猿题库 整理出品

语文

数学

英语

化学

高考学霸笔记

高中物理知识点（上）

物理

张玮星，2017年高考649分，
现录取至华中科技大学深造。

扫描二维码下载猿题库App，与千万中学生共同提升学习成绩！

生物

政治

历史

地理

笔记编号：NO.1

物理 八班

张玮星

必修一

必修1. 第一章. 运动的描述

第一节. 质点、参照系(物)、时间和时刻

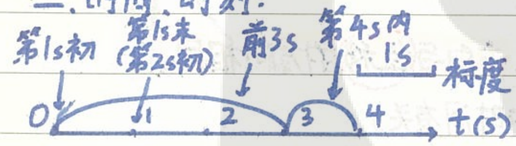
一、机械运动

1. 定义：一物相对于另一物的位置变化。（一物：研究对象）

2. 参照物：①假定其静止。②一般选地面为参照物。

3. 质点：①不计形状大小而有质量的点(把物体)。②视为质点的条件：研究对象的尺寸与其研究范围相比小得多。③质点是理想模型。

二、时间、时刻：



1. 时刻：时间轴上的一点(一个位置)。

2. 时间：时间轴上的一段。

第二节. 物体位置的变化——位移

一、位置变化的描述

1. 描述：①直角坐标系。②一个坐标轴。

二、路程：

1. ①定义：物体运动轨迹的长度。②路程是标量。

2. 两个概念：①标量：只有大小，没有方向的物理量。如质量(m)、时间(t)、路程(s)…… ②矢量(向量)：有大小、方向的物理量。如速度(v)、力(F)……

三、位移(x)

1. 定义：由初位置指向末位置的有向线段。

2. 它是矢量：①大小：线段的长度(单位：m)。②方向：箭头所指方向。

3. 表达方式：选定一个正方向，位移便有正负，正负表示方向的变化，不表示数值大小。

☆4. 只有大小、方向都相同的两个矢量才相等。

四、矢量的表达方式(三种)

平均速率：路程与时间的比值，与平均速度无关

1. 叙述法：如力F大小5N，方向向下。

2. 数学表达式：选向上为正方向，则 $F=-5N$。

3. 矢量的示意图/图示。

第三节. 运动快慢和方向的描述——速度

一、速度(v)

1. 定义：物体运动的位移(x)与时间(t)的比值为速度。(比值定义法)

2. 表达式(定义式)：$\boxed{v=\frac{x}{t}}$

3. 理解：①v的大小与x、t无关；v是矢量，方向与位移的方向相同。

 ②变形式：$x=vt$ (位移与速度和时间有关)

4. 速度表达方式：(同上1~3行)

二、平均速度($\bar{v}$)

1. 定义：(同一、)

2. 矢量：方向与x同向。

3. 求平均速度：①刻度尺测x，秒表测t。②用打点计时器。

☆☆4. 例：①直线运动的物体前半时间以v_1匀速，后半时间以v_2匀速，则 $\bar{v}=\frac{v_1+v_2}{2}$

 ②直线……前半位移以v_1…，后半时位移以v_2……$\bar{v}=\frac{2v_1v_2}{v_1+v_2}$

三、瞬时速度(即时速度)，又称为速度

1. 定义：物体在某一时刻或通过某一位置时的速度。

2. 求法：利用平均速度观点，当$x\to0$或$t\to0$求出。

3. 瞬时速度的大小为瞬时速率；速度的方向：①轨迹的切线方向。②运动的方向。

4. 速度的变化：①大小不变方向变。②方向不变大小变。③方向大小都改变。

5. 物理意义：描述物体运动快慢的物理量。

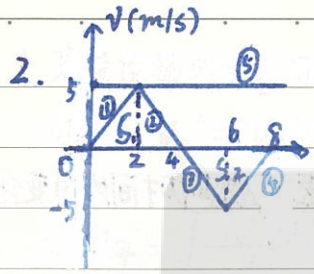
6. 速度具有相对性。

PS：测定气垫导轨上滑块a时用近似法

四、速度—时间图像($v-t$图像)

$\left\{\begin{array}{l}\text{通过光电门 } \bar{v}=v_{\text{瞬}} \\ \text{光电门宽度不计}\end{array}\right.$

1. 以t为横轴，v为纵轴。



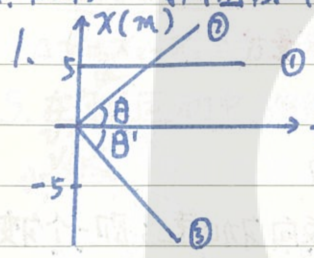
远离x轴则加速　靠近x轴则减速

①正方向匀加速。②正方向匀减速。

③负方向匀加速。④负方向匀减速。

S_1为正位移，S_2为负位移，S_1、S_2可以直接相加（S_2要带上负号）。⑤是匀速直线运动（正方向）。

五、位移—时间图像（$x-t$图像）



①静止。②正方向匀速运动。

③负方向匀速运动。（②与③的区别：速度方向不同）

由 $x=vt$ 和 $y=kx$ 比较知：

$k(\text{斜率})=v=\tan\theta=\frac{\Delta x}{\Delta t}$

第四节、速度变化快慢的描述—加速度（a）

一、速度的变化(量) $\Rightarrow \Delta v$

1. 概念：在直线运动中，末速度(v_1)与初速度(v_0)之差。
2. 表达式：$\Delta v=v_1-v_0$　单位：m/s
3. Δv是矢量：方向：与加速度a的方向相同；

二、加速度（a）

1. 定义：物体的Δv与所用时间Δt的比值。
2. 表达式：$\boxed{a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{v_1-v_0}{\Delta t}}$（定义式），单位：$m/s^2$（导出单位）
3. 物理意义：表示物体速度变化快慢的物理量。
4. a是矢量：①大小：由$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}$可得，但$a$与$v$、$\Delta t$无关（与R、I、U道理相同）。

　　②方向：与Δv方向相同。→由$\frac{F}{m}$决定

三、$v-t$图像（同上顶部，此处不画）

1. 0~2s内：$a_1=\frac{\Delta v_1}{\Delta t_1}=\frac{5-0}{2}=2.5m/s^2$　2. 2~4s内：$a_2=\frac{\Delta v_2}{\Delta t_2}=\frac{0-5}{2}=-2.5m/s^2$

3. 4~6s内：$a_3=\frac{\Delta v_3}{\Delta t_3}=\frac{-5-0}{2}=-2.5m/s^2$　4. 6~8s内：$a_4=\frac{\Delta v_4}{\Delta t_4}=\frac{0-(-5)}{2}=2.5m/s^2$

5. 结论：① $a>0$且$\Delta v>0$，表示加速度与规定正方向相同；但不能说$a>0$，就一定是加速运动。② 由 $\Delta v=a\cdot\Delta t$ 和 $y=kx$ 比较知：$k(\text{斜率})=a$

☆PS：$\frac{\Delta v}{\Delta t}$称为速度变化率。速度变化率大，加速度也大。(√)

速度变化快，加速度大。(√)

可以说速度变化率就是加速度。

刹车问题：注意刹车时间，小心使用 $\begin{cases} v_t = v_0 - at \\ x = v_0 t - \frac{1}{2}at^2 \end{cases}$，可用逆向运动法解决（视为 $v_0=0$ 的匀加速）

第五节、匀变速直线运动及 v 与 t 的关系

一、匀变速直线运动

1. 定义：a 恒定的直线运动；"每秒内"的 Δv 相同 $\xrightarrow{即}$ 速度随时间均匀变化的运动。
2. 分类：匀加速～和匀减速～。

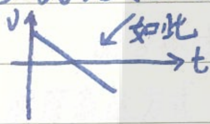
二、v 与 t 的关系：

$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_t - v_0}{t} \Rightarrow \boxed{v_t = v_0 + at \text{（速度公式）}}$ 矢量式

① v_t、v_0、a 都为矢量

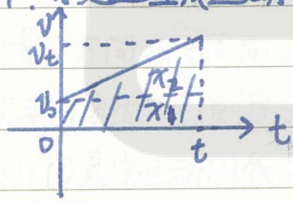
② $v_0>0$、$a>0$（即 v_0、a 同向），匀加速直线运动

③ $v_0>0$、$a<0$（即 v_0、a 相反向），先匀减速，再反向匀加速；即一个匀变速直线～。



第六节、匀变速直线运动 x 与 t 的关系

一、



位移：① $x = \frac{v_0 + v_t}{2} \cdot t$

$= \frac{v_0 + (v_0 + at)}{2} \cdot t = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$（梯形面积）

或：② $x = x_1 + x_2 = v_0 t + \frac{1}{2} \times t \times (v_t - v_0)$　　$\because \Delta v = at$

$= v_0 t + \frac{1}{2} t \cdot \Delta v = v_0 t + \frac{1}{2} t \cdot at$

$= \boxed{v_0 t + \frac{1}{2}at^2}$（算法更简洁）

矢量式

二、x 与 t：$x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$ 中，x、v_0、a 均有正负。

例：① $v_0 = 18m/s$，$a = -6m/s^2$；求 4s 末 v_4；求 x_4。

解：$v_4 = v_0 + at = \cdots = -6m/s$；$x_4 = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 = \cdots = 24m$

② 匀加速～，$v_0 = 2.25m/s$，$a = 0.1m/s^2$，求第 3s 内的 x。

解：$x_3' = x_3 - x_2 = v_0 t_3 + \frac{1}{2}at_3^2 - (v_0 t_2 + \frac{1}{2}at_2^2) = \cdots = 2.5m$

☆三、推导：1. 由 $v_t = v_0 + at$、$x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$，消去 t 得：

$\boxed{v_t^2 - v_0^2 = 2ax \text{（x—v 关系式）}}$ 矢量式

2. 匀变速直线运动中，某段时间内的 $v_{\frac{t}{2}}$ 等于这段时间内的平均速度：

☆ $\boxed{v_{\frac{t}{2}} = \bar{v} = \frac{v_t + v_0}{2}}$

只用于匀变速

① 由 $v_t = v_0 + at$ 推：$v_{\frac{t}{2}} = \frac{v_t + v_0}{2}$

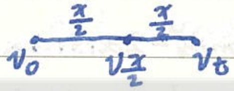
② 由 v-t 图像：$x = \frac{v_t + v_0}{2} \cdot t$（梯形面积）

③ 由 $\bar{v} = \frac{x}{t} \Rightarrow x = \bar{v} \cdot t$

$\Rightarrow v_{\frac{t}{2}} = \bar{v} = \frac{v_t + v_0}{2}$

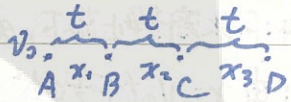
3. 某段位移内 $v_{\frac{x}{2}}$ 与 v_0、v_t 的关系：（由 $v_t^2-v_0^2=2ax$ 推）

$v_{\frac{x}{2}}^2-v_0^2=v_t^2-v_{\frac{x}{2}}^2=2a\cdot\frac{x}{2}$



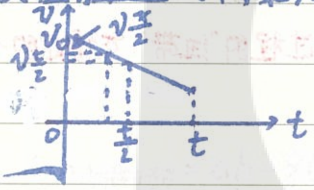
$\therefore \boxed{v_{\frac{x}{2}}=\sqrt{\frac{v_0^2+v_t^2}{2}}}$

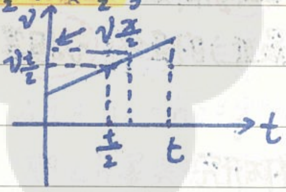
4. 连续相等时间内的位移差：$\boxed{\Delta x=at^2}$



$\Delta x=x_3-x_2=x_2-x_1=at^2$

5. 在匀变速运动中，始终有 $v_{\frac{x}{2}}>v_{\frac{t}{2}}$。





6. 在 $v_0=0$ 的匀加速直线运动中（自由落体）：

① 1t末、2t末、3t末……的 v：

$\boxed{v_1:v_2:v_3=1:2:3:\cdots}$ （公式推导：$v=at$）

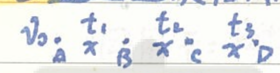
② 1t内、2t内、3t内……的 x：

$\boxed{x_1:x_2:x_3=1^2:2^2:3^2:\cdots}$ （公式推导：$x=\frac{1}{2}at^2$）

③ 第1t内、第2t内、第3t内…的 x：

$\boxed{x_1':x_2':x_3':\cdots=1:3:5:\cdots}$ （运用 $x_2'=x_2-x_1$，$x_3'=x_3-x_2$）

④ 通过连续相同位移所用时间之比：



（由 $x=\frac{1}{2}at^2\Rightarrow t=\sqrt{\frac{2x}{a}}$）

$t_1=\sqrt{\frac{2x}{a}}$，$t_2=\sqrt{\frac{2\times2x}{a}}-\sqrt{\frac{2x}{a}}$，$t_3=\sqrt{\frac{2\times3x}{a}}-\sqrt{\frac{2\times2x}{a}}$ …

$\boxed{\therefore t_1:t_2:t_3:\cdots=1:(\sqrt{2}-1):(\sqrt{3}-\sqrt{2}):\cdots}$

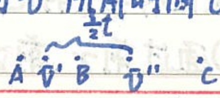
7. 应用：例1：匀变速~中，连续相等的t内位移分别为s，2s，求a。

解：由 $\Delta x=at^2$：$2s-s=at^2$ $\therefore a=\frac{t^2}{s}$

例2：匀变速~，在t内运动s，在接着2t内运动4s，求a。

解：t内的 $\bar{v}'=\frac{s}{t}$，2t内的 $\bar{v}''=\frac{2s}{t}$，$\bar{v}'$ 与 $\bar{v}''$ 所用时间 $t'=\frac{t+2t}{2}=\frac{3}{2}t$

$\therefore \frac{2s}{t}=\frac{s}{t}+a\cdot\frac{3}{2}t$ $\therefore a=\frac{2s}{3t^2}$



例3：一车静止出发，以 $\underset{大小}{a_1}$ 匀加速，一段时间后，以 $\underset{大小}{a_2}$ 匀减速至停止，总位

$\begin{cases} v-t\text{图的}S\text{：位移大小} \\ v_{率}-t\text{图的}S\text{：路程大小} \\ a-t\text{图的}S\text{：速度变化量} \end{cases}$

JUST YOU...

