a_n$$

对这个结论可以这样理解：

先分别以质点组中的每个物体为研究对象用牛顿第二定律：

$$\Sigma F_1 = m_1 a_1, \Sigma F_2 = m_2 a_2, \cdots \Sigma F_n = m_n a_n,$$

将以上各式等号左、右分别相加，其中左边所有力中，凡属于系统内力的，总是成对出现并且大小相等方向相反的，其矢量和必为零，所以最后得到的是该质点组所受的所有外力之和，即合外力 F 。

(2) 对研究对象进行受力分析。同时还应该分析研究对象的运动情况（包括速度、加速度），并把速度、加速度的方向在受力图旁边画出来。

(3) 若研究对象在不共线的两个力作用下做加速运动，一般用平行四边形定则（或三角形定则）解题；若研究对象在不共线的三个以上的力作用下做加速运动，一般用正交分解法解题（注意灵活选取坐标轴的方向，既可以分解力，也可以分解加速度）。

(4) 当研究对象在研究过程的不同阶段受力情况有变化时，那就必须分阶段进行受力分析，分阶段列方程求解。

解题要养成良好的习惯。只要严格按照以上步骤解题，同时认真画出受力分析图，标出运动情况，那么问题都能迎刃而解。

五、牛顿运动定律在动力学问题中的应用

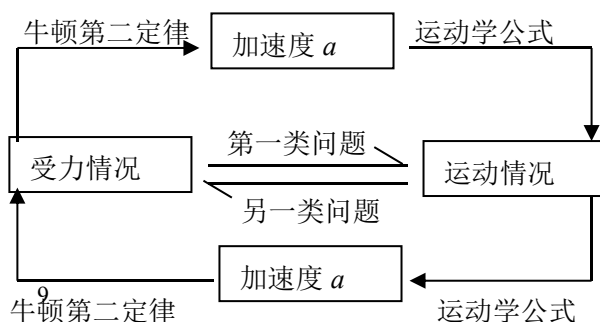
1. 运用牛顿运动定律解决的动力学问题常常可以分为两种类型（两类动力学基本问题）：

(1) 已知物体的受力情况，要求物体的运动情况。如物体运动的位移、速度及时间等。

(2) 已知物体的运动情况，要求物体的受力情况（求力的大小和方向）。

但不管哪种类型，一般总是先根据已知条件求出物体运动的加速度，然后再由此得出问题的答案。

两类动力学基本问题的解题思路图解如下：



可见，不论求解那一类问题，求解加速度是解题的桥梁和纽带，是顺利求解的关键。

点评：我们遇到的问题中，物体受力情况一般不变，即受恒力作用，物体做匀变速直线运动，故常用的运动学公式为匀变速直线运动公式，如

$$v_t = v_0 + at, s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2, v_t^2 - v_0^2 = 2as, \bar{v} = \frac{s}{t} = \frac{v_0 + v_t}{2} = v_t / 2 \text{ 等.}$$

2. 应用牛顿运动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，搞清所求问题的类型。

(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。

(4) 当研究对象所受的外力不在一条直线上时：如果物体只受两个力，可以用平行四边形定则求其合力；如果物体受力较多，一般把它们正交分解到两个方向上去分别求合力；如果物体做直线运动，一般把各个力分解到沿运动方向和垂直运动的方向上。

(5) 根据牛顿第二定律和运动学公式列方程，物体所受外力、加速度、速度等都可根据规定的正方向按正、负值代入公式，按代数和进行运算。

(6) 求解方程，检验结果，必要时对结果进行讨论。

六、整体法与隔离法

1. 整体法：在研究物理问题时，把所研究的对象作为一个整体来处理的方法称为整体法。采用整体法时不仅可以把几个物体作为整体，也可以把几个物理过程作为一个整体，采用整体法可以避免对整体内部进行繁琐的分析，常常使问题解答更简便、明了。

运用整体法解题的基本步骤：

(1) 明确研究的系统或运动的全过程。

(2) 画出系统的受力图和运动全过程的示意图。

(3) 寻找未知量与已知量之间的关系，选择适当的物理规律列方程求解

2. 隔离法：把所研究对象从整体中隔离出来进行研究，最终得出结论的方法称为隔离法。可以把整个物体隔离成几个部分来处理，也可以把整个过程隔离成几个阶段来处理，还可以对同一个物体，同一过程中不同物理量的变化进行分别处理。采用隔离物体法能排除与研究对象无关的因素，使事物的特征明显地显示出来，从而进行有效的处理。

运用隔离法解题的基本步骤：

(1) 明确研究对象或过程、状态，选择隔离对象.选择原则是：一要包含待求量，二是所选隔离对象和所列方程数尽可能少。

(2) 将研究对象从系统中隔离出来；或将研究的某状态、某过程从运动的全过程中隔离出来。

(3) 对隔离出的研究对象、过程、状态分析研究，画出某状态下的受力图或某阶段的运动过程示意图。

(4) 寻找未知量与已知量之间的关系，选择适当的物理规律列方程求解。

3. 整体和局部是相对统一相辅相成的

隔离法与整体法，不是相互对立的，一般问题的求解中，随着研究对象的转化，往往两种方法交叉运用，相辅相成。所以，两种方法的取舍，并无绝对的界限，必须具体分析，灵活运用。无论哪种方法均以尽可能避免或减少非待求量（即中间未知量的出现，如非待求的力，非待求的中间状态或过程等）的出现为原则

七、临界问题

在某些物理情境中，物体运动状态变化的过程中，由于条件的变化，会出现两种状态的衔接，两种现象的分界，同时使某个物理量在特定状态时，具有最大值或最小值。这类问题称为临界问题。在解决临界问题时，进行正确的受力分析和运动分析，找出临界状态是解题的关键。

八、超重、失重和视重

1. 超重现象：物体对支持物的压力（或对悬挂物的拉力） 大于 物体所受重力的情况称为超重现象。

产生超重现象的条件是物体具有 向上 的加速度。与物体速度的大小和方向无关。

产生超重现象的原因：当物体具有向上的加速度 a （向上加速运动或向下减速运动）时，支持物对物体的支持力（或悬挂物对物体的拉力）为 F ，由牛顿第二定律得

$$F - mg = ma$$

$$\text{所以 } F = m(g + a) > mg$$

由牛顿第三定律知，物体对支持物的压力（或对悬挂物的拉力） $F' > mg$ 。

2. 失重现象：物体对支持物的压力（或对悬挂物的拉力） 小于 物体所受重力的情况称为失重现象。

产生失重现象的条件是物体具有 向下 的加速度，与物体速度的大小和方向无关。

产生失重现象的原因：当物体具有向下的加速度 a （向下加速运动或向上做减速运动）时，支持物对物体的支持力（或悬挂物对物体的拉力）为 F 。由牛顿第二定律

$$mg - F = ma, \text{ 所以}$$

$$F = m(g - a) < mg$$

由牛顿第三定律知，物体对支持物的压力（或对悬挂物的拉力） $F' < mg$ 。

完全失重现象：物体对支持物的压力（或对悬挂物的拉力）等于零的状态，叫做完全失重状态。

产生完全失重现象的条件：当物体竖直向下的加速度等于重力加速度时，就产生完全失重现象。

点评：（1）在地球表面附近，无论物体处于什么状态，其本身的重力 $G = mg$ 始终不变。超重时，物体所受的拉力（或支持力）与重力的合力方向向上，测力计的示数大于物体的重力；失重时，物体所受的拉力（或支持力）与重力的合力方向向下，测力计的示数小于物体的重力。可见，在失重、超重现象中，物体所受的重力始终不变，只是测力计的示数（又称**视重**）发生了变化，好像物体的重量有所增大或减小。

- (2) 发生超重和失重现象，只决定于物体在竖直方向上的加速度。物体具有向上的加速度时，处于超重状态；物体具有向下的加速度时，处于失重状态；当物体竖直向下的加速度为重力加速度时，处于完全失重状态。超重、失重与物体的运动方向无关。

第四章 曲线运动

一、基本概念

1. 曲线运动的条件：质点所受合外力的方向（或加速度方向）跟它的速度方向不在同一直线上。当物体受到的合力为恒力（大小恒定、方向不变）时，物体作匀变速曲线运动，如平抛运动。当物体受到的合力大小恒定而方向总跟速度的方向垂直，则物体将做匀速率圆周运动。（这里的合力可以是万有引力——卫星的运动、库仑力——电子绕核旋转、洛仑兹力——带电粒子在匀强磁场中的偏转、弹力——绳拴着的物体在光滑水平面上绕绳的一端旋转、重力与弹力的合力——锥摆、静摩擦力——水平转盘上的物体等。）

如果物体受到约束，只能沿圆形轨道运动，而速率不断变化——如小球被绳或杆约束着在竖直平面内运动，是变速率圆周运动。合力的方向并不总跟速度方向垂直。

2. 曲线运动的特点：曲线运动的速度方向一定改变，所以是变速运动。需要重点掌握的两种情况：一是加速度大小、方向均不变的曲线运动，叫匀变速曲线运动，如平抛运动，另一是加速度大小不变、方向时刻改变的曲线运动，如匀速圆周运动。

二、运动的合成与分解

1. 从已知的分运动来求合运动，叫做运动的合成，包括位移、速度和加速度的合成，由于它们都是矢量，所以遵循平行四边形定则。重点是判断合运动和分运动，这里分两种情况介绍。

一种是研究对象被另一个运动物体所牵连，这个牵连指的是相互作用的牵连，如船在水上航行，水也在流动着。船对地的运动为船对静水的运动与水对地的运动的合运动。一般地，物体的实际运动就是合运动。

第二种情况是物体间没有相互作用力的牵连，只是由于参照物的变换带来了运动的合成问题。如两辆车的运动，甲车以 $v_{甲}=8\text{ m/s}$ 的速度向东运动，乙车以 $v_{乙}=8\text{ m/s}$ 的速度向北运动。求甲车相对于乙车的运动速度 $v_{甲对乙}$ 。

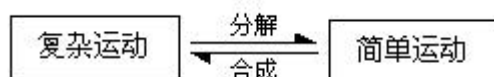
2. 求一个已知运动的分运动，叫运动的分解，解题时应按实际“效果”分解，或正交分解。

3. 合运动与分运动的特征：

①等时性：合运动所需时间和对应的每个分运动时间相等

②独立性：一个物体可以同时参与几个不同的分运动，各个分运动独立进行，互不影响。

4. 物体的运动状态是由初速度状态（ v_0 ）和受力情况（ $F_{合}$ ）决定的，这是处理复杂运动的力和运动的观点。思路是：



(1) 存在中间牵连参照物问题：如人在自动扶梯上行走，可将人对地运动转化为人对梯和梯对地的两个分运动处理。

(2) 匀变速曲线运动问题：可根据初速度（ v_0 ）和受力情况建立直角坐标系，将复杂运动转化为坐标轴上的简单运动来处理。如平抛运动、带电粒子在匀强电场中的偏转、带电粒子在重力场和电场中的曲线运动等都可以利用这种方法处理。

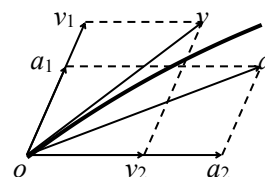
5. 运动的性质和轨迹

物体运动的性质由加速度决定（加速度为零时物体静止或做匀速运动；加速度恒定时物体做匀变速运动；加速度变化时物体做变加速运动）。

物体运动的轨迹（直线还是曲线）则由物体的速度和加速度的方向关系决定（速度与加速度方向在同一条直线上时物体做直线运动；速度和加速度方向成角度时物体做曲线运动）。

两个互成角度的直线运动的合运动是直线运动还是曲线运动？

决定于它们的合速度和合加速度方向是否共线（如图所示）。



常见的类型有：

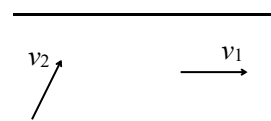
(1) $a=0$ ：匀速直线运动或静止。

(2) a 恒定：性质为匀变速运动，分为：① v 、 a 同向，匀加速直线运动；② v 、 a 反向，匀减速直线运动；③ v 、 a 成角度，匀变速曲线运动（轨迹在 v 、 a 之间，和速度 v 的方向相切，方向逐渐向 a 的方向接近，但不可能达到。）

(3) a 变化：性质为变加速运动。如简谐运动，加速度大小、方向都随时间变化。

6. 过河问题

如右图所示，若用 v_1 表示水速， v_2 表示船速，则：

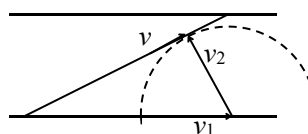


① 过河时间仅由 v_2 的垂直于岸的分量 $v_{\perp}$ 决定，即 $t = \frac{d}{v_{\perp}}$ ，与 v_1 无关，

所以当 $v_2 \perp$ 岸时，过河所用时间最短，最短时间为 $t = \frac{d}{v_2}$ 也与 v_1 无关。

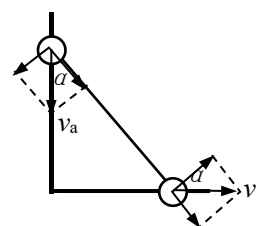
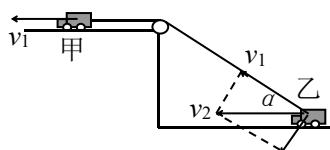
② 过河路程由实际运动轨迹的方向决定，当 $v_1 < v_2$ 时，最短路程为 d ；当 $v_1 > v_2$ 时，最短路程为

$\frac{v_1}{v_2} d$ （如右图所示）。



7. 连带运动问题

指物拉绳（杆）或绳（杆）拉物问题。由于高中研究的绳都是不可伸长的，杆都是不可伸长和压缩的，即绳或杆的长度不会改变，所以解题原则是：把物体的实际速度分解为垂直于绳（杆）和平行于绳（杆）两个分量，根据沿绳（杆）方向的分速度大小相同求解。



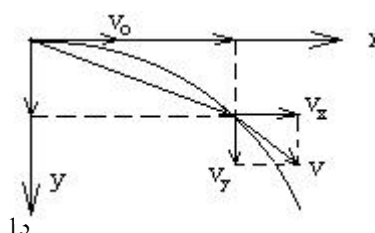
三、平抛运动

当物体初速度水平且仅受重力作用时的运动，被称为平抛运动。其轨迹为抛物线，性质为匀变速运动。平抛运动可分解为水平方向的匀速运动和竖直方向的自由落体运动这两个分运动。广义地说，当物体所受的合外力恒定且与初速度垂直时，做类平抛运动。

1、平抛运动基本规律

① 速度： $v_x = v_0$ ， $v_y = gt$

合速度 $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$



方向： $\tan \theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{gt}{v_0}$

②位移 $x=v_0t$ $y=\frac{1}{2}gt^2$

合位移大小： $s=\sqrt{x^2+y^2}$ 方向： $\tan \alpha = \frac{y}{x} = \frac{g}{2v_0} \cdot t$

③时间由 $y=\frac{1}{2}gt^2$ 得 $t=\sqrt{\frac{2y}{g}}$ (由下落的高度 y 决定)