移为s，求：①总时间t。②最大速度v_{max}。

思路：$\begin{cases} v_{max}^2=2a_1s_1 \\ v_{max}^2=2a_2s_2 \end{cases} \Rightarrow \frac{v_{max}^2}{2a_1}+\frac{v_{max}^2}{2a_2}=s \Rightarrow$ 求出$v_{max} \Rightarrow \begin{cases} v_B=a_1t_1 \\ v_B=a_2t_2 \end{cases} \Rightarrow$ 求出t

例4：一水滴静止落下，$a=10m/s^2$，经过2m的窗用时0.2s，求窗台距房顶高度。

解：由$x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$：$2m=0.2v_B+\frac{1}{2}\times10\times0.2^2$ ∴ $v_B=9m/s$

由$v_t^2-v_0^2=2ax$：$9^2=2\times10\times x$ ∴ $x=4.05m$ ∴ 距窗台：$4.05+2=6.05m$

☆四、追及：1.相遇的条件：位移满足一定条件（如$x_1=x_2$）。

2.相距最远（或最近）的条件：v相等。 多过程的"纽带"：交接处的v.

第七节、对自由落体运动的研究

一、自由落体

1.定义：只受重力作用，物体由静止下落的运动。（特殊的匀加速直线运动）

2.条件：①只受重力（或$G\gg f$）。②$v_0=0$

3.特点：不同物体从同一高度同时释放，将会同时落地。

4.公式：$v_t=gt$.（由$v_t=v_0+at$）g为自由落体加速度（重力加速度）

二、重力加速度

1.大小：$9.8m/s^2$（粗略计为$10m/s^2$）；方向：竖直向下。

2.影响大小的因素：不同星球（万有引力不同）、纬度、海拔。

三、系列公式

1.由$v_t=v_0+at \Rightarrow \boxed{v_t=gt}$

2.由 $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2 \Rightarrow \boxed{h=\frac{1}{2}gt^2}$

3.由$v_t^2-v_0^2=2ax \Rightarrow \boxed{v_t^2=2gh \Rightarrow v_t=\sqrt{2gh}}$

4.由$\Delta x=at^2 \Rightarrow \boxed{\Delta h=gt^2}$

☆四、补充：1.第六节的"推导"的比例式前三个是以时间等分来分类的。

2.以位移等分的比例式（注：$v_0=0$）：

①通过前x、前2x、前3x…时的速度之比：

$\boxed{v_1:v_2:v_3:\cdots:v_n=1:\sqrt{2}:\sqrt{3}:\cdots:\sqrt{n}}$ （公式推导：$v_t^2-v_0^2=2ax$）

竖直上抛：$H_{max}=\frac{v_0^2}{2g}$，$T=\frac{v_0}{g}$，$t_{回}=\frac{2v_0}{g}=2T$

②通过前x、前2x、前3x…的所用时间之比：

$$\boxed{t_1:t_2:t_3:\cdots:t_n=1:\sqrt{2}:\sqrt{3}:\cdots:\sqrt{n}}$$ （公式推导：$x=\frac{1}{2}at^2$）

③通过连续相等的位移所用时间之比：

$$\boxed{t_1':t_2':t_3':\cdots:t_n'=1:(\sqrt{2}-1):(\sqrt{3}-\sqrt{2}):\cdots:(\sqrt{n}-\sqrt{n-1})}$$ （由②推导）

五、例1. A.B两物从同一位置自由落体，A先下1s，在B下落之后：

(1) A相对于B作什么运动？ 解：令B下落t秒. B: $v_B=gt$ $h_B=\frac{1}{2}gt^2$

A: $v_A=g(t+1)$ $h_A=\frac{1}{2}g(t+1)^2$

$\Delta v=v_A-v_B=g\times1$ } Δv恒定

$\Delta h=h_A-h_B=gt+\frac{1}{2}g$ } Δh随时间增大

$\therefore h_{A相对于B}=\Delta h=gt+\frac{1}{2}g$，即$\Delta h$是关于t的一次函数

$\therefore$ A相对于B作匀速直线运动

六、竖直上抛运动

1. 定义：以v_0为初速，只受重力的一个匀变速直线运动。

2. 规律：全过程（以v_0为正方向）① $v_t=v_0-gt$ ② $h=v_0t-\frac{1}{2}gt^2$

③ $v_t^2-v_0^2=-2gh$ ④ $h=\bar{v}t$ （方法：全过程分析）

（第八节略，公式见前）第九节、测定匀变速直线运动的加速度

一、原理：①用$\Delta x=at^2$：Δx用逐差法求：$\boxed{\Delta x=\frac{(x_4+x_5+x_6)-(x_1+x_2+x_3)}{9}}$

②用$\bar{v}=\frac{v_0+v_t}{2}$求出中间的一些点的速度，作图像求。

二、器材：打点计时器（电磁～ 4～6V；电火花～ 220V）

三、注意事项：1. 平行：纸带、细绳、长木板平行。

2. 两先两后：{ 先通电源，再放小车；先断电源，再取纸带

3. 防止小车与滑轮相撞。

4. 不必平衡摩擦力。（不必平衡f）

5. 判断是否匀加速：$\Delta x=at^2 \Rightarrow \Delta x$恒定即可。

6. { 计时点：纸带上的实际点；计数点：人为取的一些点

微观　放射现象

四种基本相互作用：1.万有引力。2.电磁相互作用。3.强相互作用。4.弱相互作用。

第二章、力

第一节.力(滑移矢量)

1.定义：力是物体与物体之间的相互作用。特点：物质性、相互性。

2.效果：①使物体运动状态发生变化。②使物体产生形变。

Ps：内力不改变物体(系统)的运动状态

3.力的测量：弹簧秤。

4.力的三要素：大小、方向、作用点。

5.力的分类：①性质：重力、弹力、摩擦力、电场力、磁场力、分子力、核力……

②效果：浮力、阻力、拉力…

第二节.重力：是万有引力竖直向下的分力

1.定义：由于地球的吸引而使物体受到的力。

2.公式：$\boxed{G=mg}$　$g=9.8N/kg$ 或 $9.8m/s^2$　☆大小不因物体运动状态而变化

$F=ma \rightarrow N=kg\cdot m/s^2 \rightarrow N/kg=m/s^2$

3.方向：竖直向下、近似于指向地心。

4.重心：①质量分布均匀、形状规则的物体：几何中心。(不一定在物体上)

②不规则物体重心确定法：悬挂法。(二力平衡)

第三节.弹力

一.形变

1.定义：物体在力的作用下发生的形状或体积的改变。

2.分类：①弹性形变：能恢复原状。②范性形变：不能恢复原状。

二.弹力

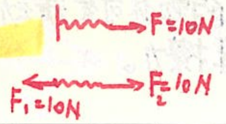
1.定义：发生(弹性)形变的物体，由于要恢复原状，对跟它接触的物体产生力的作用，这种力叫弹力。类别：压力、拉力、支持力…

2.产生条件：①接触。②发生形变。

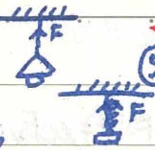
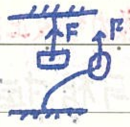
3.弹力的方向：①面—面：垂直公共接触面指向被支持物。

②点—面：过点垂直于面指向受力物。

③点—点：垂直于切面指向受力物。



弹簧伸长量均相同。

④轻绳：沿绳的收缩方向。  ☆⑤轻杆：{沿杆 / 不沿杆  总：与形变的恢复方向相同。

⑥轻弹簧：沿弹簧形变的方向。

4.胡克定律

(1)定义(内容)：在弹性限度内，弹性体的弹力和弹性体伸长(或缩短)的长度成正比。

(2)公式：$\boxed{F=kx}$ k为劲度系数，大小由弹性体本身的物理条件决定，单位：N/m。x为形变量大小。$x=|l_x-l_0|$

变形：$k=\frac{\Delta F}{\Delta x}$ (k可视为斜率)

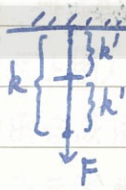
复习：一、重力：1.大小(近似)：重力=引力 → $\boxed{mg'=\frac{G'm_1m_2}{r^2}}$ → $g'=\frac{G'm_2}{r^2}$

m_1为人的质量，m_2为地球质量，r为距离(地球半径)，$G'=6.67\times10^{-11}N\cdot m^2/kg^2$

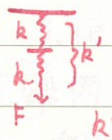
∴ $g_{地表}=\frac{6.67\times10^{-11}\times6.0\times10^{24}}{(6.4\times10^{6})^2}\approx9.8N/kg$

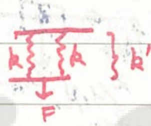
☆2.由$F_{引}=\frac{Gm_1m_2}{r^2}$：离地面越高(r↑)，g越小。极点g最大，赤道上g最小。

3.重心(见左) 4.方向(见左)

☆☆(3)弹簧：① 轻弹簧  一根弹簧截两段：$\begin{cases}F=k\cdot x\\ F=k'\cdot\frac{x}{2}\end{cases}$ ⇒ $k'=2k$

②  两根弹簧并一起：$\begin{cases}F=k\cdot x\\ \frac{F}{2}=k'\cdot x\end{cases}$ ⇒ $k=2k'$

 $\begin{cases}F=kx\\ F=k'\cdot 2x\end{cases}$ $k'=\frac{k}{2}$ 变软

 $\begin{cases}\frac{F}{2}=kx\\ F=k'x\end{cases}$ $k'=2k$ 变硬

第四节 摩擦力

一、滑动摩擦力

1.定义：两个互相接触挤压(即有弹力①)、发生相对②运动、表面粗糙③的物体，在接触面上会产生阻碍相对运动的力，叫～。

2.条件：①②③

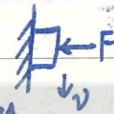
3.$f_滑$大小：$\boxed{f_滑=\mu F_N}$（F_N：正压力）。μ为动摩擦因数，没有单位，与接触面材料、粗糙程度有关。

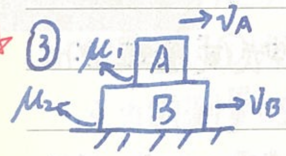
4.测μ：①测m→G→F_N(水平面)。②测$f_滑$： 

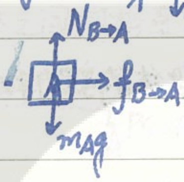
PS：1.摩擦力可为动力可为阻力。2.运动的物体可受静摩擦力，静止的物体可受滑动~。3.并不是有外力作用才会产生摩擦力。4.同一接触面上不可能同时产生两种摩擦力。

5.摩擦力可做正功可做负功。

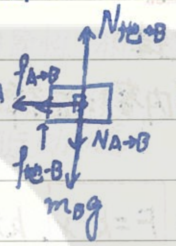
5.方向：与相对运动方向相反。

①  $f=\mu F_N=\mu mg$ ②  $f=\mu F_N=\mu F$

☆③  $v_A<v_B$



$f_{B\to A}=\mu_1 N_{B\to A}=\mu_1 m_A g$



$f_{地\to B}=\mu_2 N_{地\to B}=\mu_2(N_{A\to B}+m_B g)=\mu_2(N_{B\to A}+m_B g)=\mu_2(m_A+m_B)g$

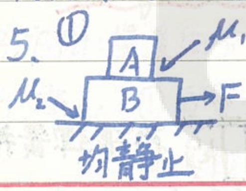
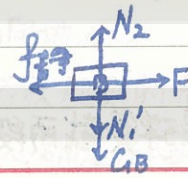
二.静摩擦力（被动力）

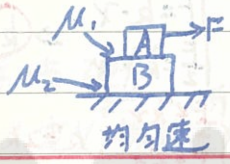
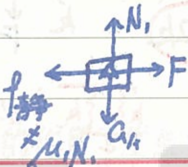
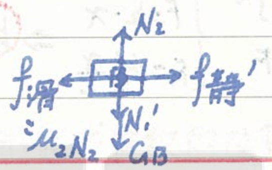
1.定义：两个相互接触挤压①、保持相对静止②但有相对运动的趋势③、表面粗糙的物体，接触面间会产生阻碍相对运动趋势的力，叫~。

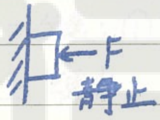
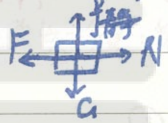
2.条件：①②③↗

☆☆3.大小：$0\le f_{静}\le f_{最大静}(f_{max})$；大小由状态及一些外力决定；$f_{max}>f_{滑}=\mu N$；$f_{max}\propto\mu N$（即$f_{max}$是一种能力）

4.方向：与相对运动趋势方向相反。

5.①    $\therefore f_{静}=F$，但 $f_{静}\ne\mu_2 N_2$

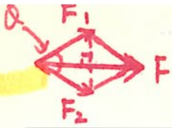
☆☆②   

☆☆③  

当$F\uparrow$：$N\uparrow$，$f_{静}=\cancel{\mu N}\ mg$ 不变

当$F\downarrow$：由于$f_{max}\propto\mu N$，$N\downarrow$，$f_{max}\downarrow$，使$f_{静}>f_{max}$，于是由于受外力mg，故下滑。

摩擦力三种突变：“静静”突变、“动静”突变、“静动”突变



$F=2F_1\cos\frac{\alpha}{2}$

实验注：①测力计要水平互钩对拉，使读数相同，
②结点位置不变，角度要合适（$60°\sim100°$）.
③统一标度。
④在限度内，形变尽量大些，细绳套应适当长一些，便于测定方向

☆补讲：三角函数

1. $\sin(90°-\theta)=\cos\theta$　2. $\sin(180°-\theta)=\sin\theta$　3. $\cos(180°-\theta)=-\cos\theta$

4. $\sin(\alpha+\beta)=\sin\alpha\cdot\cos\beta+\cos\alpha\cdot\sin\beta$（和差化积）

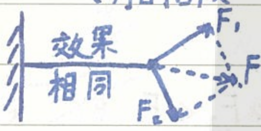
5. $\sin2\theta=2\sin\theta\cdot\cos\theta$（倍角公式）

6. 余弦定理：$a^2=b^2+c^2-2bc\cdot\cos\angle A$

7. 正弦定理：$\frac{a}{\sin A}=\frac{b}{\sin B}=\frac{c}{\sin C}=2R$（R为外接圆半径）

第5节、力的合成

一、力的合成



1. F为F_1、F_2之合力；称F_1、F_2为F的分力。
2. 力的合成即为求几个力的合力。

☆3、合力并不是单独存在的力，不能与分力同时出现在受力分析中。

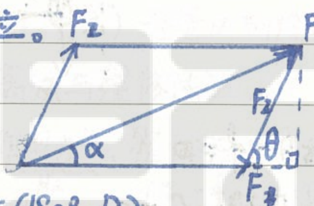
4. 共点力：作用于物体同一点或作用线相交于同一点的几个力。

二、探究共点力合成规律：

1. 器材：橡皮筋、+细绳、弹簧测力计、刻度尺、5枚图钉、图板、白纸、量角器。
2. 实验方法：（同上图）
3. 结论：共点力的合成满足平行四边形定则。

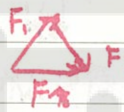
▱定则：两力合成，以表示这两力的线段为邻边作▱，这两邻边间的对角线表示合力。

PS：▱定则对所有矢量都成立。



☆☆三、用计算法求合力：

Δ定则：



☆大小：$F^2=F_1^2+F_2^2-2F_1F_2\cdot\cos(180°-\theta)$

$=F_1^2+F_2^2+2F_1F_2\cdot\cos\theta$

方向：$\tan\alpha=\frac{F_2\sin\theta}{F_1+F_2\cos\theta}$

特殊情况：①当$\theta=0°$：$F_{max}=F_1+F_2$.

②当$\theta=90°$：$F^2=F_1^2+F_2^2$

③当$\theta=180°$：$F_{min}=|F_1-F_2|$

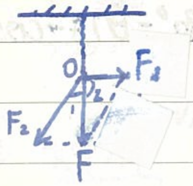
☆④当F_1、F_2一定，θ变化：$|F_1-F_2|\le F\le F_1+F_2$

☆PS：合力可以>、<、=任意分力。

当F_1、F_2的大小一定，F随夹角α的增大而减小，随α的减小而增大。

PS：求分力的几个方法：直角三角形法、正交分解法、相似三角形法、动态平衡法……

☆四、运用：　已知：O点位置不变（即F不变）



① F_2方向不变，∠2变小，则：F_2减小，F_1先小后大。

② F_1大小不变，∠2变小，则：F_2减小，∠1变大。

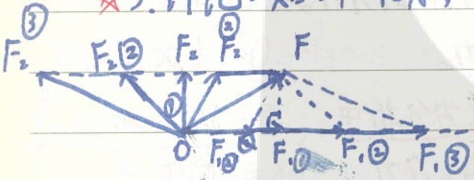
第5节、力的分解

一、力的分解

1. 求一个已知力的分力叫力的分解。分力也不是实际力。

2. 力的分解在无条件下可任一分解。

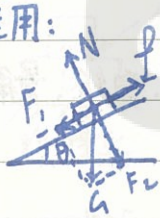
☆3. 讨论：知：F=10N，一个分力F_1与F夹θ=30°，则：

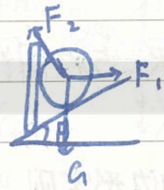


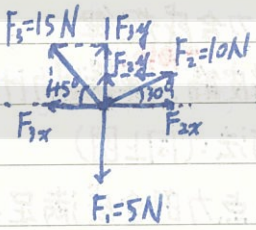
① $F_2=F\sin\theta$ 一解　② $F\sin\theta<F_2<F$ 二解

③ $F_2>F$ 一解　　故 $F_{2min}=F\sin\theta$

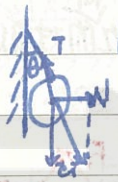
二、运用：

1. 

2. 

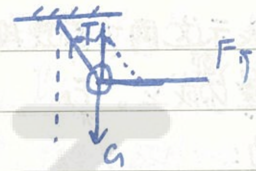
3. 

正交分解

☆4. 

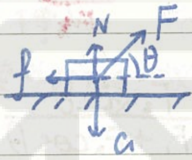
θ变小，则T、N？

T↓，N↓

☆5. 

F逆时针转，则：

T↓，F先↓后↑（同顶部）

6. 

$$\begin{cases}F\cdot\cos\theta-f=0\\F\cdot\sin\theta+N-G=0\end{cases}$$

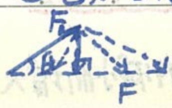
三、正交分解法

1. 定义：把力沿着两个选定的互相垂直的方向分解，叫～。

2. 适合于物体受三个或以上的共点力作用。

四、极值问题：

① 已知合力F及F_1的方向： $F_{2min}=F\sin\theta$

② 已知合力F方向、F_1： $F_2=F_1\cdot\sin\theta$

③ 已知合力F大小、F_1大小：$F_{2min}=|F-F_1|$

（F、F_1、F_2同向）

第四章、物体的平衡

第1节、共点力作用下的物体的平衡　第2节、共点力平衡条件的应用　第3节、平衡的稳定性

一、平衡

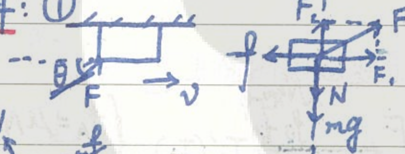
1. 状态：静止或匀速直线运动。

2. 条件：$F_{合}=0$；任意一个方向上的合力都为0. $\begin{cases}F_x=0\\F_y=0\end{cases}$

二、处理平衡的方法

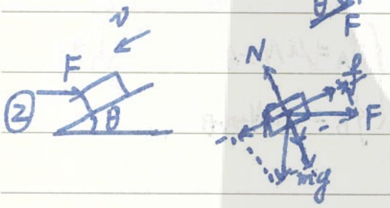
1. 三个共点力：用合成或分解（图见左页二、1、4、等）

2. 正交分解：①



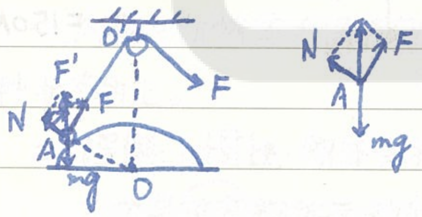
$$\begin{cases}F\cdot\cos\theta-f=0\\mg+N-F\cdot\sin\theta=0\\f=\mu N\end{cases}$$

②



☆ $$\begin{cases}mg\cdot\sin\theta-f-F\cdot\cos\theta=0\\mg\cdot\cos\theta+F\cdot\sin\theta-N=0\quad(例)\\f=\mu N\end{cases}$$

☆3. 相似三角形：力的三角形与几何三角形相似。



$\triangle NF'A \backsim \triangle AO'O$

$\because O'A\downarrow \quad \therefore NF'\downarrow \quad \therefore F\downarrow$

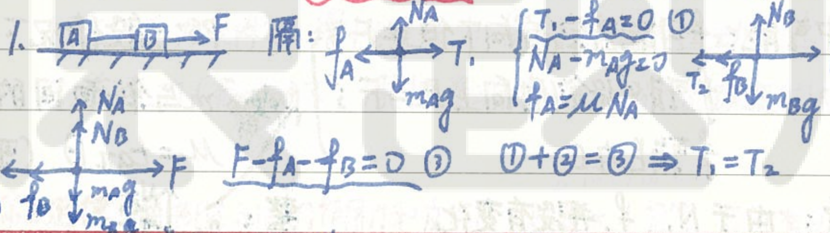
$\because OA$ 为半径不变 $\therefore N$ 不变

4. 动态平衡（即左页二、4、5、等）任意时刻均视为平衡

☆☆三、关于连结体问题（隔离法与整体法）

隔离法中能体现"相互作用力"；整体法中不分析"相互作用力"，更简洁。

1.



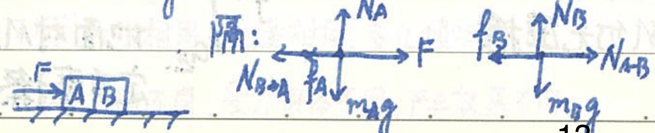
隔：

$$\begin{cases}T_1-f_A=0 \quad ①\\N_A-m_Ag=0\\f_A=\mu N_A\end{cases}\qquad\begin{cases}F-T_2-f_B=0\quad ②\\N_B-m_Bg=0\\f_B=\mu N_B\end{cases}$$

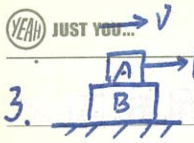
整：

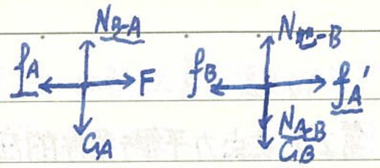
$F-f_A-f_B=0$ ③　　①+②=③ $\Rightarrow T_1=T_2$

2.

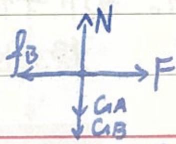


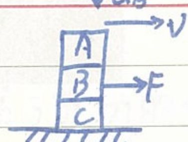
隔：

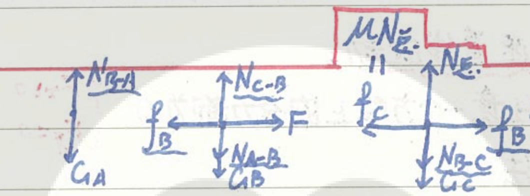
3. 

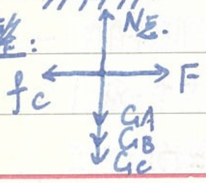
隔: 

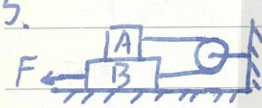
A: $\begin{cases} G_A - N_{B-A} = 0 \\ F - f_A = 0 \end{cases}$ B: $\begin{cases} G_B + N_{A-B} - N_{地-B} = 0 \\ f_A' - f_B = 0 \\ f_B = \mu N_{地-B} \end{cases}$

整: 

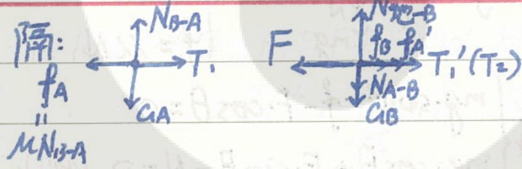
4. 

隔: 

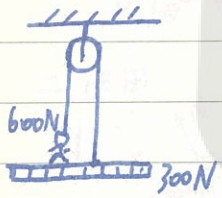
整: 

5. 

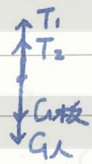
B向左匀速

隔: 

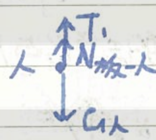
$\begin{cases} f_A = \mu N_{B-A} \\ f_B = \mu N_{地-B} \end{cases}$

6. 

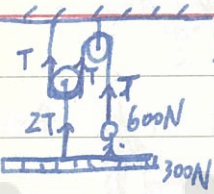
将人和板看作整体:



$\therefore T_1 = T_2 = 450N$

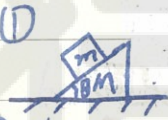
人 

$\therefore N = G - T_1 = 600 - 450$
$= 150N$

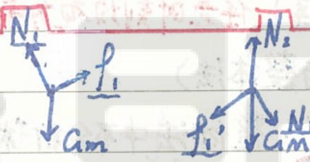
7. 

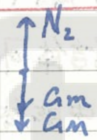
每条绳的拉力:(如图)

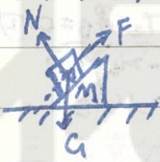
$T = \frac{600+300}{3} = 300N$

☆8. ① 

m匀速下滑

隔: 

整: 

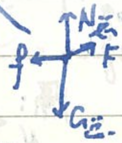
② 

m三种可能: f可能沿斜面向下但≠F;
f可能沿斜面向上且=F;
f可能为0.

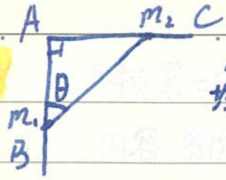
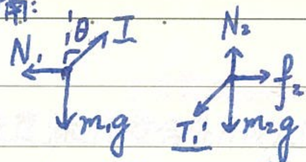
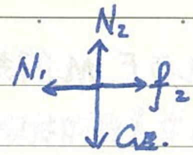
PS: 一般情况下,
m与斜面间的
$\mu = \tan\theta$ (可证)

③ 

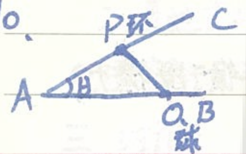
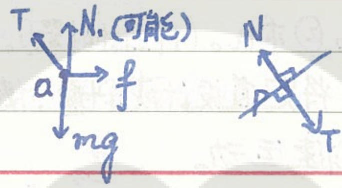
加速下滑: 由于N、f并没有变化
∴ 地面对M仍无摩擦

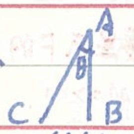
整: 

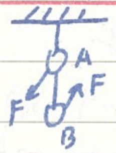
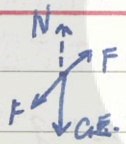
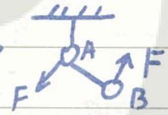
地面对M一定有摩擦

☆9.  AB光滑 均静止 隔:  整: 

当m_2右移少许仍静止：N_2 不变，T 变大 → N_1 变大 → f_2 变大。

10、  AC光滑 P环质量不计 Q球为m 均静止  ← ∴杆必与AC垂直

x11.  均光滑、静止

☆12.  整:  ⇒ 上面的绳必竖直 ⇒ 

第三章、牛顿运动定律

第1节、牛顿第一定律(略)

一、内容：一切物体总保持匀速直线运动状态或静止状态，直到有外力迫使它改变这种状态为止。

（不受外力的理想状态，实际不存在）

二、理解：1.惯性：物体保持匀速直线运动状态或静止状态的内在性质。（惯性不是力）

2.力是改变物体运动状态(即改变加速度)的原因。（产生）

3."不受外力"≠"合外力为零"。

☆三、惯性与质量：质量是物体惯性大小的量度；一个物体惯性的大小，意味着改变物体运动的难易程度。

1.在不受力条件下，惯性表现为：保持原来的运动状态。

2.在受力($F_合 \neq 0$)下，惯性表现为：运动状态改变的难易程度。

牛顿第三定律：两物体之间的作用力和反作用力总是（任何情况下）大小相等、方向相反、作用在同一条直线上。

三同：大小相同、性质相同、变化情况相同

三异：方向不同、受力物体不同、产生效果不同

器材：小车、砝码、小盘、细绳、带滑轮的长木板、垫木、打点计时器、低压交流电源、导线、纸带、天平、刻度尺

JUST YOU...