④竖直方向自由落体运动，匀变速直线运动的一切规律在竖直方向上都成立。

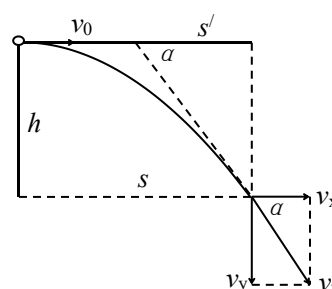
(3) 一个有用的推论

平抛物体任意时刻瞬时速度方向的反向延长线与初速度延长线的交点到抛出点的距离都等于水平位移的一半。

证明：设时间 t 内物体的水平位移为 s ，竖直位移为 h ，则末速度的

水平分量 $v_x=v_0=s/t$ ，而竖直分量 $v_y=gt=2h/t$ ， $\tan \alpha = \frac{v_y}{v_x} = \frac{2h}{s}$ ，

所以有 $s' = \frac{h}{\tan \alpha} = \frac{s}{2}$



四、圆周运动

(一)、描述圆周运动物理量：

1、线速度

(1) 大小： $v = \frac{s}{t}$ (s 是 t 时间内通过的弧长)

(2) 方向：沿圆周的切线方向，时刻变化

(3) 物理意义：描述质点沿圆周运动的快慢

2、角速度：

(1) 大小： $\omega = \frac{\phi}{t}$ (ϕ 是 t 时间内半径转过的圆心角)

(2) 方向：沿圆周的切线方向，时刻变化

(3) 物理意义：描述质点绕圆心转动的快慢

3、周期 T 、频率 f ：

作圆周运动的物体运动一周所用的时间，叫周期；单位时间内沿圆周绕圆心转过的圈数，叫频率。即周期的倒数。

4、 v 、 ω 、 T 、 f 的关系

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \omega r = 2\pi r f$$

点评： ω 、 T 、 f ，若一个量确定，其余两个量也就确定了，而 v 还和 r 有关。

5、向心加速度 a :

(1) 大小: $a = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r = \frac{4\pi^2}{T^2} r = 4\pi^2 f^2 r$

(2) 方向: 总指向圆心, 时刻变化

(3) 物理意义: 描述线速度方向改变的快慢。

(二)、牛顿运动定律在圆周运动中的应用 (圆周运动动力学问题)

1. 向心力

(1) 大小: $F = ma_{\text{向}} = m \frac{v^2}{R} = m \omega^2 R = m \frac{4\pi^2}{T^2} R = m 4\pi^2 f^2 R$

(2) 方向: 总指向圆心, 时刻变化

点评: “向心力”是一种效果力。任何一个力, 或者几个力的合力, 或者某一个力的某个分力, 只要其效果是使物体做圆周运动的, 都可以作为向心力。“向心力”不一定是物体所受合外力。做匀速圆周运动的物体, 向心力就是物体所受的合外力, 总是指向圆心。做变速圆周运动的物体, 向心力只是物体所受合外力在沿着半径方向上的一个分力, 合外力的另一个分力沿着圆周的切线, 使速度大小改变。

2. 处理方法:

一般地说, 当圆周运动物体所受的合力不指向圆心时, 可以将它沿半径方向和切线方向正交分解, 其沿半径方向的分力为向心力, 只改变速度的方向, 不改变速度的大小; 其沿切线方向的分力为切向力, 只改变速度的大小, 不改变速度的方向。分别与它们相应的向心加速度描述速度方向变化的快慢, 切向加速度描述速度大小变化的快慢。

做圆周运动物体所受的向心力和向心加速度的关系同样遵从牛顿第二定律: $F_n = ma_n$ 在列方程时, 根据物体的受力分析, 在方程左边写出外界给物体提供的合外力, 右边写出物体需要的向心力 (可选

用 $\frac{mv^2}{R}$ 或 $m\omega^2 R$ 或 $m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 R$ 等各种形式)。

如果沿半径方向的合外力大于做圆周运动所需的向心力, 物体将做向心运动, 半径将减小; 如果沿半径方向的合外力小于做圆周运动所需的向心力, 物体将做离心运动, 半径将增大。如卫星沿椭圆轨道运行时, 在远地点和近地点的情况。

3. 处理圆周运动动力学问题的一般步骤:

(1) 确定研究对象, 进行受力分析;

(2) 建立坐标系, 通常选取质点所在位置为坐标原点, 其中一条轴与半径重合;

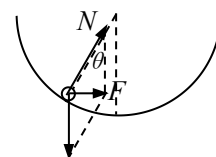
(3) 用牛顿第二定律和平衡条件建立方程求解。

4. 几个特例

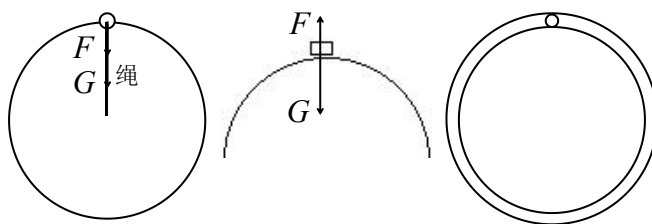
(1) 圆锥摆

圆锥摆是运动轨迹在水平面内的一种典型的匀速圆周运动。其特点是由物体所受的重力与弹力的合力充当向心力, 向心力的方向水平。也可以说是其中弹力的水平分力提供向心力 (弹力的竖直分力和重力互为平衡力)。

如图, 小球在半径为 R 的光滑半球内做水平面内的匀速圆周运动, 试分析图中的 θ (小球与半球球心连线跟竖直方向的夹角) 与线速度 v 、周期 T 的关系。(小球的半径远小于 R 。)



点评：本题的分析方法和结论同样适用于圆锥摆、火车转弯、飞机在水平面内做匀速圆周飞行等在水平面内的匀速圆周运动的问题。共同点是由重力和弹力的合力提供向心力，向心力方向水平。



(2) 竖直面内圆周运动最高点处的受力特点及分类

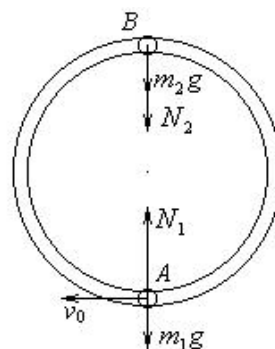
这类问题的特点是：由于机械能守恒，物体做圆周运动的速率时刻在改变，物体在最高点处的速率最小，在最低点处的速率最大。物体在最低点处向心力向上，而重力向下，所以弹力必然向上且大于重力；而在最高点处，向心力向下，重力也向下，所以弹力的方向就不能确定了，要分三种情况进行讨论。

① 弹力只可能向下，如绳拉球。这种情况下有 $F + mg = \frac{mv^2}{R} \geq mg$

即 $v \geq \sqrt{gR}$ ，否则不能通过最高点。

② 弹力只可能向上，如车过桥。在这种情况下有：

$mg - F = \frac{mv^2}{R} \leq mg, \therefore v \leq \sqrt{gR}$ ，否则车将离开桥面，做平抛运动。



③ 弹力既可能向上又可能向下，如管内转（或杆连球、环穿珠）。这种情况下，速度大小 v 可以取任意值。但可以进一步讨论：① 当 $v > \sqrt{gR}$ 时物体受到的弹力必然是向下的；当 $v < \sqrt{gR}$ 时物体受到的弹力必然是向上的；当 $v = \sqrt{gR}$ 时物体受到的弹力恰好为零。② 当弹力大小 $F < mg$ 时，向心力有两解： $mg \pm F$ ；当弹力大小 $F > mg$ 时，向心力只有一解： $F + mg$ ；当弹力 $F = mg$ 时，向心力等于零。

第五章 万有引力与航天

1、开普勒行星运动三大定律

① 第一定律（轨道定律）：所有行星绕太阳运动的轨道都是椭圆，太阳处在椭圆的一个焦点上。

② 第二定律（面积定律）：对任意一个行星来说，它与太阳的连线在相等的时间内扫过相等的面积。

推论：近日点速度比较快，远日点速度比较慢。

③ 第三定律（周期定律）：所有行星的轨道的半长轴的三次方跟它的公转周期的二次方的比值都相等。

$$\frac{a^3}{T^2} = k$$

理解：(1) k 是与太阳质量有关而与行星无关的常量。

(2) 开普勒第三定律不仅适用于行星，也适用于卫星，只不过此时 $a^3/T^2 = k'$ ，比值 k' 是由行星的质量所决定的另一常量，与卫星无关。

2、万有引力定律

(1) 内容：宇宙间的一切物体都是互相吸引的，两个物体间的引力大小，跟它们的质量的乘积成正比，跟它们的距离的平方成反比。

(2) 公式： $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ ，其中 $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$ ，叫做引力常量。

(3) 适用条件：此公式适用于质点间的相互作用。当两物体间的距离远远大于物体本身的大小时，物体可视为质点。均匀的球体可视为质点， r 是两球心间的距离。一个均匀球体与球外一个质点间的万有引力也适用，其中 r 为球心到质点间的距离。

3、万有引力定律的应用

基本思路：一是把天体(或人造卫星)的运动看成是匀速圆周运动，其所需向心力由万有引力提供；二是在地球表面或地面附近的物体所受的重力等于地球对物体的引力。

(1) 把行星(或卫星)绕中心天体看做匀速圆周运动，万有引力充当向心力 ($F_{引}=F_n$)

$$G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r} = m \omega^2 r = m \frac{4\pi^2}{T^2} r = ma_{向} \quad r \text{ 增大}$$

$$G \frac{Mm}{r^2} = \begin{cases} m \frac{v^2}{r} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{GM}{r}} \longrightarrow V \text{ 减小} \\ m r \omega^2 \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}} \longrightarrow \omega \text{ 减小} \\ m r \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \Rightarrow T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}} \longrightarrow T \text{ 增大} \\ m a_n \Rightarrow a_n = \frac{GM}{r^2} \longrightarrow a_n \text{ 减小} \end{cases}$$

(2) 天体对其表面的物体的万有引力近似等于重力，即 $G \frac{Mm}{R^2} = mg$ 或 $gR^2 = GM$ (R 、 g 分别是天体的半径、表面重力加速度)，公式 $gR^2 = GM$ 应用广泛，称“黄金代换”。

推论：距地面高为 h 处的重力加速度 $g' = \left(\frac{R}{R+h} \right)^2 g$

(3) 用万有引力定律求星球的质量和密度

	T、r 法	g、R 法
M	$G \frac{Mm}{r^2} = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 r \Rightarrow M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$	$g = \frac{GM}{R^2} \Rightarrow M = \frac{gR^2}{G}$
ρ	$\rho = \frac{3\pi r^3}{GT^2 R^2}$	$\rho = \frac{3g}{4\pi R G}$

若当卫星环绕天体表面运动时，其轨道半径 r 等于天体半径 R ，

即 $r=R$ ， 则 $\rho = \frac{3\pi}{GT^2}$ (T 为近地卫星的公转周期)

4、宇宙速度

(1) 第一宇宙速度 $v_1 = 7.9 \text{ km/s}$ $\longrightarrow$ 近地卫星的环绕速度

推导：近地卫星 ($r=R$)， 万有引力提供向心力 ($F_{引}=F_n$)

$$G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{GM}{R}} \longrightarrow \text{表达式一}$$

又由黄金代换式 $GM = gR^2 \Rightarrow v = \sqrt{gR}$ $\longrightarrow$ 表达式二

第一宇宙速度既是卫星最大的环绕速度，也是卫星最小的发射速度

(2) 第二宇宙速度 $v_2 = 11.2 \text{ km/s}$ 使卫星挣脱地球引力束缚的最小发射速度。

(3) 第三宇宙速度 $v_3 = 16.7 \text{ km/s}$ 使卫星挣脱太阳引力束缚的最小发射速度。

5、地球同步卫星

(1) 轨道一定：在赤道的正上方

(2) 周期一定：运动周期与地球自转周期相同，且 $T=24\text{h}$

(3) 离地高度： $h=36000\text{km}$

(4) 线速度大小： $v=3.1\text{km/s}$

(5) 角速度大小：定值

(6) 向心加速度大小：定值

6、同步卫星、近地卫星及赤道上物体的区别

(1) 同步卫星，万有引力为它提供向心力，其向心加速度等于轨道处的重力加速度，比地面处的重力加速度小的多，运行周期 $T=24$ 小时。

(2) 近地卫星可看做绕地球表面运行的卫星。

近地卫星由于离开了地球，它只受到一个万有引力的作用，万有引力全部充当向心力，其向心加速度近似等于地面上的重力加速度，即 $a=g$ 。

近地卫星的线速度为第一宇宙速度 7.9 km/s ，远大于地面赤道上物体的速度。其运行周期可由方程 $G\frac{Mm}{R^2} = m\frac{4\pi^2}{T^2}R$ 求出， $T=84 \text{ min}$ ，远小于地球同步卫星的周期。

(3) 放在赤道上的物体随地球自转时受到两个力的作用，一个是万有引力，另一个是地面对物体的支持力，即

$$G\frac{Mm}{R^2} - F_N = m\omega^2 R. (F_N = mg).$$

由于物体的向心加速度远小于地面的重力加速度，因此在近似计算中常忽略地球自转影响，而认为物体的重力与物体受到的万有引力相等(这在前面已经提到过)。但在研究它随地球的自转而做匀速圆周运动时，应另当别论，此时它的周期及轨道半径分别等于地球自转周期 24 小时及地球半径。

通过以上讨论可以看出，放在赤道上的物体与近地卫星有着显著的区别。首先两者的受力不同，前者受到的万有引力只有一小部分充当向心力，绝大多数作为重力使得物体紧压地面；而后者受到的万有引力全部充当向心力，它们的运动周期和速度也不同，并且有很大的差异。赤道上的物体相对地球保持静止，而近地卫星相对于地球而言处于高速旋转状态。而同步卫星和近地卫星都只受万有引力，全部提供向心力，研究方法相同。

7、卫星的变轨

(1) 当卫星的速度突然增加时， $G\frac{Mm}{r^2} < m\frac{v^2}{r}$ ，即万有引力不足以提供向心力，卫星将做离

心运动，脱离原来的圆轨道，轨道半径变大，当卫星进入新的轨道稳定运行时由 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 可知其

运行速度比原轨道时减小。

(2) 当卫星的速度突然减小时, $G\frac{Mm}{r^2} > m\frac{v^2}{r}$, 即万有引力大于所需要的向心力, 卫星将做

近心运动, 脱离原来的圆轨道, 轨道半径变小, 当卫星进入新的轨道稳定运行时由 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 可知其运行速度比原轨道时增大。

(3) 卫星从椭圆轨道变到圆轨道或从圆轨道变到椭圆轨道是卫星技术的一个重要方面, 卫星定轨和返回都要用到这个技术。

以卫星从椭圆远点变到圆轨道为例加以分析: 在椭圆轨道远地点 A 点, 万有引力 $F_A > m\frac{v^2}{r}$, 要使卫星改做圆周运动, 必须满足 $F_A = m\frac{v^2}{r}$ 和 $F_A \perp v$, 在远点已满足了 $F_A \perp v$ 的条件, 所以只需增大速度, 让速度增大到 $m\frac{v^2}{r} = F_A$, 这个任务由卫星自带的推进器完成。