第2节 探究a与F、M的关系

一、a与F

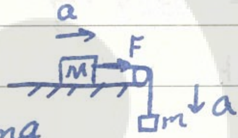
1. 条件：小车的M不变。

2. 设计：①使小车匀加速。②求a。(打点计时器)。

☆③确定$F_合$：(a) 让F为$F_合$，将跑道设计成斜面，使$F_{下滑}=f$ (平衡摩擦力)

实现：~~不挂砝码~~，轻动一下使小车匀速运动。
↑但要挂纸带

☆(b)当 $M \gg m_{砝码}$ 时：$F \approx mg$



Ps：只能直接显示F的，则不需要 $M \gg m$。

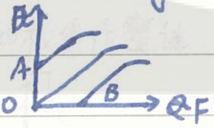
$\because \begin{cases} F=Ma ① \\ mg-F=ma ② \end{cases} \Rightarrow mg=(M+m)a \Rightarrow a=\dfrac{mg}{M+m}$

$\Rightarrow$ 代回①：$F=\dfrac{M}{M+m}\cdot mg$　　$\because M \gg m$　$\therefore \dfrac{M}{M+m} \approx 1$　$\Rightarrow \therefore F \approx mg$.

逐差法 $\Delta x=aT^2$ 求a

☆3. 改变 m：$m_1(F_1=m_1g) \Rightarrow a_1$；$m_2(F_2=m_2g) \Rightarrow a_2$ ……

得出结论：a-F图像



$\begin{cases} A: 平衡摩擦力过度(\theta 大了) \\ B: 平衡摩擦力不足(\theta 小了) \end{cases}$ ⇐ 系统误差

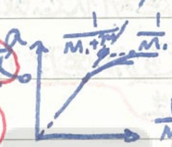
为什么会弯：由上：$a=\dfrac{1}{M+m}\cdot mg$　又：$mg=F$，在F↗，则m显得↗，则 $\dfrac{1}{M+m}$(斜率)↘

二、a与M

1. 条件：砝码m不变。

☆2. 平衡摩擦力只需一次。

☆3. 结论：$a-\dfrac{1}{M}$ 图像



为什么会弯：$a=\dfrac{1}{M+m}\cdot mg$，$mg=F$ 不变
a↗，则M↘，M与m越来越接近，则m变得不可忽略，而 $\dfrac{1}{M+m}<\dfrac{1}{M}$，则如图下弯。

第3节 牛顿第二定律

一、单位制

1. 基本单位：千克(kg)、米(m)、秒(s)、摩尔(mol)、开尔文(K)、安培(A)。
质量m　长度L　时间t　物质的量n　绝对温度T　电流强度I

$F=ma \Rightarrow 1N=1kg\cdot m/s^2$　而 1达因 $=1000g\cdot 100cm/s^2$ $\therefore$ $1N=10^5$ 达因

PS：N是导出单位。

二. 牛顿第二定律

1. 内容：物体的加速度跟所受合外力成正比，跟物体的质量成反比，加速度方向与合外力方向相同。（只能这样说）

2. 表达式：$a \propto \frac{F}{m} \Rightarrow \boxed{F = ma}$

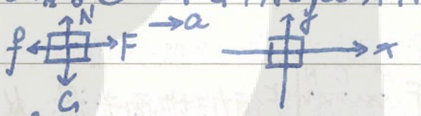
☆3. 条件：①(相对于光速)低速。②宏观。

三. 讨论：

1. 力的独立作用原理：一个力产生一个加速度。

2. 求a的两种方法：①求$F_合$，再求$a_合$。②先求每个力的a，再合成为$a_合$。

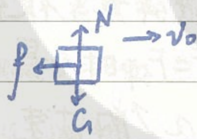
3. 一般解题方法：①建坐标系。



$\begin{cases} F_{x合} = F_合 = ma \\ F_{y合} = 0 \end{cases}$

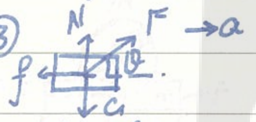
$\therefore \begin{cases} x: F - f = ma \\ y: N - mg = 0 \\ 又\ f = \mu N \end{cases}$

②



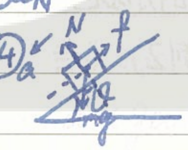
$\begin{cases} -f = ma \\ N - mg = 0 \\ f = \mu N \end{cases}$

③



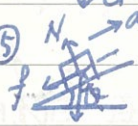
$\begin{cases} F\cos\theta - f = ma \\ F\sin\theta + N - mg = 0 \\ f = \mu N \end{cases}$

☆④



$\begin{cases} mg\sin\theta - f = ma \\ N - mg\cos\theta = 0 \\ f = \mu N \end{cases}$

☆⑤



$\begin{cases} mg\sin\theta + f = -ma \\ mg\cos\theta - N = 0 \\ f = \mu N \end{cases}$ $\leftarrow \boxed{a = -(g\sin\theta + \mu g\cos\theta)}$ $\boxed{a = g\sin\theta - \mu g\cos\theta}$

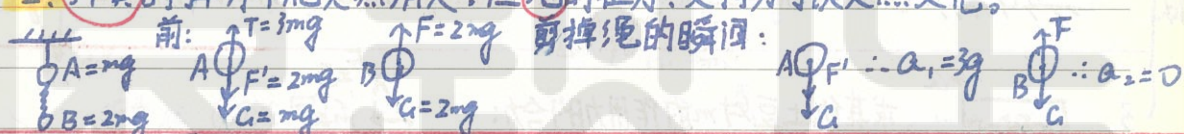
☆☆第5节. 牛顿运动定律的应用

一. 力的瞬时性

1. 有F就有a；F消失a就消失。

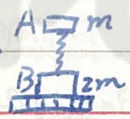
2. 弹簧的弹力不能突然消失，但绳的拉力、支持力可以突然变化。

例1.



剪掉绳的瞬间：$\therefore a_1 = 3g$ $\therefore a_2 = 0$

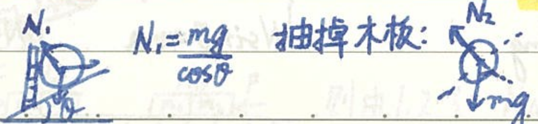
例2.



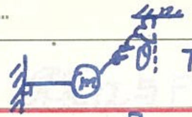
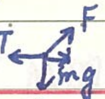
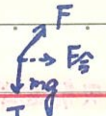
抽掉木板瞬间：$a_1 = 0$

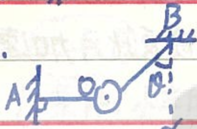
$a_2 = \frac{2mg + mg}{2m} = 1.5g$

☆例3.



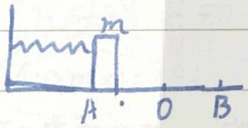
$N_1 = \frac{mg}{\cos\theta}$ 抽掉木板：$\therefore N_2 = mg\cos\theta$ $\therefore \frac{N_1}{N_2} = \frac{1}{\cos^2\theta}$

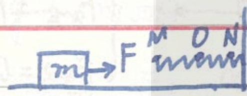
例4.   T消失后:  $\therefore F_{合}=T=mg\tan\theta$ $\therefore a=g\tan\theta$

例5.  剪掉AO后:  (单摆) 运动方向a $\therefore a=g\sin\theta$

二.定性分析(a与v的变化)

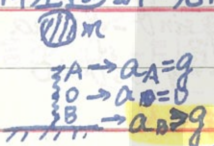
1.物体运动状态由v_0和$F_{合}(a)$决定。

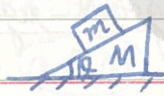
例1.  地面粗糙,O为弹簧原长,m与弹簧不连接,由A点静止释放,能冲过O点,则m: $\begin{cases} A\to O: 先做a减小的加速运动;再做a变大的减速运动 \\ O\to B: a=\mu g的匀减速运动(只受f) \end{cases}$

例2.  F恒力,地面光滑,从接触弹簧至被弹开:

接触向右运动:先做a↓的加速运动,当$F=F_{弹}$时v最大;再做a↑的减速~至v=0。

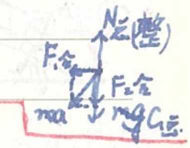
弹开向左运动:先做a↓的加速~;再做a↑的减速。

例3.  (同例2)

例4. 

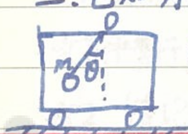
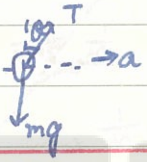
①M静,m匀下或静: $N_{地-M}$: $(M+m)g$ $f_{地-M}$: 0

②M静,m加速下滑: $N<(M+m)g$ f水平向左

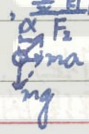


三.已知力求a或已知a求力

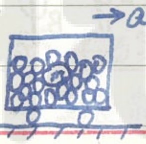
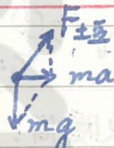
类似

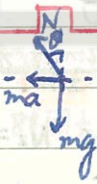
1.  球与车相对静止  $\begin{cases} T\sin\theta=ma \\ T\cos\theta-mg=0 \end{cases}$ $\therefore T=\frac{mg}{\cos\theta}$ $a=g\tan\theta$

2.  ①匀速: $F_{杆}=mg$,竖直向上

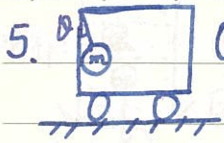
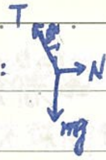
②右a匀加速:  $\therefore F_2=\sqrt{(mg)^2+(ma)^2}$,方向: $\tan\alpha=\frac{ma}{mg}=\frac{a}{g}$

当$\tan\theta=\frac{a}{g}$时F沿杆

3.  求其他土豆对m的作用力的合力: 

4.  m.M光滑相对静止  a必向左 $\therefore \begin{cases} N\cos\theta=mg \\ N\sin\theta=ma \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a=g\tan\theta \\ N=\frac{mg}{\cos\theta} \end{cases}$

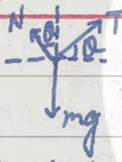
临界：① 接触、脱离：$N=0$　③ 绳的松弛：$T=0$
② 相对滑动：$f_{max静}\approx f_{滑}$　④ v 的最值：$a=0$

5.  ①匀速： $\begin{cases}T=\dfrac{mg}{\cos\theta}\\ N=mg\tan\theta\end{cases}$　②向右以 a 匀加：$\begin{cases}T\cos\theta-mg=0\\ N-T\sin\theta=ma\end{cases}$

当 $a\nearrow$，T不变，$N\nearrow$.

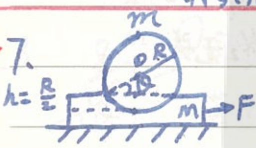
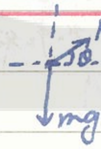
③向左以 a 匀加：有N时：$\begin{cases}T\cos\theta-mg=0\\ T\sin\theta-N=ma\end{cases}$ ⇒临界：当 $a=g\tan\theta$ 时，$N=0$
∴只要 $a\leq g\tan\theta$，都存在N.

无N时：$a\geq g\tan\theta$，θ 变大了，重新设 α 角： $T=\sqrt{(mg)^2+(ma)^2}$　$\tan\alpha=\dfrac{a}{g}$

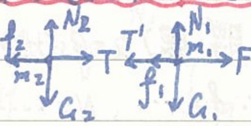
★6. m与M光滑   ①a 向右：$\begin{cases}T\sin\theta+N\cos\theta=mg\\ T\cos\theta-N\sin\theta=ma\end{cases}$ 若 $a\nearrow$：$N\searrow$，$T\nearrow$　$\boxed{当a=g\cot\theta，N=0}$

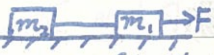
∴若 $a<g\cot\theta$，有N，代入上式即可；若 $a>g\cot\theta$，无N，重新设 α 角

②a 向左：$\begin{cases}T\sin\theta+N\cos\theta=mg\\ N\sin\theta-T\cos\theta=ma\end{cases}$　$\boxed{当a=g\tan\theta，T=0}$　∴若 $a<g\tan\theta$，照样解；
若 $a>g\tan\theta$，小球沿斜面向上运动

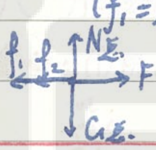
★7.  $\theta=30°$ 右加速： ∴当 $\theta\leq30°$ 时球便飞出
∴ $a\leq g\cot30°$

四、连结体问题：①a"相同"(整体法)。②求相互作用力：隔离法。

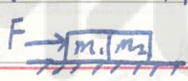
1. 均为 μ，a 向右  对于 m_2：$\begin{cases}T-f_2=m_2a & ①\\ N_2-m_2g=0\\ f_2=\mu N_2\end{cases}$



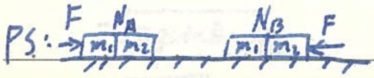
对于 m_1：$\begin{cases}F-T'-f_1=m_1a & ②\\ N_1-m_1g=0\\ f_1=\mu N_1\end{cases}$　①+②：$F-f_1-f_2=(m_1+m_2)a$

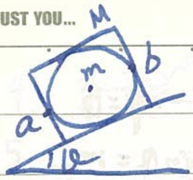
整： ∴ $F-f_1-f_2=(m_1+m_2)a$ ⇒ $a=\dfrac{F}{m_1+m_2}-\mu g$
⇒ ★★ $T=\dfrac{m_2F}{m_1+m_2}$

2. 均为 μ（方法同1）　T与a、θ无实质关系

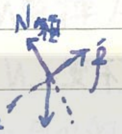


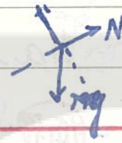
3.  一起向上加速，μ　（经过一系列计算）$\boxed{T=\dfrac{m_2F}{m_1+m_2}}$

PS： 则由1.2.3：$N_A:N_B=m_1:m_2$

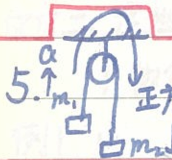
4. 

m与M光滑。①斜面光滑：$\begin{cases} 加速下滑 \\ 冲上斜面 \end{cases} \Rightarrow$ a.b都没有N.