这说明人造卫星要从椭圆轨道变到大圆轨道, 只要在椭圆轨道的远点由推进器加速, 当速度达到沿圆轨道所需的速度, 人造卫星就不再沿椭圆轨道运动而转到大圆轨道。

8、双星问题

宇宙中往往会有相距较近, 质量可以相比的两颗星球, 它们离其它星球都较远, 因此其它星球对它们的万有引力可以忽略不计。在这种情况下, 它们将各自围绕它们连线上的某一固定点做同周期的匀速圆周运动。这种结构叫做双星。

特点归纳: (1) 双星绕它们共同的圆心做匀速圆周运动, 两星之间的万有引力提供各自需要的向心力 (即 $F_{向}$ 大小相等)

(2) 双星系统中每颗星的角速度 ω 和周期 T 都相等;

(3) 两星的轨道半径之和等于两星间的距离 ($R_1 + R_2 = l$)

(4) 由于每颗星的向心力都是由双星间相互作用的万有引力提供的, 因此大小必然相等, 由 $F = mr\omega^2$ 可得轨道半径与质量成反比, 即固定点离质量大的星较近。

9、卫星的超重和失重

(1) 卫星进入轨道前加速过程, 卫星上物体超重。

(2) 卫星进入轨道后 (无论是圆轨道还是椭圆轨道) 正常运转时, 卫星上物体完全失重。

第六章 机械能

(一) 规律及概念

1. 追寻守恒量

① 引入能量的概念是在物理学发展中追寻守恒量的一个重要事例。能量是与物体运动状态相对应的物理量, 物体处于不同的运动状态时, 所对应的能量形式也不同。

② **势能**: 相互作用的物体凭借其位置而具有的能量叫做势能。

③ **动能**: 物体由于运动而具有的能量叫做动能。

④ 追寻守恒量是一种重要的思想方法, 守恒量往往具有普适性。

2. 功

① 在认识能量的历史过程中, 人们建立了功的概念, 因而功和能量是两个密切联系的物理量, 如果物体在力的作用下能量发生了变化, 这个力一定对物体做了功。

② 力和物体在力的方向上发生的位移, 是做功的两个不可缺少的因素。

③恒力对物体所做的功，等于力的大小、位移的大小、力与位移夹角的余弦这三者的乘积。

$$W = Fl \cos \alpha$$

⑤功是标量

- 功的单位是焦耳，简称焦（J），1J 等于 1N 的力使物体在力的方向上发生 1m 的位移时所做的功。
- 当物体在几个力的共同作用下发生一段位移时，这几个力对物体所做的总功，等于各个力分别对物体所做功的代数和。

⑥ 功是过程量

⑦ 正功和负功

- 当 $\alpha = \frac{\pi}{2}$ 时， $W=0$ 。这表示力 F 的方向跟位移 l 的方向垂直时，力 F 不做功。
- 当 $0 \leq \alpha < \frac{\pi}{2}$ 时， $W > 0$ ，这表示力 F 对物体做正功。
- 当 $\alpha > \frac{\pi}{2}$ 时， $W < 0$ ，这表示力 F 对物体做负功；某力对物体做负功，往往说成“物体克服某力做功”（取绝对值）。

注意：如果力不是恒力，可以结合微元思想，将物体的位移取的足够小，各微小位移内物体所受的力可视为恒力，然后将各段的功求代数和。

3. 功率：在物理学中，做功的快慢用功率表示。如果从开始计时到时刻 t 这段时间间隔内，一个力所做的功为 W ，则功 W 跟完成这些功所用时间 t 的比值叫做功率。用 P 表功率，则有： $P = \frac{W}{t}$ 。

在国际单位制中功率的单位是瓦特，简称瓦，符号 W。1W=1J/s。

①额定功率与实际功率

- 额定功率：机械在正常条件下可以长时间工作的最大功率。
- 实际功率：机械实际工作时的功率。

注：实际功率往往小于额定功率，特殊情况下，在很短时间内，实际功率可以超过额定功率，但对机械有害。

②功率与速度： $P = Fv \cos \theta$

- 若 F 与 v 同向，则上式变为 $P = Fv$
- 若 v 为瞬时速度，则 P 为瞬时功率
- 若 v 为平均速度，则 P 为平均功率，此时力 F 必须为恒力

4. 重力势能、弹性势能

①重力势能：物体由于被举高而具有重力势能。若物体所受重力为 mg ，所处位置的高度为 h ，物理学中把 mgh 叫做物体的重力势能，常用 E_p 表示，即 $E_p = mgh$ 。

- 重力势能是标量，其单位与功的单位相同。
- 重力做功与重力势能的关系 $W_G = E_{p1} - E_{p2}$ 。

由上式可以看出重力做功与路径无关（能引入势能概念的关键），且重力做正功势能减少，重力做负功势能增加，重力势能减少的数量等于重力所做的功。

- 物体的高度总是相对于某一水平面来说的，实际上是把这个水平面的高度取做 0。因此，物体的重力势能也是总相对于某一水平面来说的，这个水平面叫做参考平面。在参考平面上，物体

的重力势能取做 0。

选择哪个水平面为参考平面，可视研究问题的方便而定。通常选择地面为参考平面。

选择不同的参考平面，物体的重力势能的数值是不同的，但这不影响问题的研究。

对选定的参考平面而言，上方物体的高度是正值，重力势能也是正值，下方物体的高度为负值，重力势能也是负值。负值的重力势能，表示物体在这个位置具有的重力势能比在参考平面上具有的重力势能要小。

- **重力势能**跟重力做功密切相关，而重力是地球与物体间的相互作用力，所以重力势能是地球与物体所组成的物体“系统”所共有的，而不是地球上物体单独具有的。

②**弹性势能**：发生弹性形变的物体的各部分之间，由于有弹力的相互作用，也具有势能，这种势能叫做弹性势能。

- 弹力做功与弹性势能之间的关系与重力做功与重力势能之间的关系相似。

- 可通过微元法推导弹性势能的表达式： $E_p = \frac{1}{2}kx^2$ ，中学阶段不要求用这个式子定量计算弹性势能。

5. 动能和动能定理

①**动能**：物体由于运动而具有的能叫动能。如果物体的质量为 m ，运动速率为 v ，其动能为：

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

- 动能是标量、状态量
- 动能是相对量，式中的速率通常取物体对地的速率。

②**动能定理**：力在一个过程中对物体所做的功，等于物体在这个过程中动能的变化。

即： $W = E_{k2} - E_{k1}$

- 如果物体受到几个力的共同作用，动能定理中的 W 为合力做的功，它等于各力做功的代数和。
- 动能定理既适用于恒力也适用于变力做功情况，既适用于直线运动也适用于曲线运动的情况。
- 动能定理是一个标量式，它不涉及过程中的加速度和时间，所以处理问题常常比较方便。
- **解题步骤**

- (1) 确定物体对象（一般选单个物体）及运动过程
- (2) 对物体进行受力分析，求出各力做功的代数和
- (3) 确定初末状态动能及动能变化
- (4) 根据动能定理列方程求解
- (5) 对结果进行必要的讨论

6. **机械能守恒定律**：在只有重力或弹力做功的物体系统内，动能和势能可以相互转化，而总的机械能保持不变。

①它是力学中的一条重要规律，是普遍的能量守恒定律的一种特殊情况。

②机械守恒定律的适用条件：在某**物体系统内只有重力或弹力做功**。

③机械能守恒定律的表达式

- 初末状态式（要选同一个零势能面）： $E_1 = E_2$ （多应用于一个物体加地球系统）
- 转化式： $\Delta E_k + \Delta E_p = 0$ （物体系统）

- 转移式: $\Delta E_1 + \Delta E_2 = 0$ (物体系统)

④解题步骤

- 确定研究对象 (物体系)
- 对研究对象进行受力分析和运动分析
- 判断是否机械能守恒
- 选择合适的表达式 (选择合适的零势面), 确定初末状态机械能或增量值
- 根据机械能守恒定律列方程
- 解方程

7. 功能关系、能量转化和守恒定律

①**能量转化和守恒定律**: 能量既不会消灭, 也不会创生, 它只会从一种形式转化为其他形式, 或者从一个物体转移到另一个物体, 而在转化和转移的过程中, 能量的总量保持不变。

- 导致能量守恒定律最后确立的两类重要事实是: 确认了永动机的不可能性和发现了各种自然现象之间的相互联系与转化。
- 能量守恒定律是最普遍、最重要、最可靠的自然规律之一, 是大自然普遍和谐性的一种表现。

②功能关系: 功是能量转化的量度。

- 合外力的功等于物体动能的增量: $W_{\text{外}} = \Delta E_k$ 。
- 势能的增量等于引起势能的力做功的负值: $W = -\Delta E_p$ 。
- 机械能的增量等于除重力 (或内弹力) 以外的其它力做的功: $W_{\text{其}} = \Delta E$ 。这就是功能原理。
- 切割导体克服安培力所做的功等于产生的电能: $W_{\text{安}} = \Delta E_{\text{电}}$
- 一对相互作用的滑动摩擦力做功的代数和等于摩擦生热: 即 $Q = fd$ (d 为这两个物体间相对移动的路程)。

第七章 动量

一、动量

1. 定义: 运动物体的质量和速度的乘积, 通常用 p 来表示。
2. 表达式: $p = mv$ 。
3. 单位: $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ 。
4. 标矢性: 动量是矢量, 其方向与速度方向相同。
5. 动量、动能、动量变化量的比较

名称 项目	动量	动能	动量变化量
定义	物体的质量和 <u>速度</u> 的乘积	物体由于 <u>运动</u> 而具有的能量	物体末动量与初动量的 <u>矢量差</u>
定义式	$p = mv$	$E_k = \frac{1}{2}mv^2$	$\Delta p = p' - p$
矢量性	<u>矢量</u>	标量	矢量
特点	状态量	状态量	<u>过程量</u>
关联方程	$E_k = \frac{p^2}{2m}, E_k = \frac{1}{2}pv, p = \sqrt{2mE_k}, p = \frac{2E_k}{v}$		

二、动量定理

1. 冲量

(1) 定义：物理学中把力与力的作用时间的乘积叫做力的冲量。

(2) 公式： $I = F(t' - t)$ 。

(3) 矢量：冲量是矢量，它的方向跟力的方向相同。

(4) 物理意义：冲量是反映力对时间累积效应的物理量，力越大，时间越长，冲量就越大。

2. 动量定理

(1) 内容：物体在一个过程始末的动量变化量等于它在这个过程中所受力的冲量。

(2) 公式表示 $\begin{cases} F(t' - t) = mv' - mv \\ I = p' - p \end{cases}$

(3) 意义：冲量是物体动量变化的量度，合外力的冲量等于物体动量的变化量。

三、动量守恒定律

1. 动量守恒定律

(1) 内容：如果一个系统不受外力，或者所受外力的矢量和为零，这个系统的总动量保持不变。

(2) 表达式：

① $m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2'$ ，即作用前的动量和等于作用后的动量和。

② $\Delta p_1 = -\Delta p_2$ ，相互作用的两个物体动量的增量等大反向。

③ $\Delta p = 0$ ，系统总动量的增量为零。

2. 动量守恒定律的守恒条件

(1) 理想守恒：不受外力或所受外力的合力为零，不是系统内每个物体所受的合外力都为零。

(2) 近似守恒：内力远大于它所受到的外力。如碰撞、爆炸、打击、绳绷紧等现象中系统的动量近似守恒。

(3) 某一方向守恒：如果系统在某一方向上所受外力的合力为零，则系统在该方向上动量守恒。
但值得注意的是，系统的总动量可能不守恒。

二、碰撞

1. 碰撞

(1) 概念：碰撞是指物体间的相互作用持续时间很短，而物体间相互作用力很大的现象。

(2) 特点：在碰撞现象中，一般都满足内力远大于外力，可认为系统的动量守恒。

2. 碰撞的种类及特点

分类标准	种类	特点
能量是否守恒	弹性碰撞	动量守恒，机械能守恒
	非弹性碰撞	动量守恒，机械能有损失
	完全非弹性碰撞	动量守恒，机械能损失最大
碰撞前后动量是否共线	对心碰撞(正碰)	碰撞前后速度共线 动量守恒，机械能不一定守恒
	非对心碰撞(斜碰)	碰撞前后速度不共线 动量守恒，机械能不一定守恒

3. 碰撞现象满足的规律

(1) 动量守恒定律。

(2) 机械能不增加。

(3) 速度要合理：

①若碰前两物体同向运动，则应有 $v_{后} > v_{前}$ ，碰后原来在前的物体速度一定增大，若碰后两物体同向运动，则应有 $v_{前}' \geq v_{后}'$ 。

②碰前两物体相向运动，碰后两物体的运动方向不可能都不改变。

4. 弹性碰撞的规律

两球发生弹性碰撞时满足动量守恒定律和机械能守恒定律。以质量为 m_1 ，速度为 v_1 的小球与质量为 m_2 的静止小球发生正面弹性碰撞为例，则有

$$m_1 v_1 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2$$

$$\text{解得 } v_1' = \frac{(m_1 - m_2) v_1}{m_1 + m_2}, \quad v_2' = \frac{2 m_1 v_1}{m_1 + m_2}$$

[结论] (1) 当两球质量相等时， $v_1' = 0$ ， $v_2' = v_1$ ，两球碰撞后交换速度。

(2) 当质量大的球碰质量小的球时， $v_1' > 0$ ， $v_2' > 0$ ，碰撞后两球都向前运动。

(3) 当质量小的球碰质量大的球时， $v_1' < 0$ ， $v_2' > 0$ ，碰撞后质量小的球被反弹回来。

三、爆炸现象、反冲运动

1. 爆炸现象

爆炸过程中内力远大于外力，爆炸的各部分组成的系统动量守恒。

2. 反冲

根据动量守恒定律，一个静止的物体在内力的作用下分裂为两个部分，一部分向某一个方向运动，另一部分向相反方向运动的现象。

3. 反冲运动的特点

(1) 物体的不同部分在内力作用下向相反方向运动。

(2) 反冲运动中，相互作用力一般较大，通常可以用动量守恒定律来处理。

(3) 反冲运动中，由于有其他形式的能转变为机械能，所以系统的总动能增加。

4. 人船模型

若人船系统在全过程中动量守恒，则这一系统在全过程中的平均动量也守恒。如果系统由两个物体组成，且相互作用前均静止，相互作用后均发生运动，则由 $m_1 \overline{v_1} = -m_2 \overline{v_2}$ 得 $m_1 \overline{x_1} = -m_2 \overline{x_2}$ 。该式的适用条件是：

(1) 系统的总动量守恒或某一方向上的动量守恒。

(2) 构成系统的两物体原来静止，因相互作用而反向运动。

第八章 静电场

一. 电场中力的性质

1. 电荷 电荷守恒定律

(1) 自然界中存在两种电荷：正电荷与负电荷。最小的电荷量为 $1.60 \times 10^{-19} \text{C}$ ，把它叫元电荷，任何带电体的带电量为元电荷的整数倍。