②斜面粗糙：箱子：

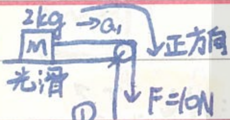
球：

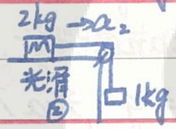
∴ $N_a=f$ | 同理，一起冲上去：$N_b=f$.

5. 

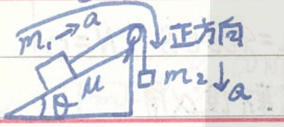
$m_2>m_1$ $\begin{cases} m_2g-T=m_2a \\ T-m_1g=m_1a \end{cases} \Rightarrow m_2g-m_1g=(m_1+m_2)a$

整：由$F_{动}-F_{阻}=ma$：$m_2g-m_1g=(m_1+m_2)a$

6. 



整：$a_1=\frac{F}{M}$ $a_2=\frac{mg}{M+m}$ ∴ $a_1>a_2$

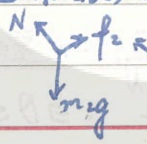
7. 

整：由$F_{动}-F_{阻}=ma$：(主要是分清$F_{动}$、$F_{阻}$)

$\boxed{a=\frac{m_2g-\overbrace{m_1g\sin\theta}^{下滑力}-\overbrace{\mu m_1g\cos\theta}^{摩擦力}}{m_1+m_2}}$

8. 

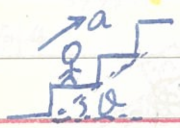
一起加速下滑：(经过瞟一眼) $a=g\sin\theta-\mu g\cos\theta$

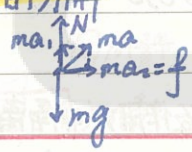
m_2：

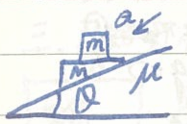
∵ $a<g\sin\theta$ ∴ f_2必向上 ∴ $\boxed{f_2=\mu_1 m_2 g\cos\theta}$

即f_2与μ_2无关

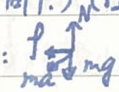
五. 关于a的分解

1. 



2. 

(方法同1.)(经过瞟一眼) $a=g\sin\theta-\mu g\cos\theta$

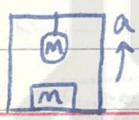
m：

∴ f=……, N=…… (分解a更容易)

六、超重和失重

超重：

1.物体对悬挂物的拉力、对支持面的压力大于重力的现象；自身重力不变。



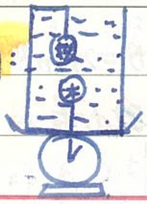
∴ $T-mg=ma$ 即 $T>mg$

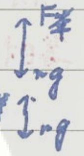
$N-mg=ma$ $N>mg$

2.失重：对悬挂物拉力、对支持面的压力小于重力的现象。

↓a ∴ $mg-T=ma$ 即 $T<mg$ 若$a=g$，则$T=N=0$，为完全失重

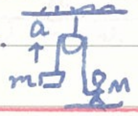
$mg-N=ma$ $N<mg$

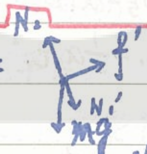
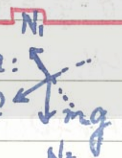
☆☆例1： ①剪断铁球的绳，示数↓.
②剪断木球的绳，示数↓. ∵ 木球上升，同体积"水球"下降，总质心仍下降做加速。

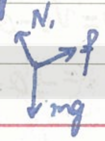
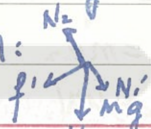
例2：一个人在地面上能举起 60kg，则 $F_{举max}=600N$.
当在 $a_1=2m/s^2$ 匀加速上升的电梯中能举起 50 kg.  $F_举-mg=ma_1$
当在 $a_2=2m/s^2$ —— 下降的电梯中 —— 75 kg. $mg-F_举=ma_2$

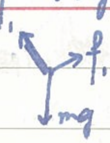
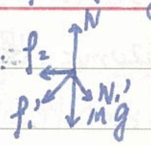
七、两个a不同的联系体：只能用隔离法；始终相同的物理量：t。

1.  M静止，m以a(a<g)匀加速下滑
$$\begin{cases} mg-f_滑=ma \\ N-Mg-f_滑'=0 \end{cases}$$

2. 
$$\begin{cases} T-mg=ma \\ T'+N-Mg=0 \end{cases}$$

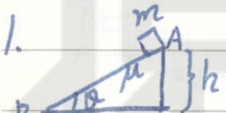
3.  ①斜面光滑
若M静止，m应？
M:  ⇒ m:  m向下加速

②斜面光滑，若m相对斜面静止，则M应？
m:  M:  M向下加速

☆☆4.  M静止，m以a(a<gsinθ)匀加速下滑 ∴即有f.
m:  M:  f_1与N_1合力并不在竖直方向

一个物体
一个过程

八、力与运动.
关键点：①由 $F_合=ma$ 求a. ②由运动学公式求a. a是"桥梁"；要注意其方向。

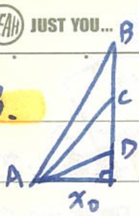
(一) 1.  静止下滑 ①受力分析求出a.
②由 $v_t=v_0+at$、$v_t^2-v_0^2=2ax$ 等求出 t、v_t、x 等量。

☆☆2.  三个斜面光滑
$$\begin{cases} a=g\sin\theta \\ x=\frac{h}{\sin\theta}=\frac{1}{2}at^2 \end{cases} \Rightarrow h=\frac{1}{2}g\sin^2\theta t^2 \quad \therefore \theta越大t越小$$

由：$v_t=\sqrt{2ax}$ ∴ 到达地面时 v_t 大小相等但方向不同.
$=\sqrt{2g\sin\theta\cdot\frac{h}{\sin\theta}}$
$=\sqrt{2gh}$

(学了动能定理就明白了)

☆☆3.



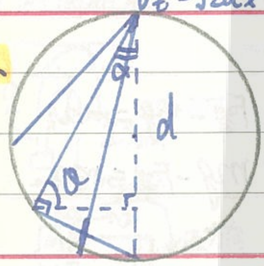
三个斜面 光滑

同2: $\begin{cases} a=g\sin\theta \\ x=\frac{x_0}{\cos\theta}=\frac{1}{2}at^2 \end{cases} \Rightarrow x_0=\frac{1}{2}g\sin\theta\cos\theta t^2$ 由 $\sin2\theta=2\sin\theta\cos\theta$:

当 $\theta=45°$ 时 t 最小

$v_t=\sqrt{2ax}=\sqrt{2g\sin\theta\frac{x_0}{\cos\theta}}=\sqrt{2gx_0\tan\theta}$ $\therefore$ $\boxed{\theta越大\ v_t越大}$

4.



三个斜面,光滑

等时圆

$\begin{cases} a=g\sin\theta=g\sin(90°-\theta)=g\cos\alpha \\ x=d\cos\alpha=\frac{1}{2}at^2=\frac{1}{2}g\cos\alpha t^2 \end{cases}$

$\therefore d=\frac{1}{2}gt^2$ ☆☆ $\boxed{故下滑时间始终相同}$

(二)一个物体,多个过程:分过程分析;相邻两个过程间靠 v 联系。

1.

$F=10N$, $m=2kg$, 静止 → 5s后撤去F → 求 $t_总$、$x_总$.

$\mu=0.2$, $\theta=37°$

第1个过程: $\begin{cases} N_1+F\sin\theta-mg=0 \\ F\cos\theta-f_1=ma_1 \\ f_1=\mu N_1 \end{cases} \Rightarrow \begin{aligned} &v_5=a_1t_1 \\ &x_1=\frac{1}{2}a_1t_1^2 \end{aligned}$

第2个过程: $\begin{cases} N_2-mg=0 \\ f_2=ma_2 \\ f_2=\mu N_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{aligned} &0=v_5-a_2t_2 \\ &x_2=\frac{1}{2}a_2t_2^2 \end{aligned}$

2. m小球, $v_0=20m/s$, 竖直向上抛, $F_阻$ 恒定且 $F_阻=0.4mg$, 求抛后多久回到抛点,及回抛点的 v.

解: 向上运动: $mg+0.4mg=ma$

$\therefore a_1=1.4g=14m/s^2$

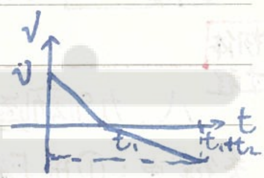
$\begin{cases} 0=v_0-a_1t_1 \\ h=\frac{v_0}{2}t_1 \end{cases}$

向下运动: $mg-0.4mg=ma$

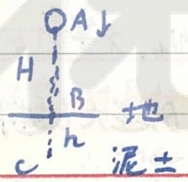
$a_2=0.6g=6m/s^2$

$h=\frac{1}{2}a_2t_2^2$

$\therefore t_总=t_1+t_2$, $v'=\sqrt{2a_2h}$

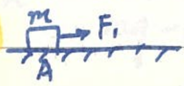


3.



有公式: $\boxed{mg(H+h)=\bar{f}h}$

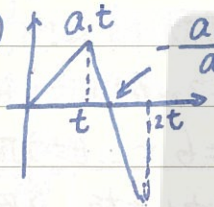
☆☆4.



光滑,从A静止开始在 F_1 作用下运动 t s;撤出 F_1,改为向左 F_2 作用,运动 t s 回到A点,求 $F_1:F_2=$?

(法一) A B C 有: $A \to B$: $\begin{cases} v_B = a_1 t \ ① \\ x = \frac{1}{2}a_1 t^2 \ ② \end{cases}$ $B \to C \to A$: $-x = v_B t - \frac{1}{2}a_2 t^2$ ③

①、②代入③: $a_1 : a_2 = F_1 : F_2 = 1:3$

(法二) 

$-\frac{a_1 t}{a_2}$ ∴ $\frac{a_1 t}{2} t = -\frac{(a_1+a_2)t + a_1 t}{2} t$

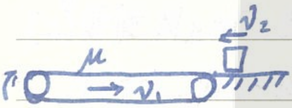
⇓

$a_1 : a_2 = F_1 : F_2 = 1:3$

(三)两个物体,运动状态不同:①只能用隔离法,靠相互作用力联系。② t相同;有时 x、v有关系。

③处理方法:独立分析,在地面上观察物体运动。物体运动跟 v_0、$F_合$ 有很大关系。

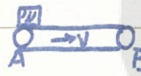
☆☆1.定性分析: 讨论物返回平台速率: $f = ma = \mu mg$ f始终向右



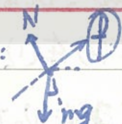
① 当 $v_1 > v_2$: $v_返 = v_2$, 先向左匀减速到 $v=0$(相对于地面),再向右

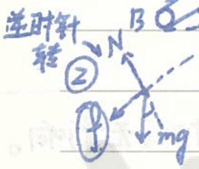
② 当 $v_1 < v_2$: $v_返 = v_1$ 匀加速 回到平台。

先向左匀减到 $v=0$(同①),再向右匀加,当 $v = v_1$ 时,物体与带相对静止,故失去了f,物体匀速回到平台。

★PS:  A上轻放物体(即 $v_0=0$),要使物最短时间从A到B,则物体全程都应做匀加速运动。

例1:  $\mu = 0.5$ $L_{AB} = 15m$ $v_传 = 10m/s$

① 顺时针转:  一直匀加速, $a = g\sin\theta - \mu g\cos\theta = 2m/s^2$ 斜向下

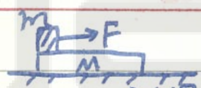
逆时针转 ②  一直匀加速 $a_1 = g\sin\theta + \mu g\cos\theta = 10m/s^2$

此时 $t_1 = 1s$, $x_1 = 5m$

☆☆ 临界: v相等

$x_2 = 10m$. v达到10 m/s时,由于 $mg\sin\theta$ 始终大于 $\mu mg\cos\theta$,物仍加速,但此时相对传送带向下,故又成为①的情况

$x_2 = 10m = 10t + \frac{1}{2} \times 2t^2$ ……

2.  $m = 2kg$, $M = 4kg$, m与M间 $\mu = 0.2$,原来均静止; $f_{max静} = f_滑$

∴可求出 $f_滑 = 4N = f_{max静}$

(1) F=4N,求 v_m 与 v_M (3s后)。

解: 令一起匀加速

m: $F - f_1 = ma$ M: $f_1' = Ma$

∴ $F = (M+m)a$, $f_1 \le 4N$

∴ $a_{max} = 1m/s^2$, $F_{max} = 6N$

即 F=4N时,两物一起匀加速

∴ $v_m = v_M = 2m/s$

(2) F=12N时:

由(1), m, M相对滑动

m: $F - f_1 = ma_1$, $f_1 = 4N$

∴ $a_1 = 4m/s^2$

M: $f_1' = Ma_2$ ∴ $a_2 = 1m/s^2$

若M长6m:

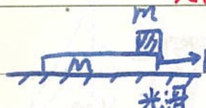
$x_m = \frac{1}{2}a_1 t^2$, $x_M = \frac{1}{2}a_2 t^2$

即 $x_m - x_M = 6$

∴ $t = 2s$ 掉下

JUST YOU...

关键：①求a，②临界：v相等

3. 

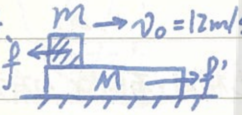
$F=16N$ M长6m，$\mu=0.2$，$m=2kg$，$M=4kg$，$f_{max静}=f_{滑} \Rightarrow f=4N$

和2不同了↓ 同2：令一起匀加速：$m: f=ma$　$M: F-f'=Ma$　整：$F=(M+m)a$

$\therefore a_{max}=\frac{f}{m}=2m/s^2$　$\therefore F_{max}=12N$　$\because 16N>12N$，发生相对滑动

对于m：$f=ma$　$\therefore a_1=2m/s^2$　对于M：$F-f'=Ma$　$\therefore a_2=3m/s^2$

PS：同2，多久掉下？$x_m=\frac{1}{2}a_1t^2$，$x_M=\frac{1}{2}a_2t^2$　$\therefore \frac{1}{2}a_2t^2-\frac{1}{2}a_1t^2=6$　$\therefore t=2\sqrt{3}s$.

4. 

$m=2kg$，$M=4kg$，地面光滑，$\mu=0.2$，m以v_0冲上木板，M原静止

分析：m：$a_1=\mu g=2m/s^2$　M：$f'=Ma_2$　$\therefore a_2=1m/s^2$

(1) 板足够长，求多久后达到$v_共$？

$v_共=12-a_1t=a_2t$

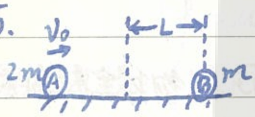
$\therefore t=4s$

(2) 在(1)下，求m滑动痕迹长Δx.

$x_m-x_M=12t-\frac{1}{2}a_1t^2-\frac{1}{2}a_2t^2=24m$.

(3) 设板长$L=16m$，求多久掉下？

同(2)：$x_m-x_M=16 \Rightarrow$ 解出t即可.

5. 

两球视为质点，地面光滑，B静止，A以v_0匀速，当间距$\leq L$时，有恒定排斥力F.

分析：$a_A=\frac{F}{2m}$，$a_B=\frac{F}{m}$　　动量守恒

(1) 相距最近的距离。

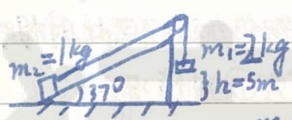
令ts后：$v_A=v_B$ ←相距最近

$v_0-a_At=a_Bt \Rightarrow$ 解出t.

$\therefore x_A=v_0t-\frac{1}{2}a_At^2$ ...

$x_B=\frac{1}{2}a_Bt^2$

$\Delta x=L+x_B-x_A=\cdots$

6. 

$\mu=0.5$. m_1落地不反弹. 斜面足够长，绳弯曲后对m_2无影响。求m_2上升最大高度。

往前翻两页：$a_1=\frac{m_1g-m_2g\sin\theta-\mu m_2g\cos\theta}{m_1+m_2}=\frac{10}{3}m/s^2$　　动能定理

落地前：$v_1^2=2\times\frac{10}{3}\times5$　$\therefore v_1^2=\frac{100}{3}(m/s)^2$

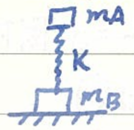
落地后m_2匀减速上滑：$a_2=g\sin\theta+\mu g\cos\theta=10m/s^2$

$\therefore x_2=\frac{v_1^2}{2\times a_2}=\frac{\frac{100}{3}}{2\times10}=\frac{5}{3}m$　$\therefore H=(h+x_2)\sin\theta=4m$.

$m_1gh-m_2g\sin37^\circ h-\mu m_2g\cos37^\circ h=\frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2-0$

$v^2=2a_2x_2$.

九、关于弹簧的问题

1. 

原静止，现用力竖直提A，当$N_{B-地}=0$时，则A移动的距离？

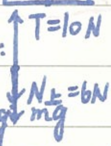
解：原来：分析A：$T_1=m_Ag=kx_1$ ∴ $x_1=\frac{m_Ag}{k}$ (压缩量)

现在：分析B：$T_2'=m_Bg=kx_2$ ∴ $x_2=\frac{m_Bg}{k}$ (伸长量)

∴共伸长：$x_1+x_2=\frac{(m_A+m_B)g}{k}$

☆☆2. 
以$a=2m/s^2$向上匀减速时，上、下底板压力分别为6N，10N。求：

(1)若上压力为下压力一半时，运动情况？

分析：

∴$m=0.5kg$

∵弹簧长度没变！ ∴$N_上=\frac{1}{2}N_下=5N$

∴下底板压力仍为10N！ ∴ $mg+N_上-T=ma=0$ ∴匀速或静止

(2)要使$N_上=0$，运动情况？

$N_上=0$，$N_下=10N$

∴ $mg-T=ma$ ⇒ ……

轻绳、轻杆、弹簧：

1. 相同：
   - "轻"：m、G均不计
   - 任何情况下张力(弹力)处处相等
2. 不同：
   - (1)施力、受力：
     - 绳：沿绳的拉力
     - 杆：既可沿杆，也可不沿杆；可为拉力、支持力
     - 弹簧：沿弹簧的拉力或压力
   - (2)力的变化：
     - 绳：突变、瞬时性　　N(支持力)也会突变
     - 杆：突变、瞬时性
     - 弹簧：不能突变，但有瞬时性(即不同形变的瞬间，对应不同弹力)

PS：当弹簧自由端无重物时，形变消失不需要时间，即具有突变性。

必修2.第一章、抛体运动

第一节、曲线运动

一、定义：轨迹为曲线的运动。

二、速度方向：曲线在该点的切线方向。即知：曲线运动一定是变速运动（方向必变）。一定有a.

三、运动条件：$F_合$与v的方向不在同一直线上。

四、性质及分类：

1.性质：变速运动；$\Delta v \neq 0$ $\boxed{\Delta v = at = \frac{F_合}{m}t}$，即$\Delta v$与$F_合$、$a$的方向一致.
轨迹在v与F的夹角间，向F的方向弯曲。

2.分类：①匀变速曲线运动：$F_合 \neq 0$且恒定（抛物运动）

②非匀变速曲线运动：$F_合 \neq 0$且不恒定

五.速度大小的变化（抛物运动）

1. $\theta \leq 90°$时：$v\uparrow$ 2. $90° < \theta < 180°$时：$v\downarrow$ 当变化当$\theta \leq 90°$时同1.

第二节、运动的合成与分解

一、运动的合成（技巧：看$a_合$方向与$v_合$方向是否共线，再看$a_合$是否恒定）直线 or 曲线 匀变速 or 非匀变速

1.两个分运动为匀速直线运动，合运动一定为匀速直线运动。

2.两个分运动均为$v_0=0$的匀加速直线运动，合运动为$v_0=0$的匀加速直线运动。

3.一个分运动为匀速，另一个为匀变速直线运动，则合运动为匀变速曲线运动。

4.两个分运动为直线运动，则合运动不一定为直线运动。

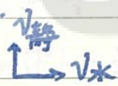
☆5.两个分运动为匀加速直线运动，则合运动为匀变速运动，但不一定为直线。

二、渡河问题

1.知识点：①实际的运动为合运动。②合运动、分运动具有等时性。独立性、等效性
③x、a、v都满足平行四边形定则。

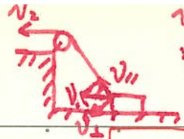
2. $v_静$、$v_水$、河宽为d.

①船头垂直于河岸

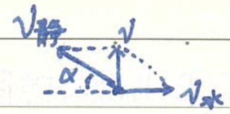


时间：$\boxed{t = \frac{x_实}{v_实} = \frac{d}{v_静}}$ 航程：$x_实 = \sqrt{v_静^2 + v_水^2} \cdot \frac{d}{v_静}$

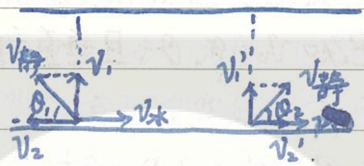
过河时间最短

绳(杆)端v分解模型:  $v_2=v_{\parallel}=v_1\cos\theta$

将物速沿平行于绳、垂直于绳分解

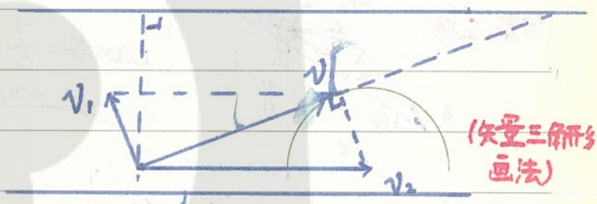
② 当$v_{静}>v_{水}$, 则$\boxed{x_{min}=d}$ 路径最短 

时间 $t=\frac{d}{v}=\frac{d}{v_{静}\sin\theta}$

③ 以任意方式渡河:  正交分解

$\therefore$ 时间: $t=\frac{d}{v_1(v_1')}$

☆④ 当$v_{静}<v_{水}$, 则$\boxed{x_{min}=d\cdot\frac{v_2}{v_1}}$



(矢量三角形画法)

$\therefore \frac{x}{v_2}=\frac{d}{v_1}$ 相似 $\therefore x_{min}=d\cdot\frac{v_2}{v_1}$

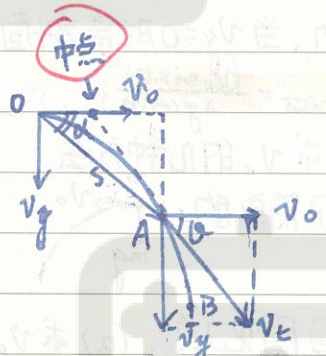
第三节. 平抛运动

一、什么是平抛运动?

将物体以一定的初速度沿水平方向抛出, 不考虑空气的阻力, 物体只在重力作用下所做的运动。

性质: $a=g$(向下)的匀变速曲线运动。

二、平抛运动的分析:



1. 水平方向: $x=v_0t$ (x由v_0、y决定) --- ①

2. 竖直方向: $\begin{cases} y=\frac{1}{2}gt^2 & (t\text{由}y\text{决定}) \text{---②} \\ v_y=gt & \text{---③} \end{cases}$

由①②消去t得: $\boxed{y=\frac{g}{2v_0^2}\cdot x^2}$ ---- ④

3. 合运动: ① $v_t^2=v_0^2+v_y^2$ (勾股定理) $\tan\theta=\frac{v_y}{v_0}=\frac{gt}{v_0}$ --- ⑤

② $s^2=x^2+y^2$ $\tan\alpha=\frac{y}{x}=\frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0t}=\frac{gt}{2v_0}$ --- ⑥

☆由⑤⑥: $\boxed{\tan\theta=2\tan\alpha}$

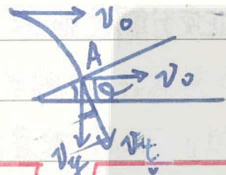
☆③ Δv $\begin{cases} \text{方向: 竖直向下} \\ \text{大小: } gt. \text{(在任何相等时间内的}\Delta v\text{相同)} \end{cases}$

4. 从$A\to B$: $\begin{cases} v_{By}=v_{Ay}+gt \text{ (但仍有}\Delta v=gt\text{)} \\ v_{By}^2-v_{Ay}^2=2g\,y_{AB} \end{cases}$

三、运用：

1. 求t的几种方法

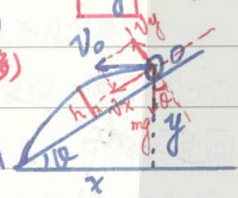
① (分解速度)



已知 v_0、g、θ，且垂直打在斜面上。

$\therefore v_y = v_0 \cot\theta = gt$.

② (分解位移)



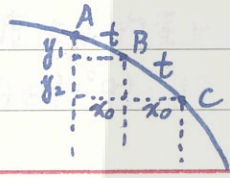
$\because \tan\theta = \frac{y}{x} = \frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0 t}$

$\therefore t = \frac{2v_0\tan\theta}{g}$

*2. 由 $\tan\alpha = 2\tan\theta$：

$v_y = 2v_0\tan\theta = gt$

③ 实验方法



A.B.C水平距离相等（即t相等）

$\therefore \boxed{\Delta y = y_2 - y_1 = gt^2}$

$\left(h_{max} = \frac{(v_0\sin\theta)^2}{2g\cos\theta}\right.$

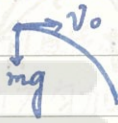
☆☆2. 图见上②. 已知 θ、v_0、g，求轨迹离斜面的最远距离。

斜着看，分解 v_0。垂直于斜面方向作初速为 $v_0\sin\theta$，$a = g\cos\theta$ 的匀变速直线运动，当 $v_y=0$ 时离斜面最远，即 $v_y^2 = 2ax \Rightarrow (v_0\sin\theta)^2 = 2g\cos\theta\cdot h_{max}$

$\therefore \boxed{h_{max} = \frac{(v_0\sin\theta)^2}{2g\cos\theta}}$

3. 求 v_0 的几种方法

①简单的：



$\begin{cases} x = v_0 t \\ y = \frac{1}{2}gt^2 \end{cases}$ $\therefore v_0 = \frac{x}{\sqrt{\frac{2y}{g}}} = x\cdot\sqrt{\frac{g}{2y}}$

②图见上③. (a) 求 v_0. $\begin{cases} v_0 = \frac{x_0}{t} \\ \Delta y = y_2 - y_1 = gt^2 \end{cases}$ (b) 求 $v_B = \sqrt{v_0^2 + v_{By}^2}$ 而 $v_{By} = \frac{y_1+y_2}{2t}$ (时间中点)

☆(c) 抛点位置→B： $v_{By} = g t_{OB} \Rightarrow$ 求出 $t_{OB} \Rightarrow \begin{cases} y_{OB} = \frac{1}{2}g t_{OB}^2 \\ x_{OB} = v_0 t_{OB} \end{cases} \Rightarrow$ 求出抛点

四、实验

1. 目的：①描轨迹。②求 v_0

2. 原理：①知抛点时：$\begin{cases} x = v_0 t \\ y = \frac{1}{2}gt^2 \end{cases}$ 计算即可.