(2) 电荷守恒：电荷只能转移，而不能被创造或被消灭，系统的电荷代数和不变。获取净电荷的方法有：摩擦起电、接触起电、感应起电。它们不是创造了电荷，而是电荷发生了转移，从而使物体带电。

2. 库仑定律 (1) 公式 $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ ， $k = 9.0 \times 10^9 \text{Nm}^2 / \text{C}^2$

(2) 适用条件：真空中的两点电荷。

(3) 方向：在两点电荷的连线上同性相斥，异性相吸。

(4) 当电荷不能视为点电荷时，有下列两种处理方法：一是均匀分布的带电绝缘球体，可认为所有电荷集中在球心（点电荷），库仑定律仍可适应。二是带电导体球间库仑力只能做定性比较，因同种电荷相排斥、异种电荷相吸引而改变了电荷间的距离。

(5) 两带电体间的库仑力是一对作用力和反作用力。

3. 电场、电场强度、电场线

(1) 电场：带电体周围存在的一种物质，是电荷相互作用的媒介物质，电场具有力的性质和能的性质。

(2) 电场强度的定义：放入电场中某一点的电荷所受到的电场力跟它的电荷量的比值是一个与放入电荷无关的量，只由电场本身决定，这个比值就是这一点的电场强度。

定义式： $E = \frac{F}{q}$ ，E 为矢量，规定电场中某点场强方向与正电荷在该点处所受电场力方向相同，与负电荷反受力的方向相反。

真空中点电荷的场强： $E = k \frac{Q}{r^2}$

(3) 电场线：在电场中画出的一系列从正电荷（或无穷远）出发到负电荷（或无穷远）终止的曲线。①线的疏密反映电场的强弱，线上每点的切线方向与该点的场强方向一致。②电场线不相交。③电场线不表示电荷在电场中运动的轨迹，电荷在电场中运动的轨迹也不一定与电场线重合。

(4) 电场的叠加：每个点电荷在某点电场的矢量和，遵循平行四边形定则。

4. 常见电场的电场线及所表示电场的特点（图 5—1）

①孤立正、负点电荷周围的电场线。②二个同种点电荷或异种点电荷周围的电场线，特别注意两电荷连线和其中垂线上的电场。③匀强电场的电场线。④点电荷和平板电场。

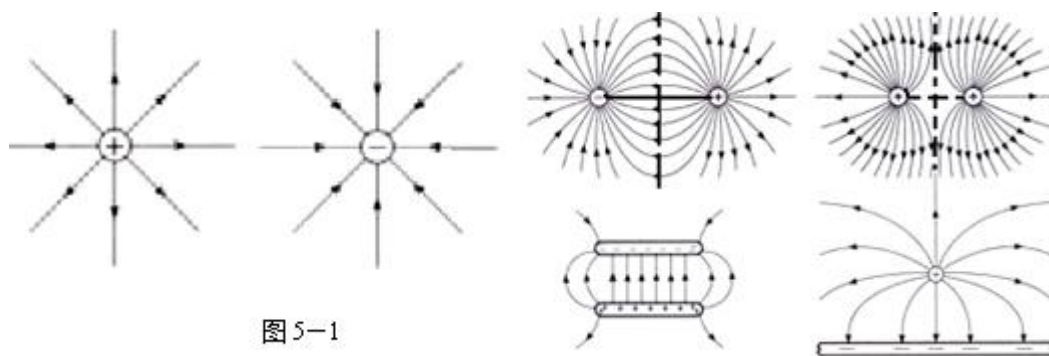


图 5—1

二. 电场能的性质

1. 电荷在电场中电场力做功和电荷的电势能

(1) 电场力做功的计算

①电场力做功与路径无关，只与初末状态有关。由 $W = FS \cos \theta$ 得 $W = qEd$ ，此公式只适应于匀强电场 其中 d 为沿电场方向的位移。② $W = qU$ （U 为两点间的电势差）。③由动能定理计算电场力的功。

(2) 电荷在电场中具有电势能 E_p

电荷在电场中由于电场力做功，而使电荷具有电势能。电场力做正功，电荷的电势能减小；电场力做负功，电荷的电势能增大。或沿着电场方向移动正电荷电势能减小，沿着电场方向移动负电荷电势能增加。（比较电荷电势能大小的依据）。取零势能点，则电荷在 A 点的电势能大小为： $E_{PA} = W_{AO} = q\phi_A$

2. 电势、电势差、等势面

(1) 电势 φ ：电场中某点 A 的电势等于放入该点的检验电荷具有的电势能与电荷电量的比值。也等于将检验电

荷从 A 移到零电势点（一般为无穷远）电场力做的功与电荷电量之比。公式为： $\varphi_A = \frac{E_{PA}}{q} = \frac{W_{AO}}{q}$

(2) 电势差：电场中 AB 两点电势差大小等于将检验电荷从 A 点移到 B 点电场力所做的功与电量的比值，公式为： $U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$ ；或 $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$

(3) 等势面：电场中电势相等的点构成的面叫等势面。

①电势差、电势都是标量，但有正、负（与零电势选取有关）；

②电势高低的判定方法：顺着电场线的方向电势降低。

③记住常见电场的等势面

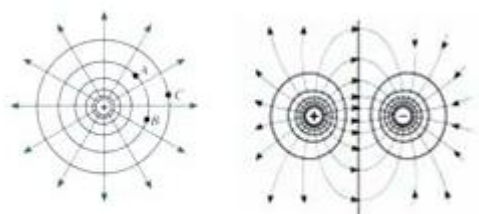


图 5—2

（如图 5—2 孤立正、负点电荷的电场；二个同种点电荷或异种点电荷周围的电场；匀强电场）

3. 电场与电势差（电场线与等势面）的关系

(1) 电场线总是与等势面垂直，且从高等势面指向低等势面。电场方向沿着电势降低最快的方向。

(2) 电场线越密的地方等势面也越密。（ $U=Ed$ ）

(3) 等势面上移动电荷电场力不做功，沿电场线移动电荷电场力一定做功。

(4) 在匀强电场中： $E = \frac{U}{d}$ 或 $U = Ed$ （d 为沿电场方向的距离）

三. 电容器

1. 电容器的电容和电容器的充、放电

(1) 电容器：两个彼此绝缘又互相靠近的导体构成一个电容器，电容器的两导体之间是断开的，当电容器被击穿时两导体之间导通（短路）。

(2) 电容：表示电容器能容纳电荷的本领。其定义式为： $C = \frac{Q}{U} = \frac{\Delta Q}{\Delta U}$

(3) 电容器在充放电时，其电路中有电流，电流方向为充放电时正电荷移动方向或负电荷移动的反方向。

2. 平行板电容器及其动态分析

(1) 决定平行板电容器电容大小的因素：两板的宽度、正对面积和电介质。 $C = \frac{\epsilon S}{4\pi k d}$ ，其间的电场可认为是匀强电场，有 $E = \frac{U}{d}$ 。

(2) 平行板电容器动态分析题：由于电容器的某个量变化而引起其它量的变化。解题关键是弄清哪些量变哪些量不变，然后利用上面的公式分析变化量的变化情况。记住下列两种情况：

①电容器与电源连接，电容器两极板电势差保持不变。

②电容器充电后与电路断开，电容器上的电量保持不变。此时若改变电容器两板之间的距离，电容器间电场强度保持不变。

四. 带电粒子在电场中的运动

1. 带电粒子在电场中的直线运动

带电粒子在电场中的直线运动解题方法与力学中的解题方法完全一样，只是多了一个电场力和电场力做功或电势能。在加速电场中： $qU = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$

2. 带电粒子在平行板（匀强电场）中的类平抛运动

设真空中两平行金属板间距离为 d ，板长为 l ，板间加以电压 U ，如图 5—3 所示，一质量为 m ，电量为 q 的粒子以 v_0 的初速度沿中轴线射入，并从板间射出，不计粒子所受的重力。则由平抛运动解法有：

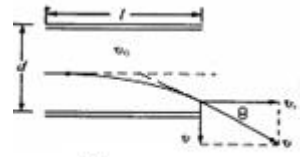


图 5—3

①在垂直场强方向做匀速运动： $v_x = v_0$ ， $l = v_0 t$ ，穿越电场时间 $t = \frac{l}{v_0}$ ；

②在电场方向做匀加速运动： $a = \frac{Eq}{m} = \frac{Uq}{md}$

离开电场时 y 方向分速度 $v_y = at = \frac{Eq l}{mv_0} = \frac{Uq l}{dmv_0}$

y 上位移： $y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{Eq l^2}{2mv_0^2} = \frac{Uq l^2}{2dmv_0^2} = \frac{Uq l^2}{4dE_{k0}}$

③离开电场时偏转角 θ ： $\tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = \frac{Eq l}{mv_0^2} = \frac{Uq l}{dmv_0^2} = \frac{Uq l}{2dE_{k0}}$

④带电粒子在两平行板间的电场中偏转时，其板长为 L ，在满足带电粒子能射出平行板区的条件下，将带电粒子射出电场时运动的方向反向延长与 x 轴的交点必在 $\frac{L}{2}$ 处，所以有 $\tan \varphi = \frac{v_y}{v_0} = \frac{2y}{L}$ 。

注意：

①以上分析的条件是带电粒子能射出电场，若粒子速度太小或电场太大，则带电粒子可能会打在极板上（如图 5—4），此时匀速运动的位移不等于板长 L ，则运动时间 t 是由公式 $t = \frac{x}{v_0}$ 决定，或由公式 $t = \sqrt{\frac{2y}{a}}$ 决定，要根据题意分析。

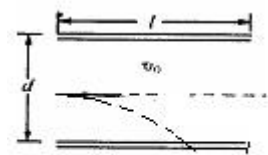


图 5—4

②关于重力是否不计的问题：微观带电粒子（如电子、质子、离子等），在电场中或在磁场中时，其重力一律忽略不计，宏观带电微粒，在电场中其重力不能忽略，要根据题意考虑。

3. 初速度为零的带电粒子通过加速电场 U_1 再穿过偏转电场 U_2 的分析

在加速电场中有： $qU_1 = \frac{1}{2}mv_0^2$

离开电场时沿 y 方向偏转位移：

$$y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{U_2 ql^2}{2dmv_0^2} = \frac{U_2 l^2}{4dU_1}$$

离开电场时偏转角： $\tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = \frac{U_2 ql}{dmv_0^2} = \frac{U_2 l}{2dU_1}$

注意：偏转位移和偏转角与电荷电量 q 和质量 m 无关。

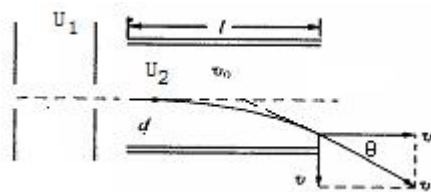


图 5—5

4. 带电微粒在匀强电场与重力场的复合场中的运动

由于带电微粒在匀强电场中所受电场力与重力都是恒力，因此其处理方法有下列两种：

(1) 正交分解法：先将复杂的运动分解为两个互相正交的简单的直线运动，然后再按运动合成的观点去求出复杂运动的相关物理量。

(2) 等效“重力”法：将重力与电场力进行合成，如图 5—6 所示，则合力 F 等效于“重力”。

力”， $a = \frac{F}{m}$ 等效于“重力加速度”， F 的方向等效于“重力”的方向。

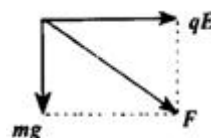


图 5—6

如果是竖直面内的圆运动，可找等效的最低点和等效最高点，即能确定速度最大的位置和最小的位置。

第八章 磁场

【基本概念】

一、磁场

1. 定义：磁体或电流周围产生的一种特殊物质，它能够传递磁体与磁体、磁体与电流、电流与电流之间的相互作用，这种物质叫磁场。

2. 基本性质：对放入其中的磁体和电流产生力的作用。

3. 方向：在磁场中的小磁针静止时，北极的指向。

二、磁现象

4. 磁性：永磁体能吸引铁、钴、镍等铁质物体的性质。

5. 磁体与磁极：具有磁性的物体称为磁体。磁体的各部分磁性强弱不同，磁性最强的区域叫做磁极，磁极有 N 极和 S 极。

6. 电流的磁效应：电流能使小磁针偏转的现象。

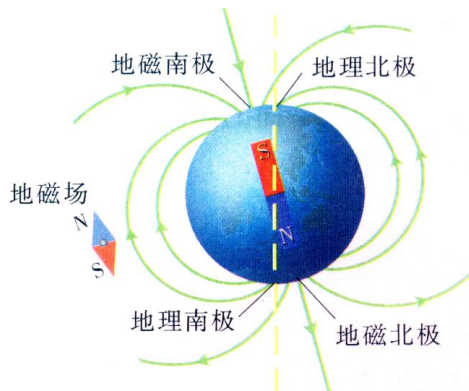
三、地磁场

7. 地球的磁场：地球本身是一个巨大的磁体，地球周围空间存在的磁场称为地磁场。

8. 磁偏角：地磁场的磁极与地理两极并不重合，地磁场的 N 极在地理南极附近，地磁场的 S 极在地理北极附近，所以磁针所指的方向不是地理的正南、正北方向，而是稍微有点偏离，这个偏离的角度叫磁偏角。

四、磁感线

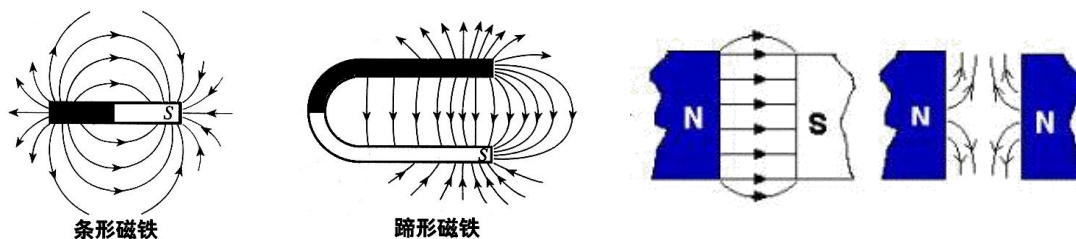
9. 定义：在磁场中画出一些曲线，使曲线上每一点的切线都跟这点的磁场方向一致，这样的曲线就叫做磁感线。