②抛点未知：取水平距离相同的三点A.B.C.用左页的方法即可。

3.器材：小钢球、斜槽轨道、刻度尺、铅锤线、白纸、木板、铁架台、三角板、铅笔

4.注意事项：①斜槽末端切线水平。②同一位置静止释放。

③木板在竖直平面内。☆④斜槽轨道不一定要光滑。☆⑤若用凹槽接小球，凹槽向下平移不一定要等距。

第四节、斜抛运动

一、斜抛运动

1、定义：$v_0 \neq 0$，斜向上抛出，$a=g$的曲线运动。

2、特点：匀变速曲线运动；$\Delta v = gt$ ← 自由落体、竖直上抛、平抛、斜抛都一样。

二、处理：1、水平方向：以v_{0x}匀速 → $x = v_{0x}t$

竖直方向：竖直上抛：$\begin{cases} 上升: t_上 = \dfrac{v_{0y}}{g} = \dfrac{v_0\sin\theta}{g} \\ 下降: t_下 = \dfrac{v_0\sin\theta}{g} \end{cases}$

☆ $\boxed{x_全 = v_{0x}t_全 = v_0\cos\theta \cdot \dfrac{2v_0\sin\theta}{g} = \dfrac{v_0^2}{g}\sin 2\theta}$

即$\theta = 45°$时射程最远。

☆2、射高：$\boxed{H = y_{max} = \dfrac{v_0^2\sin^2\theta}{2g}}$　即v_0一定时，竖直上抛最高。

第二章、匀速圆周运动

第一节、圆周运动

一、匀速(率)圆周运动

1、定义：在圆周运动中，任何相等时间内运动的弧长相等。

2、线速度(速度)(v、矢量)

①方向：切线方向，时刻变化 ⇒ 变速运动

②大小：$\boxed{v=\frac{s}{t}}$ ↙弧长　　③意义：表运动快慢。

3. 角速度（ω，标量）

①定义：转过的角度φ与所用时间t的比值。

②表达式：$\boxed{\omega=\frac{\varphi}{t}}$，单位 rad/s.

在匀速圆周运动中，ω不变，即ω与φ、t无关。

③意义：表转动快慢。

4. 周期（T，标量）

①定义：运动一周所用时间。单位：s.

②匀速圆周运动中T不变。

③意义：表转动快慢。

5. 频率（f，标量）

①定义：单位时间内转动的圈数。

②表达式：$\boxed{f=\frac{1}{T}}$，单位：Hz（s^{-1}）

③意义：表转动快慢。

6. 转数（n，标量）

①定义：单位时间内转动的次数。（数量上等同f）

②单位：r/s、r/min

二、物理量间的关系：

$$v=\frac{2\pi R}{T} \Rightarrow v=\omega R$$

$$\omega=\frac{2\pi}{T} \Rightarrow \omega=\frac{2\pi}{T}=2\pi f=2\pi n$$

$$f=\frac{1}{T}=n$$

三、运用

1. 时、分、秒针长度为10cm、15cm、20cm，求：

① $\omega_{时}=\frac{2\pi}{T}=\frac{2\pi}{12\times3600}$；$\omega_{分}=\frac{2\pi}{T}=\frac{2\pi}{3600}$；$\omega_{秒}=\frac{2\pi}{T}=\frac{2\pi}{60}$

$\therefore \omega_{时}:\omega_{分}:\omega_{秒}=1:12:720$

② $v_{时}=\omega R$，$v_{分}=\omega R$，$v_{秒}=\omega R$

$\begin{cases}\text{皮带转动、齿轮转动、摩擦转动：}v\text{相同}\\ \text{同轴转动：}\omega\text{相同}\end{cases} \Rightarrow \begin{matrix} v=\omega r \\ a=\omega^2 r\end{matrix}$

★2. 理论：$\begin{cases}\text{同一转盘上的点：}\omega\text{相等}\\ \text{同一“皮带”上的点：}v\text{大小相等}\end{cases}$

3. 关于 $\omega=\frac{\varphi}{t}$ 的运用：$\varphi=\omega t$

$\boxed{T_A < T_B}$：A.B相距最近。经过多长时间相距最远或最近？

解：$\omega_A=\frac{2\pi}{T_A}$，$\omega_B=\frac{2\pi}{T_B}$

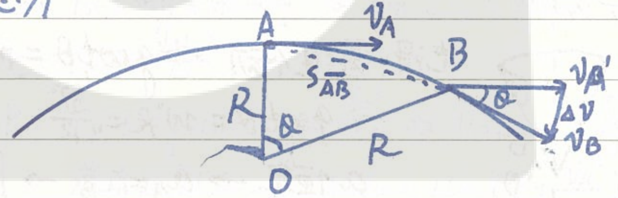
令t：$\varphi_A=\omega_A t$，$\varphi_B=\omega_B t$

$\left.\begin{matrix}\text{最远：}\Delta\varphi=\varphi_A-\varphi_B=\frac{2\pi}{T_A}t-\frac{2\pi}{T_B}t=2k\pi+\pi \\ \text{最近：}\Delta\varphi=2k\pi\end{matrix}\right\} k\in Z$

第二节、向心加速度与向心力

一、向心加速度

1.分析Δt内的Δv.



三角形相似：$\frac{\Delta v}{v}=\frac{S_{\overline{AB}}}{R} \rightarrow \Delta v=\frac{v}{R}\cdot S_{\overline{AB}} \rightarrow a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{v}{R}\cdot\frac{S_{\overline{AB}}}{\Delta t} \rightarrow$ Δt趋于0：

$\frac{S_{\overline{AB}}}{\Delta t}\approx v \rightarrow \boxed{a=\frac{v^2}{R}=\omega^2 R=\frac{4\pi^2}{T^2}R}$

巧记忆：运动学上：直线 $\begin{cases}a=\frac{v_t-v_0}{t}\\ a=\frac{v_t^2-v_0^2}{2x}\\ a=\frac{2(x-v_0t)}{t^2}\end{cases}$ 曲线 $\begin{cases}a=\frac{v^2}{R}\\ a=\omega^2 R\\ a=\frac{4\pi^2}{T^2}R\end{cases}$ $\boxed{a=\omega v}$

2. a的方向：$\Delta t\rightarrow 0$ 导致 $\theta\rightarrow 0$，所以 $\Delta v\perp v_A$，故a方向指向圆心。

3. 性质：是一个变加速曲线运动。

4. a的物理意义：描述线速度方向改变的快慢。

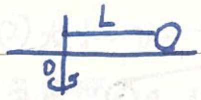
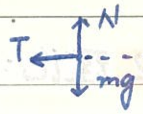
二、向心力

1.定义：做匀速圆周运动的物体受到的总是指向圆心的合外力。

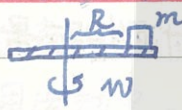
2. 向心力不一定实际存在，是一个效果力。

三、运用(匀速圆周运动)

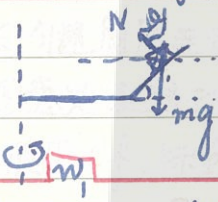
(见下页)　　² F合(大小恒定)始终与v垂直

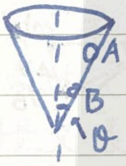
1.  v，光滑 ①选一个直观位置受力分析： 

②找圆心，建坐标系：
$$\begin{cases} y轴：mg-N=0 \\ x轴：T=m\frac{v^2}{L} \end{cases}$$

2.  相对静止 $f_{静}=m\omega^2R$

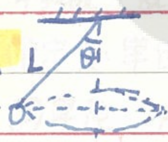
3. 相对静止 
$$\begin{cases} N=m\omega^2R \\ f_{静}=mg \\ f_{max静}=\mu N \end{cases}$$

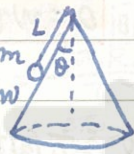
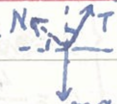
4. 
$$\begin{cases} N\cos\theta=mg \\ N\sin\theta=m\omega^2R \end{cases} \Rightarrow \boxed{g\tan\theta=\omega^2R}$$

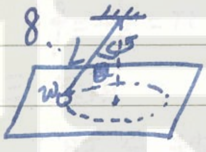
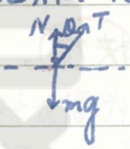
漏斗摆 5.  光滑，圆锥不动 $mg\cot\theta=m\omega^2R=m\frac{v^2}{R}$

$\therefore g\cot\theta=\omega^2R=\frac{v^2}{R}$

a恒定 $\rightarrow a_A=a_B \rightarrow \boxed{\begin{cases} \omega_A<\omega_B \\ v_A>v_B \end{cases}}$

圆锥摆 6. 
$$\begin{cases} mg\tan\theta=m\omega^2R \\ R=L\sin\theta \end{cases} \Rightarrow \boxed{\frac{g}{\cos\theta}=\omega^2L} \Rightarrow 转得越快，飞得越高$$

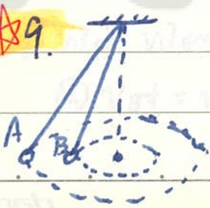
7.  光滑 
$$\begin{cases} mg-T\cos\theta-N\sin\theta=0 \\ T\sin\theta-N\cos\theta=m\omega^2R \\ R=L\sin\theta \end{cases}$$
请参考 $\Rightarrow$ "飞起来了" 

8.  光滑水平面。 
$$\begin{cases} N+T\cos\theta=mg \\ T\sin\theta=m\omega^2L\sin\theta \end{cases}$$
$\Rightarrow$ 当 $\omega\uparrow$ 则 $T\uparrow N\downarrow$

当 ω 达到 ω_0 时，$N=0$

参考 7.

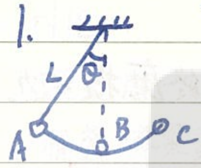
$\omega>\omega_0$：$T\sin\alpha=m\omega^2L\sin\alpha \Rightarrow T=m\omega^2L$

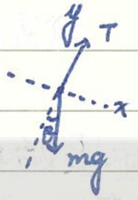
9.  由上6.知：$\frac{g}{\cos\theta}=\omega^2L \Rightarrow g=\omega^2\underbrace{\boxed{L\cos\theta}}_{高恒等} \Rightarrow \boxed{\begin{matrix} \omega_A=\omega_B \\ T_A=T_B \\ f_A=f_B \end{matrix}}$

绳(环)模型：无支撑；$v_{高}=\sqrt{gR}$ } 研究最高、最低：$F_{向}=\cdots$
杆(管)模型：有支撑；$v_{高}=0$. } 动能定理

四.再运用

1.

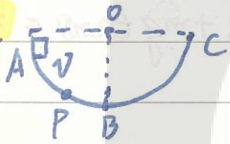




$$\begin{cases} T-mg\cos\theta=m\dfrac{v^2}{L} & (改变v方向) \\ mg\sin\theta=F_{x合} & (改变v大小) \end{cases}$$

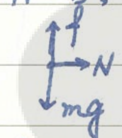
非匀速圆周运动中，合力不一定是向心力。

2.



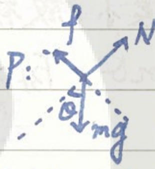
由A→B，v大小不变

A：



$N=m\dfrac{v^2}{r}$

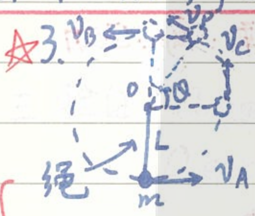
P：



$$\begin{cases} N-mg\cos\theta=m\dfrac{v^2}{r} \\ mg\sin\theta-f=0 \end{cases}$$

由A→P：N↑，f↓ 而 $f=\mu N$，故μ是变化的 μ↓

☆3.



竖直.

A：$T_A-mg=m\dfrac{v_A^2}{L}$

↓临界

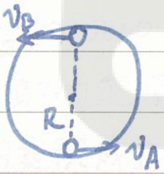
B：$T_B+mg=m\dfrac{v_B^2}{L} \Rightarrow \boxed{v_{B\,min}=\sqrt{gL}}$

C：$T_C=m\dfrac{v_C^2}{L}$

P：$T_P+mg\sin\theta=m\dfrac{v_P^2}{L} \Rightarrow \boxed{v_{P\,min}=\sqrt{gL\sin\theta}}$

绳(环)约束模型

4.



同"3" 若A处为μ：$f=\mu N_A=\mu m\left(g+\dfrac{v_A^2}{L}\right)$

☆5. 3图中绳改为轻杆：A：$T_A-mg=m\dfrac{v_A^2}{L}$

杆(管)约束模型

B：① $v_B=\sqrt{gL}$：$T_B=0$

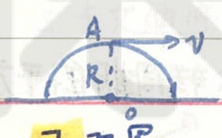
② $v_B>\sqrt{gL}$：$mg+T_B=m\dfrac{v_B^2}{L}$ 拉力：T_B

③ $v_B<\sqrt{gL}$：$mg-T_B=m\dfrac{v_B^2}{L}$ 支持力：T_B

↓临界

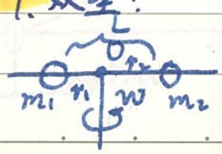
当 $v_B=0$：$T_B=mg$

6. 拱桥：A：$mg-N_A=m\dfrac{v^2}{R} \Rightarrow N_A=0$：$v_0=\sqrt{gR} \Rightarrow$ 貌似为平抛



若为平抛：$\begin{cases} R=\frac{1}{2}gt^2 \\ x=v_0t \end{cases} \Rightarrow$ ☆ $\boxed{x=\sqrt{2}R}>R \Rightarrow$ 飞出去了.

7. 双星：



W相等，F合相等：$m_1w^2r_1=m_2w^2r_2$，$m_1\dfrac{v_1^2}{r_1}=m_2\dfrac{v_2^2}{r_2}$

$$\therefore \boxed{\frac{r_1}{r_2}=\frac{m_2}{m_1},\ \frac{v_1}{v_2}=\frac{m_2}{m_1},\ \frac{a_1}{a_2}=\frac{m_2}{m_1}}$$

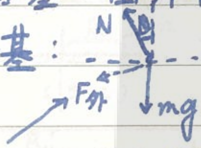
火车转弯速率小于v_0时：内轨受到压力会↑

五、特殊运用

1. 火车转弯

① 水平路基：由外轨对轮缘的弹力提供$F_{向}$，且始终磨损一边（不好）。

② 斜路基：



刚好合适的θ：v_0（规定速度）

$$mg\tan\theta = m\frac{v_0^2}{r} \Rightarrow ☆\ \boxed{v_0=\sqrt{gr\tan\theta}}$$

若 $v>v_0$：由于θ很小，故视为 $F_{外}\cos\theta \approx F_{外}$：$F_{外}+mg\tan\theta = m\frac{v^2}{r}$

若 $v<v_0$：$mg\tan\theta - F_{外} = m\frac{v^2}{r}$

2. 离心运动

① 俯视：

$T=m\frac{v^2}{r}$

当 $m\frac{v^2}{r} > T$：离心运动.