10. 特点：(1) 磁感线的疏密表示该磁场的强弱；(2) 磁体的磁感线总是从 N 出发回到 S 极，构成闭合曲线；(3) 磁感线不相交。

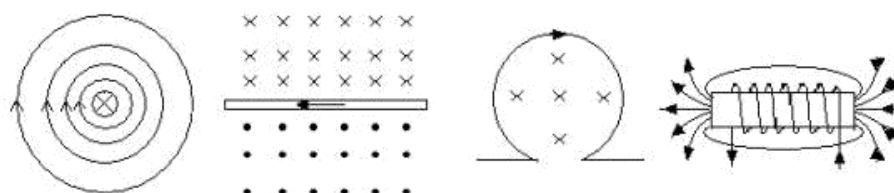
11. 几种常见磁场的磁感线分布图

(1) 条形磁铁、蹄形磁铁周围的磁场分布（如下左图所示）



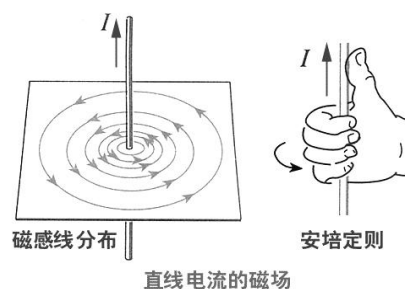
(2) 同名磁极和异名磁极的磁场分布（如上右图所示）

(3) 通电直导线和螺线管周围的磁场分布（如下图所示）

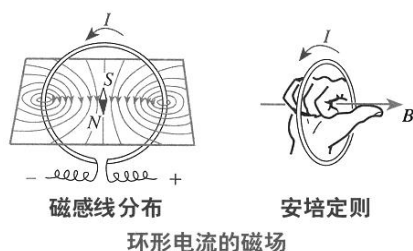


五、安培定则（右手螺旋定则）——判断电流的磁场方向

12. 直线电流的磁场方向：右手握住导线，让伸直的大拇指所指的方向与电流方向一致，弯曲的四指所指的方向就是磁感线的环绕方向。



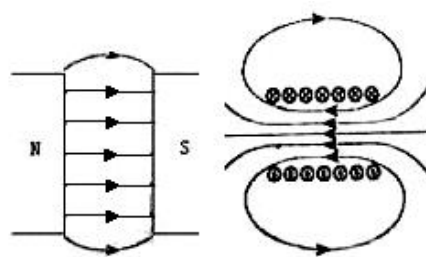
13. 环形电流的磁场方向：让右手弯曲的四指与电流环绕方向一致，伸直的大拇指所指的方向就是环形电流的磁感线方向。



六、匀强磁场

14. 定义：如果某个区域里磁感应强度大小相等，且方向相同，这个区域里的磁场叫做匀强磁场。

15. 匀强磁场的磁感线：是一组平行且等距的直线。匀强磁场是一种理想化的模型，大的异名磁极之间的磁场、通电螺旋管内部（扣除边缘区域）的磁场可以近似看作匀强磁场处理，如右图所示。



七、磁现象的本质

16. 安培分子电流假说：在原子、分子等物质微粒的内部，存在着一种环形电流-----分子电流。分子电流使每个物质微粒都成为一个小小磁针，它的两侧相当于两个磁极。

17. 分子电流对磁现象的解释：

(1) 磁化：当磁性材料内部分子电流取向杂乱无章时，对外不显磁性；当设法让内部分子电流取向大致相同时，便有了磁性，这叫做磁化。任何物质在磁场的作用下都能被磁化，只是被磁化的程度不同。

(2) 退磁（失磁）：设法让磁体内部分子电流取向变得杂乱无章时，磁性将消失，这叫做退磁，又称为失磁。

18. 磁现象的电本质：无论是磁铁还是电流的磁场，都是由于电荷的运动而产生的。

八、磁性材料的分类

19. 根据在外磁场中的表现特征分类：(1) 顺磁性物质；(2) 抗磁性物质；(3) 铁磁性物质。

20. 根据去磁的难易程度分类：(1) 软磁性材料；(2) 硬磁性材料。

【磁场对电流的作用力】

一、安培力

1. 定义：磁场对电流的作用力。

2. 大小： $F = BIL \sin \theta$ 。其中 θ 是磁感应强度 B 与电流 I 的夹角。此公式仅适用于匀强磁场。

(1) $\theta = 0^\circ$ 时，即 $B \parallel I$ ， $F = 0$ 。

(2) $\theta = 90^\circ$ 时，即 $B \perp I$ ， $F = BIL$ 。

3. 方向：

(1) 判断：左手定则。伸开左手，使拇指与其余四个手指垂直，并且都与手掌在同一个平面内。让磁感线从掌心进入，并使四指指向电流方向，这时拇指所指的方向就是通电导线在磁场中受到的安培力方向。

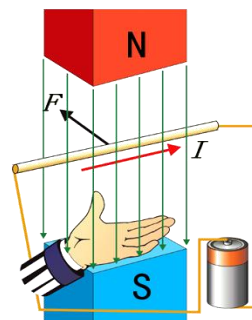
(2) 特点：安培力同时垂直于磁感应强度 B 与电流 I ，所以安培力总是垂直由 B 和 I 决定的平面。

二、判断安培力作用下物体运动情况的方法

4. 电流元法：即把整段电流等效为多段直线电流，用左手定则判出每微段安培力的方向，最后确定运动方向。

5. 特殊位置法：把电流或磁铁拉到一个便于分析的特殊位置后再判断所受安培力的方向，从而确定运动方向。

6. 等效法：将环形电流和通电螺线管等效成条形磁铁，或将条形磁铁等效成环形电流或通电螺线管。通电螺线管也可以等效成很多匝的环形电流来分析。



7. 利用结论法：同向电流相互吸引，反向电流相互排斥，两电流平行时无转动趋势；两电流不平行时有转动到相互平行且电流方向相同的趋势

三、匀强磁场对通电线圈的转动作用

8. 线圈平面与磁场平行时的磁力矩： $M=BIS$

其中 $L_1L_2=S$ 是线圈平面的面积。

9. 线圈平面与磁场成 θ 角时的磁力矩： $M=BIS\cos\theta$

当线圈有 n 匝时， $M=nBIS\cos\theta$

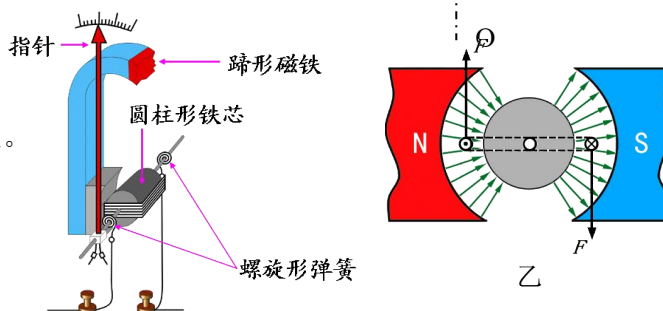
四、磁电式电流表

10. 用途：测定电流大小和方向。

11. 原理：构造由图甲所示。最基本的组成部分是磁铁和线圈。蹄形磁铁与铁芯之间有均匀辐向磁场，（如图乙）使线圈平面始终与磁场平行，线圈通电后所受磁力矩为：

$$M=nBIS\cos\theta$$

因 BIS 是定值，故 M 与 I 成正比。当磁力矩与螺旋弹簧的力矩平衡时，指针偏转角 $\theta=kI$ ，故可用 θ 来表示 I 的大小。所以这种电流计的刻度是均匀的。



12. 特点：磁电式仪表的优点是灵敏度高，甲 出很小的电流；缺点是绕制线圈的导线很细，允许通过的电流很小，容易被烧毁。

【磁场对运动电荷的作用力】

一、洛伦兹力

1. 定义：运动电荷在磁场中所受的力。

2. 大小： $f=qvB\sin\theta$ 。其中 θ 是运动的速度 v 与磁感应强度 B 的夹角。

(1) $\theta=0^\circ$ 时，即 $v\parallel B$ ， $f=0$ 。

(2) $\theta=90^\circ$ 时，即 $v\perp B$ ， $f=qvB$ 。

3. 方向：

(1) 判断：左手定则。伸开左手，使拇指与其余四个手指垂直，并且都与手掌在同一个平面内。让磁感线从掌心进入，并使四指指向正电荷运动方向，这时拇指所指的方向就是带电粒子在磁场中受到的洛伦兹力方向。

(2) 特点：洛伦兹力同时垂直于磁感应强度 B 与运动电荷的速度 v ，即洛伦兹力总是垂直由 B 和 v 决定的平面。

4. 特性：因洛伦兹力始终与带电粒子在磁场中的运动方向垂直，故洛伦兹力对运动电荷不做功。洛伦兹力虽不能改变运动电荷的速度大小，但可以改变运动电荷的速度方向。

5. 洛伦兹力与安培力：

安培力是洛伦兹力的宏观表现，洛伦兹力对运动电荷不做功，安培力能对通电导线做功。实际上洛伦兹力起了传递能量的作用，它的一部分阻碍电荷运动做负功，另一部分构成安培力对通电导线做正功，结果是维持电流的电源提供了能量。

6. 洛伦兹力与电场力的比较:

	洛伦兹力	电场力
力的性质	磁场对在其中的运动电荷的作用力	电场对在其中的电荷的作用力
产生条件	磁场对静止电荷、沿与磁场平行方向运动的电荷没有作用力	电场对其中的静止电荷、沿任何方向运动的电荷均有作用力
力的方向	洛伦兹力方向由电荷的正负、磁场的方向及电荷的运动方向决定。三者方向关系遵循左手定则	电场力方向由电荷的正负、电场方向决定。正电荷的受力方向与电场方向一致。
力的大小	$f=qvB(v \perp B)$	$F=qE$
做功情况	一定不做功	可能做正功、负功或不做功
带电粒子运动情况	不计粒子重力, 以 V_0 进入匀强磁场 B : ① $V_0 \perp B$ 时, 做匀速圆周运动。 ② $V_0 // B$ 平行时, 做匀速直线运动。 ③ 非上述两种情况时, 做螺旋运动	不计粒子重力, 以 V_0 进入匀强电场 E : ① 以 $V_0 \perp E$ 时做类平抛运动。 ② 以 $V_0 // E$ 时做匀变速直线运动。 ③ 非上述两种情况时, 做斜抛运动

二、洛伦兹力与现代技术

7. 显象管: 电视显像管应用了电子束磁偏转的原理。

电子束打在荧光屏上的位置, 可由偏转磁场控制, 这个过程称为扫描。

8. 质谱仪: 利用磁场对带电粒子的偏转。可由带电粒子的电荷量、运动轨道半径确定其比荷或质量。构造如图所示。

(1) 基本数据: 加速电场电压 U , 速度选择器电场 E 、磁场 B_1 , 偏转磁场 B_2 , 粒子偏转轨道半径 R 。

(2) 基本规律:

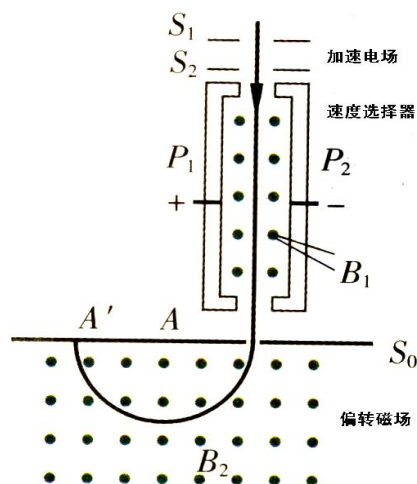
$$\text{加速电场} \quad qU = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\text{速度选择器} \quad qE = qvB_1$$

$$\text{偏转磁场} \quad qvB_2 = m\frac{v^2}{R}$$

$$\text{轨道半径} \quad R = \frac{1}{B_2} \sqrt{\frac{2mU}{q}}$$

$$\text{粒子比荷} \quad \frac{q}{m} = \frac{2U}{R^2 B_2^2}$$



9. 回旋加速器：1932 年美国物理学家劳伦斯发明了回旋加速器，实现了在较小的空间范围内进行多级加速。构造如图所示。利用电场对带电粒子的加速作用和磁场对运动电荷的偏转作用来获得高能粒子，这些过程在回旋加速器的核心部件——两个 D 形盒和其间的窄缝内完成。

(1) **磁场的作用：**带电粒子速度 v_0 垂直匀强磁场方向进入 D 形盒中的匀强磁场 (B)，在洛伦兹力作用下做匀速圆周运动，其周期与速率、半径均无关，带电粒子每次进入 D 形盒都运动相等的时间 (半个周期)。

$$qvB = m \frac{v^2}{R} \quad R = \frac{mv}{qB} \quad T = \frac{2\pi m}{qB}$$

(2) **电场的作用：**两个 D 形盒之间的窄缝区域存在周期性变化的并垂直于两 D 形盒正对截面的匀强电场 (U)，带电粒子经过该区域时被加速。

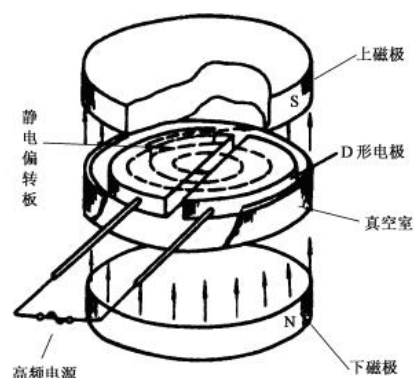
$$qU = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

(3) **交变电压：**为了保证带电粒子每次经过窄缝时都被加速，使之能量不断提高，须在窄缝两侧加上跟带电粒子在 D 形盒中运动周期相同的交变电压。

(4) **带电粒子的最终动能：**当带电粒子的速度最大时，其运动半径也最大，由 $R = mv/qB$ 得 $v = RqB/m$ ，若 D 形盒的半径为 R ，则带电粒子的最终动能：

$$E_m = \frac{q^2 B^2 R^2}{2m}$$

所以，要提高加速粒子的最终能量，应尽可能增大磁感应强度 B 和 D 形盒的半径 R 。



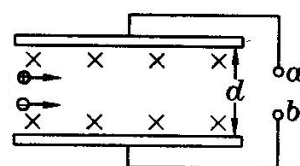
10. 电磁流量计：用非磁性材料制成的圆形导管直径为 d ，其内部有匀强磁场 B 。当自左向右通过导电液体时，液体中的自由电荷 (正、负离子) 在洛伦兹力的作用下将发生横向偏转。使正负离子分别吸附在上下管壁，导致 a 、 b 间出现电势差 U ，而在管内形成竖直向下的电场 (如图)。

当自由电荷所受的 $F_{\text{电场}} = F_{\text{洛}} \text{ 时:}$

$$qvB = qE = q \frac{U}{d}$$

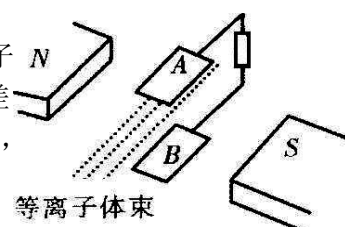
因液体的流量是 $Q = Sv$ 。故可得:

$$Q = \frac{\pi d}{4B} U$$



由此可知：能用电学量 U 来即时显示液体的流量 Q 。

11. 磁流体发电机：等离子气体以速度 v 喷入磁场 (B)，因正、负离子在洛伦兹力的作用下发生横向偏转而分别聚集到 A 、 B 极板上，产生电势差 U 。 A 、 B 与用电器连接便能提供直流电。当等离子体匀速通过 A 、 B 极板时，产生最大电动势 $E = BLv$ 。



【带电粒子在匀强磁场中的运动】

一、带电粒子在磁场中的运动规律（不计粒子重力，以 V_0 进入匀强磁场 B ）

1. $V_0 \parallel B$ 时，做匀速直线运动。

2. $V_0 \perp B$ 时，做匀速圆周运动。

(1) 基本公式: $qvB = m \frac{v^2}{R}$

(2) 轨道半径公式:

$$R = \frac{mv}{Bq}$$

(3) 周期公式:

$$T = \frac{2\pi m}{qB}$$

(4) 运动特征: 运动周期仅与电荷(q 、 m)和磁场(B)有关，与运动速度无关。

二、带电粒子在磁场中做匀速圆周运动的研究

研究带电粒子在有界磁场中运动时，画轨迹是首要任务。而圆心位置的确定是画图中的点睛之笔。

3. 圆心的确定: 因为洛伦兹力总与速度垂直，指向圆心，所以画出粒子运动轨迹上任意两点（一般是射入和射出磁场的两点）的速度矢量的垂线，两垂线的交点即为圆心。

4. 半径的分析: 一般是利用几何知识通过解三角形的方法求得。

5. 运动时间的研究: 利用几何关系(圆心角与弦切角)计算圆心角 θ 的大小, 再由公式 $t = \frac{\theta}{2\pi} \cdot T$

($T = \frac{2\pi m}{qB}$ 为运动周期), 求出时间。

三、磁偏转与电偏转的区别

	磁偏转（匀强磁场）	电偏转（匀强电场）
受力特征	$V_0 \perp B$ 时: $f=qvB$ V_0 与 B 成 θ 角时: $f=qvB \sin \theta$ f 是变力。	无论 V_0 与 E 成何种角度, $F=qE$ F 是恒力。
力的作用效果	产生向心加速度, 只改变速度方向。不改变速度大小	产生运动的加速度。 只改变与 E 平行方向的速度, 不改变与 E 垂直方向的速度。
运动规律 (不计粒子重力)	① $V_0 \parallel B$ 时无偏转。 ② $V_0 \perp B$ 时, 做匀速圆周运动。 ③ 非上述两种情况时, 做螺旋运动	① 以 $V_0 \parallel E$ 时无偏转。 ② 以 $V_0 \perp E$ 时做类平抛运动。 ③ 非上述两种情况时, 做斜抛运动
偏转情况	① 若磁场没有边界, 粒子偏转角度不受限制。 ② 相等时间内的偏转角相等。	① 偏转角小于 90° ② 相等时间内的偏转角不相等。
动能变化	动能不变	不断增大, 且增速加快。
研究方法	运用圆的几何关系及半径、周期公式	运动和合成与分解

四、带电粒子在复合场中的运动规律分析

6. **复合场**：是指点重力场、电场和磁场。可能是三场共存，也可能是其中的两个场共存。

7. 三种场力特点：

(1) **重力**： $G=mg$ 。方向竖直向下；做功与路径无关，其数值与质量和始末位置有关。

(2) **电场力**： $F=qE$ 。方向与场强及电荷的性质有关；电场力做功与路径无关，其数值与电荷时及始末位置的电势差有关。

(3) **洛伦兹力**： $f=qvB\sin\theta$ （其中 θ 是运动的速度 v 与磁感应强度 B 的夹角）。洛伦兹力不做功。

8. 带电粒子在复合场中的运动规律分析

(1) 正确分析带电粒子在复合场中的受力及运动情况是解决问题的前提。

(2) 灵活选用力学规律是解决问题的关键。

第十章 电磁感应

一、法拉第电磁感应定律

1. 感应电动势

(1) 概念：在电磁感应现象中产生的电动势。

(2) 产生：只要穿过回路的磁通量发生变化，就能产生感应电动势，与电路是否闭合无关。

(3) 方向：产生感应电动势的电路(导体或线圈)相当于电源，电源的正、负极可由右手定则或楞次定律判断。

2. 法拉第电磁感应定律

(1) 内容：闭合电路中感应电动势的大小，跟穿过这一电路的磁通量的变化率成正比。

(2) 公式： $E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ，其中 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 为磁通量的变化率， n 为线圈匝数。

3. 导体切割磁感线时的感应电动势

(1) 垂直切割： $E=Blv$ ，式中 l 为导体切割磁感线的有效长度。

(2) 不垂直切割： $E=Blv\sin\theta$ ，式中 θ 为 v 与 B 的夹角。

(3) 匀速转动：导体棒在垂直匀强磁场方向以角速度 ω 绕一端转动切割磁感线时， $E=\frac{1}{2}Bl^2\omega$ 。

二、法拉第电磁感应定律的理解

(1) 感应电动势的大小由线圈的匝数和穿过线圈的磁通量的变化率 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 共同决定，而与磁通量 Φ 的大小、变化量 $\Delta\Phi$ 的大小没有必然联系。

(2) 磁通量的变化率 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 对应 $\Phi-t$ 图线上某点切线的斜率。

2. 应用法拉第电磁感应定律的三种情况

(1) 磁通量的变化是由面积变化引起时， $\Delta\Phi=B\cdot\Delta S$ ，则 $E=n\frac{B\Delta S}{\Delta t}$ ；

(2) 磁通量的变化是由磁场变化引起时， $\Delta\Phi=\Delta B\cdot S$ ，则 $E=n\frac{\Delta B\cdot S}{\Delta t}$ ；

(3) 磁通量的变化是由面积和磁场变化共同引起时, 则根据定义求, $\Delta \Phi = \Phi_{\text{末}} - \Phi_{\text{初}}$, $E = n \frac{B_2 S_2 - B_1 S_1}{\Delta t} = n \frac{\Delta B \Delta S}{\Delta t}$ 。

3. 求解感应电动势常见情况与方法

情景图				
研究对象	回路(不一定闭合)	一段直导线(或等效成直导线)	绕一端转动的一段导体棒	绕与 B 垂直的轴转动的导线框
表达式	$E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$	$E = BLv \sin \theta$	$E = \frac{1}{2} BL^2 \omega$	$E = NBS \omega \sin \omega t$

三、自感现象的四大特点

- (1) 自感电动势总是阻碍导体中原电流的变化。
- (2) 通过线圈中的电流不能发生突变, 只能缓慢变化。
- (3) 电流稳定时, 自感线圈就相当于普通导体。
- (4) 线圈的自感系数越大, 自感现象越明显, 自感电动势只是延缓了过程的进行, 但它不能使过程停止, 更不能使过程反向。

2. 自感中“闪亮”与“不闪亮”问题

	与线圈串联的灯泡	与线圈并联的灯泡
电路图		
通电时	电流逐渐增大, 灯泡逐渐变亮	电流突然增大, 然后逐渐减小达到稳定
断电时	电流逐渐减小, 灯泡逐渐变暗, 电流方向不变	电路中稳态电流为 I_1 、 I_2 ; ①若 $I_2 \leq I_1$, 灯泡逐渐变暗; ②若 $I_2 > I_1$, 灯泡闪亮后逐渐变暗。两种情况灯泡中电流方向均改变

四、电磁感应中的电路问题

1. 电源

切割磁感线运动的导体或磁通量发生变化的回路相当于电源。

对应的感应电动势计算式分别变为 $E = BLv$ 、 $E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ 。

2. 电流

电路闭合时的电流 I 可由欧姆定律求出, $I = \frac{E}{R+r}$, 路端电压 $U = IR = E - Ir$ 。

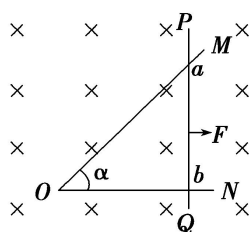
3. 电势

在外电路中, 电流由高电势流向低电势; 在内电路中, 电流由低电势流向高电势。

4. 通过导体的电荷量

$$q = I \Delta t = \frac{n \Delta \Phi}{R_{\text{总}}}。$$

如图所示, MON 是固定导轨, 金属棒与导轨接触良好, 在拉力 F 作用下向右运动。



(1) 图中电路相当于电源的部分是金属棒的 ab 部分。

(2) 闭合电路中的感应电流方向沿逆时针方向。

(3) 路端电压是闭合电路外电路的电压, 等于该图中 aOb 部分电路的分压。

五、电磁感应中的动力学问题

1. 电磁感应中的安培力

闭合电路的部分导体做切割磁感线运动时, 产生的感应电动势 $E = BLv$, 在闭合电路中形成的感应电流 $I = \frac{E}{R}$; 导体中由于有电流存在受到所在磁场的安培力 $F = BIL$, 综合以上各式得 $F = \frac{B^2 L^2 v}{R}$ 。

2. 安培力方向的判断

(1) 由右手定则和左手定则判断

先用右手定则判断感应电流的方向, 再用左手定则判断安培力的方向。

(2) 由楞次定律判断

根据楞次定律可知, 感应电流引起的效果总是阻碍引起感应电流的原因, 因此安培力总是阻碍导体切割磁感线的运动。

六、电磁感应中的能量转化

1. 过程分析

(1) 电磁感应现象中产生感应电流的过程, 实质上是能量的转化过程。

(2) 感应电流在磁场中受安培力, 若安培力做负功。

则其他形式的能转化为电能; 若安培力做正功, 则电能转化为其他形式的能。

(3) 当感应电流通过用电器时, 电能转化为其他形式的能。

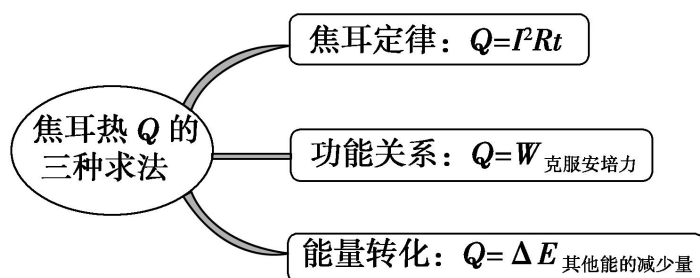
2. 安培力做功和电能变化的对应关系

“外力”克服安培力做多少功，就有多少其他形式的能转化为电能；安培力做多少功，就有多少电能转化为其他形式的能。

3. 电磁感应中的能量转化

安培力做功 $\left\{ \begin{array}{l} \text{做正功: 电能} \xrightarrow{\text{转化}} \text{机械能, 如电动机} \\ \text{做负功: 机械能} \xrightarrow{\text{转化}} \text{电能} \xrightarrow{\text{电流焦耳热或其他形式}} \text{做功的能量, 如发电机} \end{array} \right.$

4. 求解焦耳热 Q 的三种方法



5. 解电磁感应现象中的能量问题的一般步骤

(1) 在电磁感应中，切割磁感线的导体或磁通量发生变化的回路将产生感应电动势，该导体或回路就相当于电源。

(2) 分析清楚有哪些力做功，就可以知道有哪些形式的能量发生了相互转化。

(3) 根据能量守恒列方程求解。

第十一章 恒定电流

一、电流、电阻和电阻定律

1. 电流：电荷的定向移动形成电流。

(1) 形成电流的条件：内因是有自由移动的电荷，外因是导体两端有电势差。

(2) 电流强度：通过导体横截面的电量 Q 与通过这些电量所用的时间 t 的比值。

① $I = Q/t$ ；假设导体单位体积内有 n 个电子，电子定向移动的速率为 V ，则 $I = neSv$ ；假若导体单位长度有 N 个电子，则 $I = Nev$ 。

② 表示电流的强弱，是标量。但有方向，规定正电荷定向移动的方向为电流的方向。

③ 单位是：安、毫安、微安 $1A = 10^3 Ma = 10^6 \mu A$

2. 电阻、电阻定律

(1) 电阻：加在导体两端的电压与通过导体的电流强度的比值。 $R = U/I$ ，导体的电阻是由导体本身的性质决定的，与 U, I 无关。

(2) 电阻定律：导体的电阻 R 与它的长度 L 成正比，与它的横截面积 S 成反比。 $R = \rho L/S$

(3)电阻率:电阻率 ρ 是反映材料导电性能的物理量,由材料决定,但受温度的影响.

①电阻率在数值上等于这种材料制成的长为 1m ,横截面积为 1m^2 的柱形导体的电阻.

②单位是: $\Omega\cdot\text{m}$.

3. 半导体与超导体

(1)半导体的导电特性介于导体与绝缘体之间,电阻率约为 $10^{-5}\Omega\cdot\text{m} \sim 10^6\Omega\cdot\text{m}$

(2)半导体的应用:

①热敏电阻:能够将温度的变化转成电信号,测量这种电信号,就可以知道温度的变化.

②光敏电阻:光敏电阻在需要对光照有灵敏反应的自动控制设备中起到自动开关的作用.

③晶体二极管、晶体三极管、电容等电子元件可连成集成电路.

④半导体可制成半导体激光器、半导体太阳能电池等.

(3) 超导体

①超导现象:某些物质在温度降到绝对零度附近时,电阻率突然降到几乎为零的现象.

②转变温度(T_c):材料由正常状态转变为超导状态的温度

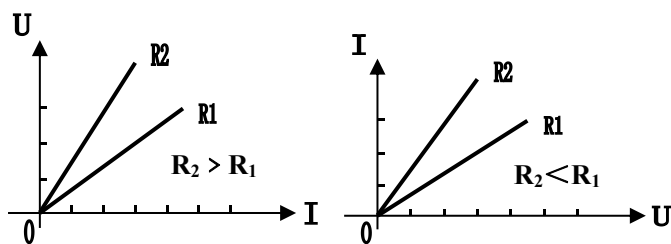
③应用:超导电磁铁、超导电机等

二、部分电路欧姆定律

1、导体中的电流 I 跟导体两端的电压成正比,跟它的电阻 R 成反比。 $I=U/R$

2、适用于金属导电体、电解液导体,不适用于空气导体和某些半导体器件.

3、导体的伏安特性曲线:研究部分电路欧姆定律时,常画成 $I\sim U$ 或 $U\sim I$ 图象,对于线性元件伏安特性曲线是直线,对于非线性元件,伏安特性曲线是非线性的.



注意: ①我们处理问题时,一般认为电阻为定值,不可由 $R=U/I$ 认为电阻 R 随电压大而在,随电流大而在小.

② I 、 U 、 R 必须是对应关系. 即 I 是过电阻的电流, U 是电阻两端的电压.

三、电功、电功率

1. 电功:电荷在电场中移动时,电场力做的功 $W=UIt$,

电流做功的过程是电能转化为其它形式的能的过程.

2. 电功率:电流做功的快慢,即电流通过一段电路电能转化成其它形式能对电流做功的总功率, $P=UI$

3. 焦耳定律: 电流通过一段只有电阻元件的电路时, 在 t 时间内的热量 $Q=I^2Rt$.

纯电阻电路中 $W=UIt=U^2t/R=I^2Rt$, $P=UI=U^2/R=I^2R$

非纯电阻电路 $W=UIt$, $P=UI$

4. 电功率与热功率之间的关系

纯电阻电路中, 电功率等于热功率, 非纯电阻电路中, 电功率只有一部分转化成热功率.

纯电阻电路: 电路中只有电阻元件, 如电熨斗、电炉子等.

非纯电阻电路: 电机、电风扇、电解槽等, 其特点是电能只有一部分转化成内能.

四、串联电路

①电路中各处电流相同. $I=I_1=I_2=I_3=\dots$

②串联电路两端的电压等于各电阻两端电压之和. $U=U_1+U_2+U_3,\dots$

③串联电路的总电阻等于各个导体的电阻之和, 即 $R=R_1+R_2+\dots+R_n$

④串联电路中各个电阻两端的电压跟它的阻值成正比, 即 $\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \dots = \frac{U_n}{R_n} = I$

⑤串联电路中各个电阻消耗的功率跟它的阻值成正比, 即 $\frac{P_1}{R_1} = \frac{P_2}{R_2} = \dots = \frac{P_n}{R_n} = I^2$

五、并联电路

①并联电路中各支路两端的电压相同. $U=U_1=U_2=U_3,\dots$

②并联电路干路中的电流等于各支路的电流之和 $I=I_1+I_2+I_3=\dots$

③并联电路总电阻的倒数等于各个导体的电阻的倒数之和。

④并联电路中通过各个电阻的电流跟它的阻值成反比, 即 $I_1R_1=I_2R_2=\dots=I_nR_n=U$.

⑤并联电路中各个电阻消耗的功率跟它的阻值成反比, 即 $P_1R_1=P_2R_2=\dots=P_nR_n=U^2$.

六、电源

1. 电源是将其它形式的能转化成电能的装置.

2. 电动势: 非静电力搬运电荷所做的功跟搬运电荷电量的比值, $\epsilon=W/q$. 表示电源把其它形式的能转化成电能本领的大小, 在数值上等于电源没有接入电路时两极板间的电压, 单位: V

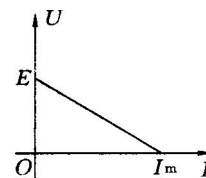
3. 电动势是标量. 要注意电动势不是电压;

七、闭合电路的欧姆定律

(1)内、外电路

①内电路：电源两极（不含两极）以内，如电池内的溶液、发电机的线圈等．内电路的电阻叫做内电阻．

②外电路：电源两极，包括用电器和导线等．外电路的电阻叫做外电阻．



(2) 闭合电路的欧姆定律

①内容：闭合电路的电流跟电源的电动势成正比，与内、外电路的电阻之和成反比，即 $I = \epsilon / (R + r)$

② $\epsilon = U + Ir$ 可见电源电势能等于内外压降之和；

③适用条件：纯电阻电路

(3)路端电压跟负载的关系

①路端电压：外电路的电势降落，也就是外电路两端的电压． $U = \epsilon - Ir$ ，路端电压随着电路中电流的增大而减小；

②U—I 关系图线

当电路断路即 $I=0$ 时，纵坐标的截距为电动势 E ；当外电路电压为 $U=0$ 时，横坐标的截距 $I_{短} = E/r$ 为短路电流；图线的斜率的绝对值为电源的内电阻．

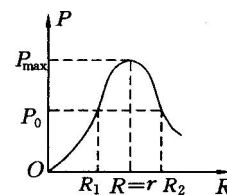
(4).闭合电路的输出功率

①功率关系： $P_{总} = EI = U_{外}I + U_{内}I = UI + I^2r$ ，

②电源的输出功率与电路中电流的关系： $P_{出} = EI - I^2r = -r \left[I - \frac{E}{2r} \right]^2 + \frac{E^2}{4r}$

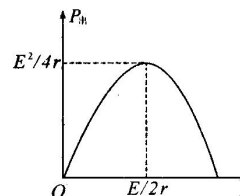
当 $I = \frac{E}{2r}$ 时，电源的输出功率最大， $P_m = \frac{E^2}{4r}$

③电源的输出功率与外电路电阻的关系： $P_{出} = I^2R = \frac{E^2}{\frac{(R-r)^2}{R} + 4r}$



当 $R=r$ 时也即 $I=E/2r$ 时，电源的输出功率最大， $P_m = \frac{E^2}{4r}$

由图象可知，对应于电源的非最大输出功率 P 可以有两个不同的外电阻 R_1 和 R_2 ，不难证明 $r = \sqrt{R_1 R_2}$ ．由图象还可以看出：当 $R < r$ 时，若 R 增大，则 $P_{出}$ 增大；当 $R > r$ 时，若 R 增大，则 $P_{出}$ 减小．应注意：对于内外电路上的固定电阻，其消耗的功率仅取决于电路中的电流大小



④电源的供电效率

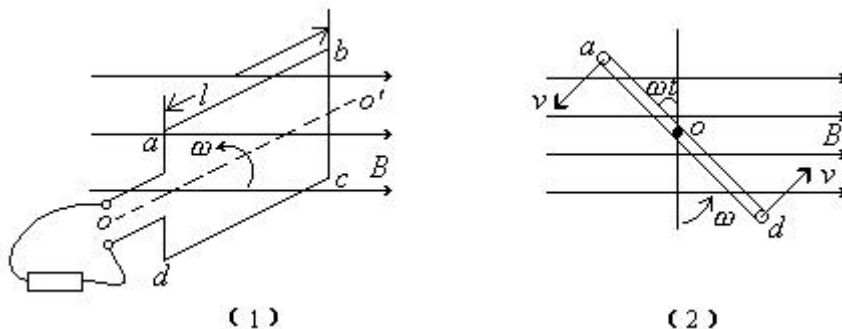
$$\eta = \frac{P_{出}}{P_{总}} \times 100\% = \frac{U_{外}}{E} \times 100\% = \frac{R}{R+r} \times 100\%$$

第十二章 交流电知识点总结

一、交流电的产生及变化规律：

(1) 产生：强度和方向都随时间作周期性变化的电流叫交流电。

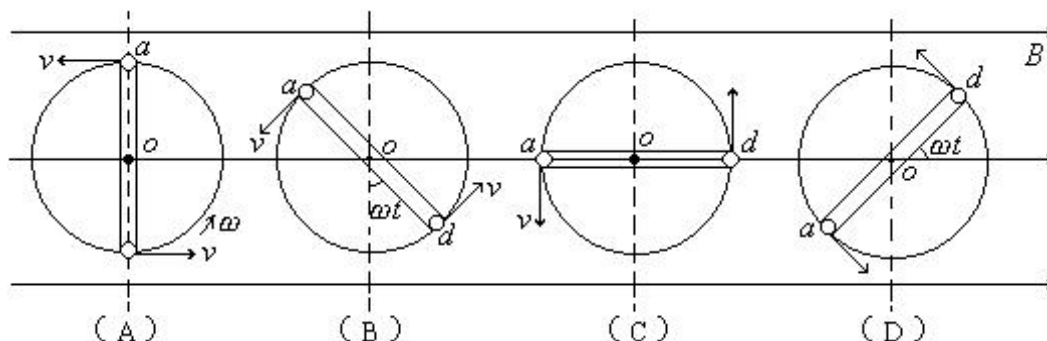
矩形线圈在匀强磁场中，绕垂直于匀强磁场的线圈的对称轴作匀速转动时，如图所示，产生正弦（或余弦）交流电动势。当外电路闭合时形成正弦（或余弦）交流电流。



(2) 变化规律：

(1) 中性面：与磁感线垂直的平面叫中性面。

线圈平面位于中性面位置时，如图（A）所示，穿过线圈的磁通量最大，但磁通量变化率为零。因此，感应电动势为零。



当线圈平面匀速转到垂直于中性面的位置时，如图（C）所示，穿过线圈的磁通量虽然为零，但线圈平面内磁通量变化率最大。因此，感应电动势值最大。

$$\varepsilon_m = 2 \cdot N \cdot B \cdot l \cdot v = N \cdot B \cdot \omega \cdot S \quad (\text{伏}) \quad (N \text{ 为匝数})$$

(2) 感应电动势瞬时值表达式：

若从中性面开始，感应电动势的瞬时值表达式： $e = \varepsilon_m \cdot \sin \omega t$ （伏）如图（B）所示。

若从线圈平面与磁感线平行开始计时，则感应电动势瞬时值表达式为： $e = \varepsilon_m \cdot \cos \omega t$ （伏）

如图（D）所示。

二、表征交流电的物理量：

(1) 瞬时值、最大值、有效值和平均值：

交流电在任一时刻的值叫瞬时值。

瞬时值中最大的值叫最大值又称峰值。

交流电的有效值是根据电流的热效应规定的：让交流电和恒定直流分别通过同样阻值的电阻，

如果二者热效应相等（即在相同时间内产生相等的热量）则此等效的直流电压，电流值叫做该交流电的电压，电流有效值。

正弦（或余弦）交流电动势的有效值 ε 和最大值 ε_m 的关系为： $\varepsilon = \frac{\varepsilon_m}{\sqrt{2}} \doteq 0.707 \varepsilon_m$

注意：通常交流电表测出的值就是交流电的有效值。用电器上标明的额定值等都是指有效值。用电器上说明的耐压值是指最大值。

（2）周期、频率和角频率

交流电完成一次周期性变化所需的时间叫周期。以 T 表示，单位是秒。

交流电在 1 秒内完成周期性变化的次数叫频率。以 f 表示，单位是赫兹。

周期和频率互为倒数，即 $T = \frac{1}{f}$ 。

我国市电频率为 50 赫兹，周期为 0.02 秒。

角频率 ω ： $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$ 单位：弧度/秒

交流电的图象：

$e = \varepsilon_m \cdot \sin \omega t$ 图象如图所示。

$e = \varepsilon_m \cdot \cos \omega t$ 图象如图所示。

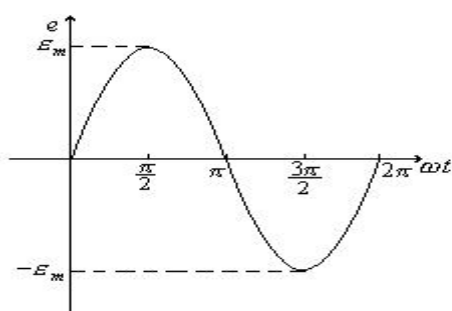


图 5—3

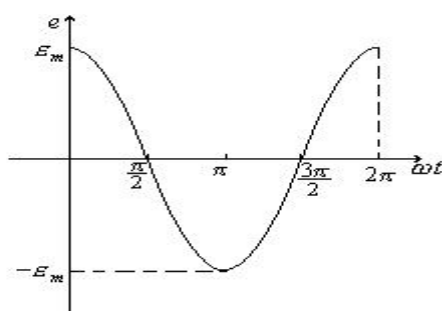


图 5—4

三. 电感和电容对交变电流的影响

①电感对交变电流有阻碍作用，阻碍作用大小用感抗表示。“通直流，阻交流，通低频，阻高频”

②电容对交变电流有阻碍作用，阻碍作用大小用容抗表示“隔直流、通交流，阻低频、通高频”

四. 变压器

变压器是可以用来改变交流电压和电流的大小的设备。

理想变压器输入功率等于输出功率。对于原、副线圈各一组的变压器来说（如图），原、副线圈上的电压与它们的匝数成正。

$$\text{即 } \frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

因为 $U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$ ，因而通过原、副线圈的电流强度与它们的匝数成反比。

$$\text{即 } \frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

注意：1. 理想变压器各物理量的决定因素

输入电压 U_1 决定输出电压 U_2 ，输出电流 I_2 决定输入电流 I_1 ，输入功率随输出功率的变化而变化直到达到变压器的最大功率（负载电阻减小，输入功率增大；负载电阻增大，输入功率减小）。

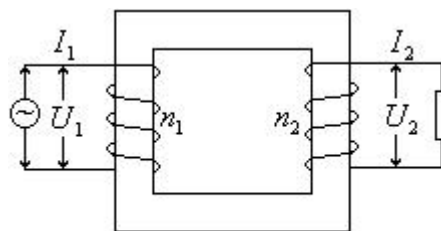


图 5-6

2. 一个原线圈多个副线圈的理想变压器的电压、电流的关系

$$U_1:U_2:U_3:\cdots=n_1:n_2:n_3:\cdots \quad I_1n_1=I_2n_2+I_3n_3+\cdots$$

上述各公式中的 I 、 U 、 P 均指有效值，不能用瞬时值。

(3) 电压互感器和电流互感器

电压互感器是将高电压变为低电压，故其原线圈并联在待测高压电路中；电流互感器是将大电流变为小电流，故其原线圈串联在待测的高电流电路中。

(二) 解决变压器问题的常用方法

思路 1 电压思路。变压器原、副线圈的电压之比为 $U_1/U_2=n_1/n_2$ ；当变压器有多个副绕组时 $U_1/n_1=U_2/n_2=U_3/n_3=\cdots$

思路 2 功率思路。理想变压器的输入、输出功率为 $P_{\text{入}}=P_{\text{出}}$ ，即 $P_1=P_2$ ；当变压器有多个副绕组时 $P_1=P_2+P_3+\cdots$

思路 3 电流思路。由 $I=P/U$ 知，对只有一个副绕组的变压器有 $I_1/I_2=n_2/n_1$ ；当变压器有多个副绕组时 $n_1I_1=n_2I_2+n_3I_3+\cdots$

动态分析问题的思路程序可表示为：

$$U_1 \xrightarrow[\text{决定}]{\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}} U_2 \xrightarrow[\text{决定}]{I_2 = \frac{U_2}{R_{\text{负载}}}} I_2 \xrightarrow[\text{决定}]{P_1 = P_2 (I_1 U_1 = I_2 U_2)} I_1 \xrightarrow[\text{决定}]{P_1 = I_1 U_1} P_1$$

思路 5 原理思路。变压器原线圈中磁通量发生变化，铁芯中 $\Delta \Phi / \Delta t$ 相等；

五. 电能的输送

由于送电的导线有电阻，远距离送电时，线路上损失电能较多。

在输送的电功率和送电导线电阻一定的条件下，提高送电电压，减小送电电流强度可以达到减少线路上电能损失的目的。

线路中电流强度 I 和损失电功率计算式如下：

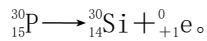
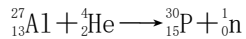
$$I = \frac{P_{\text{输}}}{U_{\text{出}}} \quad P_{\text{损}} = I^2 \cdot R_{\text{线}}$$

注意：送电导线上损失的电功率，不能用 $P_{\text{损}} = \frac{U_{\text{出}}^2}{R_{\text{线}}}$ 求，因为 $U_{\text{出}}$ 不是全部降落在导线上。

第十三章 近代物理

一、物理学简史概要

- 1、普朗克通过对黑体辐射的研究提出了能量量子化的观点，从而成为量子力学的奠基人。
- 2、光电效应和康普顿效应证明了光具有粒子性，康普顿效应证明了光不仅具有能量还具有动量。
- 3、德布罗意提出了物质波的猜想，电子衍射实验证明了其猜想。
- 4、波恩提出了概率波的观点。
- 5、汤姆孙发现电子并提出了原子的枣糕模型。
- 6、密立根通过油滴实验测出了电子的电荷量并证明了电荷是量子化的。
- 7、卢瑟福通过 α 粒子散射实验，提出了原子的核式结构模型。
- 8、贝克勒尔发现了天然放射现象说明原子核具有复杂结构。
- 9、伦琴发现了x射线。
- 10、卢瑟福用 α 粒子轰击氮原子核发现了质子： ${}^4_2\text{He} + {}^{14}_7\text{N} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$ 并预言了中子的存在。
- 11、约里奥居里夫妇发现放射性同位素，同时发现正电子



- 12、查德威克发现中子： ${}^4_2\text{He} + {}^9_4\text{Be} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^1_0\text{n}$

二、光电效应

- 1、赫兹最早发现光电效应现象。
- 2、定义：照射到金属表面的光能使金属中的电子从表面逸出的现象。逸出的电子叫光电子。
- 3、五个概念：

①逸出功 (W_0)：由金属板决定（对于同一金属板逸出功是定值）

②最大初动能： $E_{km} = h\nu - W_0$ （由频率决定）

③截止频率： $\nu_c = \frac{W_0}{h}$ 由金属板决定截止的是电流。也称为极限频率。

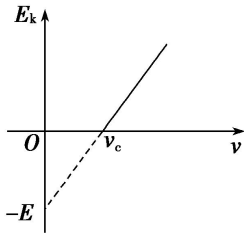
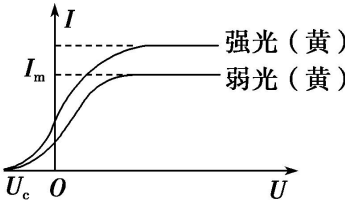
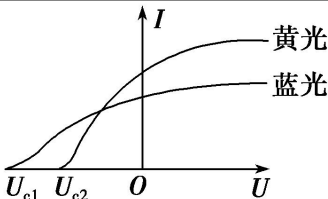
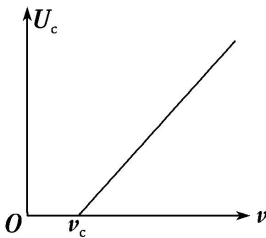
④遏制电压： $eU_c = E_{km} = h\nu - W_0$ 得： $U_c = \frac{h}{e}\nu - \frac{W_0}{e}$ 由频率决定

⑤光强 (I)： $I = \frac{N h \nu}{A t}$ 光强越强光电子数量越多。

- 4、四条规律：

- ①光电子的能量由入射光的频率决定与入射光的强度无关。
- ②每种金属都有一个极限频率当入射光的频率大于等于截止频率才会发生光电效应。
- ③当入射光的频率大于极限频率时，入射光的强度决定光电子的数目决定饱和光电流的大小。
- ④光电效应是瞬时的。

5、四类图象

图象名称	图线形状	由图线直接(间接)得到的物理量
最大初动能 E_k 与入射光频率 ν 的关系图线		①极限频率：图线与 ν 轴交点的横坐标 ν_c 。 ②逸出功：图线与 E_k 轴交点的纵坐标的值 $W_0 = -E = E$ 。 ③普朗克常量：图线的斜率 $k = h$ 。
颜色相同、强度不同的光，光电流与电压的关系		①遏止电压 U_c ：图线与横轴的交点 ②饱和光电流 I_m ：电流的最大值 ③最大初动能： $E_{km} = eU_c$ 。
颜色不同时，光电流与电压的关系		①遏止电压 U_{c1} 、 U_{c2} ②饱和光电流 ③最大初动能 $E_{k1} = eU_{c1}$ ， $E_{k2} = eU_{c2}$
遏止电压 U_c 与入射光频率 ν 的关系图线		①截止频率 ν_c ：图线与横轴的交点 ②遏止电压 U_c ：随入射光频率的增大而增大 ③普朗克常量 h ：等于图线的斜率与电子电量的乘积，即 $h = ke$ 。（注：此时两极之间接反向电压）

三、原子模型

1、1897 年，汤姆生通过对阴极射线的分析研究发现了电子，由此认识到原子也应该具有内部结构，而不是不可分的，并且他提出了原子的枣糕模型。

2、1909 年，卢瑟福和他的同事以 α 粒子轰击重金属箔，即 α 粒子的散射实验来检验汤姆孙的原子模型时提出了新的原子模型-----核式结构模型。

(1) α 粒子的散射实验的现象

绝大多数 α 粒子穿过金箔后仍沿原来的方向前进，但有少数发生偏转，并且有极少数偏转角超过了 90° ，有的甚至被弹回，偏转几乎达到 180° 。

(2) 核式结构模型的学说内容

在原子的中心有一个很小的核，叫原子核，原子的全部正电荷和几乎全部质量都集中在原子核里，带负电的电子在核外的空间里绕核旋转。

(3) 核式结论模型的局限性

通过实验建立起来的卢瑟福原子模型无疑是正确的，但它与经典论发生了严重的分歧。电子与核运动会产生与轨道旋转频率相同的电磁辐射，运动不停，辐射不止，原子能量单调减少，轨道半径缩短，旋转频率加快。由此可得两点结论

①电子最终将落入核内，这表明原子是一个不稳定的系统；

②电子落入核内辐射频率连续变化的电磁波。原子是一个不稳定的系统显然与事实不符，实验所得原子光谱又为波长不连续分布的离散光谱。如此尖锐的矛盾，揭示着原子的运动不服从经典理论所表述的规律。

3、为解释原子的稳定性和原子光谱的离散性，玻尔于 1913 年以氢原子为研究对象提出了他的原子理论，虽然这是一个过渡性的理论，但为建立近代量子理论迈出了意义重大的一步。

(1) 玻尔理论的内容：

①原子只能处于一系列不连续的能量状态中，在这些状态中原子是稳定的，电子虽做加速运动，但并不向外辐射能量，这些状态叫定态。

②原子从一种定态（设能量为 E_m ）跃迁到另一种定态（设能量为 E_n ）时，它辐射或吸收一定频率的光子，光子的能量由这种定态的能量差决定，即

$$h\nu = E_m - E_n (m > n)$$

③氢原子中电子轨道是量子化的每一可取的轨道对应一个能级。

(2) 巴耳末公式

研究原子的结构及其规律的一条重要途径就是对光谱的研究。19 世纪末，许多科学家对原子光谱已经做了大量的实验工作。第一个发现氢原子线光谱可组成线系的是瑞士的中学教师巴耳末，他于 1885 年发现氢原子的线光谱在可见光部分的谱线，可归纳为如下的经验公式

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad n=3, 4, 5, \dots$$

式中的 λ 为波长， R 是一个常数，叫做里德伯恒量，实验测得 R 的值为 $1.096776 \times 10^7 m^{-1}$ 。上面的公式叫做巴耳末公式。当 $n=3, 4, 5, 6$ 时，用该式计算出来的四条光谱线的波长跟从实验测得的四条谱线的波长符合得很好。氢光谱的这一系列谱线叫做巴耳末系。

(3) 能级图

① n 称为量子数， E_1 代表基态， E_n 代表激发态，值为： $E_n = \frac{1}{n^2} E_1$ 。

②原子向外辐射（吸收）光子的能量与发生跃迁的

两个轨道有关。 $h\nu = E_m - E_n (m > n)$ ， $\nu = \frac{c}{\lambda}$ 。

③一个氢原子跃迁发出可能的光谱线条数最多为 $n-1$ 。一群氢原子

跃迁发出可能的光谱线条数的两种求解方法： $N = C_n^2 = \frac{n(n-1)}{2}$ 。

④电子由高能级向低能级跃迁时，动能增加，势能减小，总能量减小。电子由低能级向高能级跃迁时，动能减小，势能增大，总能量增大。

⑤ 对于光子和原子作用而使原子发生跃迁时，入射光的能量要刚好等于两能级差，原子才能吸收，对于实物粒子与原子作用使原子激发时，粒子能量大于或等于能级差都行。

⑥电离：由某一定态跃迁到无穷远处。

n	E/eV
∞	0
5	-0.54
4	-0.85
3	-1.51
2	-3.4
1	-13.6

(4) 玻尔理论的局限性：

玻尔原子理论满意地解释了氢原子和类氢原子的光谱；从理论上算出了里德伯恒量；但是也有一些缺陷。对于解释具有两个以上电子的比较复杂的原子光谱时却遇到了困难，理论推导出来的结论与实验事实出入很大。此外，对谱线的强度、宽度也无能为力；也不能说明原子是如何组成分子、构成液体个固体的。玻尔理论还存在逻辑上的缺点，他把微观粒子看成是遵守经典力学的质点，同时，又给予它们量子化的观念，失败之处在于偶保留了过多的经典物理理论。到本世纪 20 年代，薛定谔等物理学家在量子观念的基础上建立了量子力学。彻底摒弃了轨道概念，而代之以几率和电子云概念。

四、原子核理论

1、天然放射现象：

(1) 概念：元素自发地放出射线的现象，首先由贝克勒尔发现。天然放射现象的发现，说明原子核具有复杂的结构。

(2)放射性和放射性元素：物质发射某种看不见的射线的性质叫放射性。具有放射性的元素叫放射性元素。

(3)三种射线：放射性元素放射出的射线共有三种，分别是 α 射线、 β 射线、 γ 射线。三种射线均来自原子核。

种类	α 射线(${}^4_2\text{He}$) 高速氦核流	β 射线(${}^0_{-1}e$) 高速电子流	γ 射线 (光子流) 高频电磁波
速度	0.1c	0.99c	C
在电磁场中	偏转	与 α 射线反向偏转	不偏转
贯穿本领	最弱，用纸能挡住	较强，穿透几毫米的铝板	最强，穿透几厘米的铅板
对空气的电离作用	很强	较弱	很弱
在空气中的径迹	粗、短、直	细、较长、曲折	最长
通过胶片	感光	感光	感光
产生机制	核内两个中子和两个质子结合的比较紧密，有时会作为一个整体从较大的原子核抛射出来	核内的中子可以转化为一个质子和一个电子，产生的电子从核内发射出来	放射性原子核在发生两种衰变后产生得新核往往处于高能级，当它向低能级跃迁时，辐射 γ 光子

2、放射性元素的衰变

- (1) 定义：原子核放出α粒子或β粒子，变成另一种原子核的变化称为原子核的衰变。
- (2) 两种衰变的比较

衰变类型	α 衰变	β 衰变
衰变方程	${}_Z^AX \longrightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}_2^4\text{He}$	${}_Z^AX \longrightarrow {}_{Z+1}^AY + {}_{-1}^0e$
衰变实质	2 个质子和 2 个中子结合成一个整体射出	中子转化为质子和电子
	$2{}_1^1\text{H} + 2{}_0^1n \longrightarrow {}_2^4\text{He}$	${}_0^1n \longrightarrow {}_1^1\text{H} + {}_{-1}^0e$
衰变规律	电荷数守恒、质量数守恒、动量守恒	

(3) γ射线：γ射线经常是伴随着α衰变或β衰变同时产生的。其实质是放射性原子核在发生α衰变或β衰变的过程中，产生的新核由于具有过多的能量(核处于激发态)而辐射出光子。



3、半衰期

- (1) 定义：放射性元素的原子核有半数发生衰变所需的时间。
- (2) 影响因素：放射性元素衰变的快慢是由原子核内部因素决定的，跟原子所处的物理状态(如温度、压强)或化学状态(如单质、化合物)无关。
- (3) 半衰期公式：

$N_{\text{余}} = N_{\text{原}} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{\tau}}$, $m_{\text{余}} = m_{\text{原}} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{\tau}}$ 。式中 $N_{\text{原}}$ 、 $m_{\text{原}}$ 表示衰变前的放射性元素的原子数和质量， $N_{\text{余}}$ 、 $m_{\text{余}}$ 表示衰变后尚未发生衰变的放射性元素的原子数和质量， t 表示衰变时间， τ 表示半衰期。

- (4) 半衰期的物理意义：
- 半衰期是表示放射性元素衰变快慢的物理量，同一放射性元素具有的衰变速率一定，不同的放射性元素半衰期不同，有的差别很大。
- (5) 半衰期的适用条件：
- 半衰期是一个统计规律，是对大量的原子核衰变规律的总结，对于一个特定的原子核，无法确定何时发生衰变。

五、核反应

1、原子核

(1)原子核的组成

①原子核由质子和中子组成，质子和中子统称为核子。

②原子核的核电荷数=质子数，原子核的质量数=质子数+中子数。

(2) 同位素：具有相同质子数、不同中子数的原子，在元素周期表中的位置相同，同位素具有相同的化学性质。

2、核力

(1)定义：原子核内部，核子间所特有的相互作用力。

(2)特点：①核力是强相互作用的一种表现；

②核力是短程力，作用范围在 $1.5 \times 10^{-15} \text{ m}$ 之内；

③每个核子只跟它的相邻核子间才有核力作用。这种性质成为核力的饱和性。

④弱相互作用是引起原子核 β 衰变的原因。

3、核能

(1)结合能

核子结合为原子核时放出的能量或原子核分解为核子时吸收的能量，叫做原子核的结合能，亦称核能。并不是核子结合成原子核而具有的能量。

(2)比结合能（平均结合能）

①定义：原子核的结合能与核子数之比，称做比结合能，也叫平均结合能。

②特点：不同原子核的比结合能不同，原子核的比结合能越大，表示原子核中核子结合得越牢固，原子核越稳定。

(3) 质量亏损：原子核的质量小于组成原子核的核子质量之和的现象。质量亏损并不是质量消失而是伴随有场态物质辐射，每个核子变“瘦”，静质量向动质量转化。

(4) 核能的计算

①由质量亏损可求出释放的核能 $\Delta E = \Delta mc^2$ 。

②能 $\Delta E = \text{比结合能} \times \text{核子数}$

4、核反应的四种类型

类型		可控性	核反应方程典例
衰变	α 衰变	自发	${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{234}\text{Th} + {}_2^4\text{He}$
	β 衰变	自发	${}_{90}^{234}\text{Th} \rightarrow {}_{91}^{234}\text{Pa} + {}_{-1}^0\text{e}$
人工转变		人工控制	${}_{7}^{14}\text{N} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_8^{17}\text{O} + {}_1^1\text{H}$ 卢瑟福发现质子
			${}_4^9\text{Be} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_6^{12}\text{C} + {}_0^1\text{n}$ 查德威克发现中子
			${}_{13}^{27}\text{Al} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_{15}^{30}\text{P} + {}_0^1\text{n}$ 约里奥·居里夫妇
			${}_{15}^{30}\text{P} \rightarrow {}_{14}^{30}\text{Si} + {}_{-1}^0\text{e}$ 发现放射性同位素，同时发现正电子
重核裂变		比较容易进行人工控制	${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{56}^{144}\text{Ba} + {}_{36}^{89}\text{Kr} + 3{}_0^1\text{n}$
			${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{54}^{136}\text{Xe} + {}_{38}^{90}\text{Sr} + 10{}_0^1\text{n}$
轻核聚变		除氢弹外无法控制	${}_1^2\text{H} + {}_1^3\text{H} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_0^1\text{n}$

链式反应：由重核裂变产生的中子使裂变一代接一代继续下去的过程。裂变物质能够发生链式反应的最小体积叫做临界体积。