↑所需的 ↑所提供的

{ 供>需：向心运动
供<需：离心运动

{ ω、v变大：所需的$F_{向}$↑，原来的提供不足以维持，做离心运动
提供的力变小：所需的$F_{向}$不变，提供的不足以维持，做离心运动

第三章 万有引力定律

第一节 天体运动

一、日心说：哥白尼、伽利略

地心说：亚里士多德、托勒密

二、开普勒行星定律

1. 轨道定律：所有行星的轨道均为椭圆，太阳在椭圆的焦点上。
2. 面积定律：对任一行星来说，与太阳的连线在相等时间内扫过面积相等。

（近快远慢）

☆3. 周期定律：所有行星的轨道的半长轴的三次方与公转周期的平方的比值相等。$\boxed{\frac{R^3}{T^2}=k}$ k与恒~~量~~星质量有关

第二节、万有引力定律

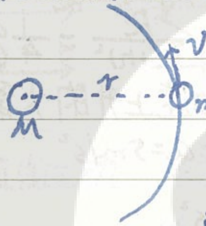
一、讨论：

1. 理想化：匀速圆周运动。

PS：任何物体间的万有引力都是同种性质的力

2. 猜想：苹果受地球的引力与月球受的引力是同种性质的力。

二、分析：



$$F_{引}=m\omega^2 r=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$$

$$=m\frac{4\pi^2}{r^2}\cdot\frac{r^3}{T^2}\quad \frac{r^3}{T^2}=k$$

$$\therefore F_{引}\propto\frac{m}{r^2}$$

对于太阳：$F_{引}'\propto\frac{M}{r^2}$

又∵牛三定律：$F_{引}=F_{引}'$

$$\therefore F\propto\frac{Mm}{r^2}$$

三、验证：

$a_{苹果}=g\approx9.8\,m/s^2$

$$a_{月球}=\frac{4\pi^2}{T^2}\cdot r_{月地}=\frac{4\pi^2}{(27\times24\times3600)^2}\cdot60\times6.4\times10^6$$

$$\approx2.7\times10^{-3}\,m/s^2$$

$\therefore \frac{a_{苹}}{a_{月}}\approx3600=60^2=r^2$ 故 $F\propto\frac{Mm}{r^2}$

四、万有引力定律：

任何两个物体之间都存在相互作用的引力，大小与两物的质量的乘积成正比，与这两物体之间的距离的平方成反比。

$\boxed{F=G\frac{m_1m_2}{r^2}}$ G为引力常量

①适用于质点；r也可指两均匀球体球心的距离。

② $r\to0$时，公式不适用。

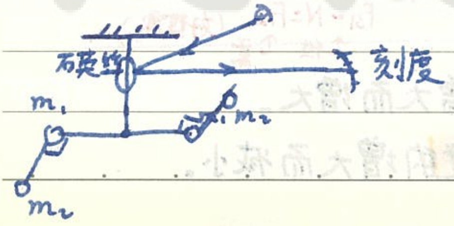
③万有引力具有普遍性、相互性、宏观性、特殊性（与所在空间性质无关，只与 m_1、m_2、r 有关）

五、引力常量G的测定

1. $F_{引}=G\frac{m_1m_2}{r^2}\Rightarrow G=\frac{F_{引}r^2}{m_1m_2}\Rightarrow$ 单位：$N\cdot m^2/kg^2$

2. 卡文迪许的扭秤实验（放大法）

① m_1、$m_2\Rightarrow$天平 ② $r\Rightarrow$刻度尺 ③ $F_{引}\Rightarrow$扭秤



已知石英丝的扭转力矩与扭转角度的关系

求出：$\boxed{G=6.67\times10^{-11}\,N\cdot m^2/kg^2}$

第三节、万有引力的运用(一)

一、关于重力与重力加速度：

1. $M_地 \to m$的重力与重力加速度(不考虑地球自转)：重力=引力

① 地球表面上：$mg_{地表} = \frac{GM_地 m}{R^2} \Rightarrow$ ☆ $\boxed{g = \frac{GM_地}{R^2}}$ (黄金公式)

② 距地球表面 $h=R$ 高：$g' = \frac{GM_地}{(R+h)^2} = g \times \frac{R^2}{(R+h)^2} = \frac{1}{4} g_{地面}$

例：一物在地面上重力16N，$g_{地表}=10m/s^2$。它在加速上升的火箭中视重为9N，求此时火箭距地面多高？（$a=5m/s^2$）

解：$N=9N$，mg'

$\therefore N - mg' = ma$ ； $\therefore g' = \frac{5}{8} m/s^2$

$\therefore mg' = 1N$ ； $\therefore g' = g_{地表} \times \frac{R^2}{(R+h)^2} \Rightarrow h = 3R$

2. 某星球的M为$M_地$的p倍，半径R为$R_地$的q倍，则该星球$g_{表面}$=?

$g' = \frac{GM'}{R'^2}$ $\begin{cases} M' = pM_地 \\ R' = qR_地 \end{cases}$ $\therefore g' = \frac{p}{q^2} \cdot g_{地表}$

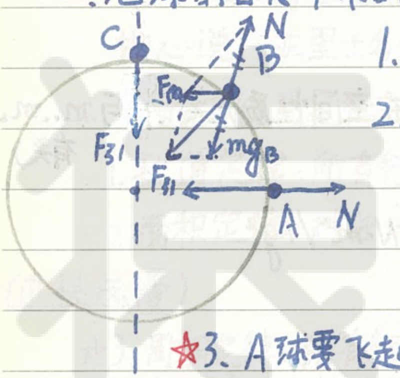
3. 认识g.

① 天体M的周围空间是天体M的场(引力场)；场是一种特殊的物质，具有能量。

② 引力场的基本性质：对放入其中的物体m有力(万有引力)的作用。

③ g是此位置的引力场强度；g由自身因素决定(M、R)。

二、地球的自转带来的影响(设ρ均匀，匀速圆周运动，m相对地面静止)



1. $F_引 = \frac{GMm}{R^2}$，大小不变

2. C球：$\because$ 静止 $\therefore N = F_引$

A球：匀速圆周：$F_向 = m\omega^2 R$，$F_引 = \frac{GMm}{R^2}$ $\Big\}$ $\boxed{F_引 - N = F_向}$（$N = mg_赤$）

B球：如图。（没有N.）

$F_引 = mg + F_向$
合力 分力 分力

☆3. A球要飞起来，则：$F_引 = F_向 \Rightarrow \frac{GMm}{R^2} = m\omega'^2 R \Rightarrow \omega' = \dots$（临界角速度）

$F_引 - N = F_向$ (好理解)
↑供 ↑需

☆此页总结：1、重力随地理位置变化：随纬度的增大而增大。

2. 重力随离地面的高度的变化而变化：随高度的增大而减小。

PS：1.在匀质球层的空腔内，任意位置处的质点受到球壳的万有引力为零。$\Sigma F=0$.
2.在均匀球体内部距球心 r 处的质点(m)受到的万有引力等于球体内半径为 r 的同心球体(M')对其的万有引力：$F=G\frac{M'm}{r^2}$

第四节.运用(二)

一、卫星：自然卫星、人造卫星

知识点：①视为匀速圆周运动。②设地球 M、R，卫星 m、$r=R+h$，有 v. w. T...

③ (近地时用 $\frac{GMm}{r^2}=mg$)

1.卫星绕地球地心匀速圆周：$\boxed{F_{引}=\frac{GMm}{r^2}=mg'=m\frac{v^2}{r}=mw^2r=m\frac{4\pi^2}{T^2}\cdot r}$

即：m全都消掉，求不出来；$a_{引}=g'=\boxed{a_{向}=\frac{GM}{r^2}}$（$r$越大，$a_{向}$越小）

2.由1.：$\frac{GM}{r^2}=\frac{v^2}{r}\Rightarrow\boxed{v=\sqrt{\frac{GM}{r}}=\sqrt{\frac{gR^2}{r}}}=\sqrt{g'r}$（$r$越大，$v$越小）

3.第一宇宙速度(环绕速度；近地卫星)

当 $r=R$ 时有 v_{max} $\therefore v_{max}=\sqrt{\frac{GM}{R}}=\sqrt{gR}\approx\boxed{7.9km/s}\stackrel{\text{记}}{=}v_1$

4.由1.：$\frac{GM}{r^2}=\frac{4\pi^2}{T^2}r\Rightarrow\frac{GM}{4\pi^2}=\frac{r^3}{T^2}$（开普勒第三定律）

还可得：$\boxed{T=\sqrt{\frac{4\pi^2r^3}{GM}}=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}}$（$r$越大，$T$越大）

当 $r=R$ 时有 T_{min} $\therefore T_{min}=2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}=2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}\approx5024s=\boxed{84min}$

5.总结：r与v. w. T一一对应

6.同步卫星：$T=24h\rightarrow r$一定，$r\approx42000km\rightarrow$为稳定，其轨道必须与赤道平面重合。常数据：$h=3.6\times10^7m$ ($\approx6R$)；$v=3.1km/s$；$a=0.23m/s^2$

7.气象卫星(极地卫星)

二、预言及求天体质量或密度

1.预言：
- ①哈雷彗星($T\approx75$年. 76年)
- ②海王星、冥王星

2.求M与ρ.

① $g=\frac{GM_{地}}{R^2}\Rightarrow M_{地}=\frac{gR^2}{G}\Rightarrow\boxed{\rho=\frac{M}{V}=\frac{3g}{4\pi GR}}\Rightarrow$知$R$. g. G可求ρ

② $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}\Rightarrow$知$v$. r. G只求得出$M_{地}$，因为不知道R.

③ $T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}\Rightarrow$知$T$. r. G只求得出$M_{地}$(不知R).

④若知贴地卫星T_0. $\Rightarrow M=\frac{4\pi^2R^3}{GT_0^2}\Rightarrow\boxed{\rho=\frac{3\pi}{GT_0^2}}$

低轨→高轨：重力势能↑，动能↓，机械能↑（点火提供能量）

三、发射卫星

1.发射：①当 $v \ll 7.9\ km/s$：平抛；②当 $v\uparrow$：$S_{水平}\uparrow$；

③当 $v=7.9\ km/s$ 时：$\frac{GMm}{R^2}=F_{向}=m\frac{v^2}{R}$ ⇒匀速圆周运动：发射卫星的最小速度（环绕地球的最大速度）

④当 $v>7.9\ km/s$ 时：$\frac{GMm}{R^2}<m\frac{v^2}{R}$ ⇒离心运动

☆2.变轨与姿态调整

（最终 v 比原来小）

从低轨进入高轨→加速，离心运动；在离心过程中，$F_{引}$ 做负功，要慢慢减速；要使在高轨上匀速圆周，需姿态调整，改变 v 的大小与方向

3.追及：内轨追外轨：内轨加速飞向外轨；外轨追内轨：外轨减速飞向内轨。

四、讨论：

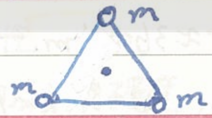
1.黑洞：由 $\frac{GMm}{R^2}=m\frac{v^2}{R}$ ⇒ ☆$\boxed{\rho=\frac{3v_1^2}{4G\pi R^2}}$ ⇒ 当 $v_1=c=3\times10^8 m/s$ 时都只能作匀速圆周运动 ⇒ 知 ρ 可求 R 或知 R 可求 ρ.

2.双星：① $\boxed{m_1w^2r_1=m_2w^2r_2}$ 且 $r_1+r_2=L$ （w、T 相同）

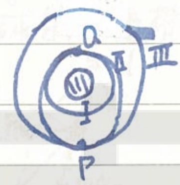
②对 m_1 有：$\frac{Gm_1m_2}{L^2}=m_1w^2r_1$ ③对 m_2 有：$\frac{Gm_1m_2}{L^2}=m_2w^2r_2$ $\frac{m_1}{m_2}=\frac{r_2}{r_1}$ $\frac{m_1}{m_2}=\frac{v_2}{v_1}$

④、②+③有：$\frac{GM_{总}}{L^2}=\frac{4\pi^2}{T^2}(r_1+r_2)$ ⇒ $\boxed{M_{总}=\frac{4\pi^2}{GT^2}L^3}$

3.三星：m 相等：



4.



有：① $v_{I}>v_{III}$

机械能：$E_1<E_2<E_3$
（周期：$T_1<T_2<T_3$）由开三定律得

☆② I上的Q与II上的Q：$a_{QI}=a_{QII}=\frac{GM}{R^2}$ 无法判定与7.9、11.2的关系

③ I上的Q与II上的Q：$v_{QI}<v_{QII}$ 相当于离心

④ II上的P与III上的P：$v_{PII}<v_{PIII}<7.9km/s$

5.发射速度：$v=7.9km/s$：近地圆周；$v\in(7.9,11.2)$：椭圆轨道

☆6. $\begin{cases}T_A=2\pi\sqrt{\frac{r_A^3}{GM}}\\ T_B=2\pi\sqrt{\frac{r_B^3}{GM}}\end{cases}$ 又：$\begin{cases}w_A=\frac{2\pi}{T_A}\\ w_B=\frac{2\pi}{T_B}\end{cases}$

∴最远：$w_At-w_Bt=2k\pi+\pi$，$k\in Z$

最近：$w_At-w_Bt=2k\pi$，$k\in Z$

PS：$11.2km/s \le v < 16.7km/s$：绕太阳椭圆

$v\ge16.7km/s$：飞出太阳系

第四章.机械能和能源

第一节.功

一.能(源)或有哪些能(量)?

电能、生物质能(化学能)、核能、机械能(动能:$E_k=\frac{1}{2}mv^2$(标量,不为负);势能:$E_p=mgh$(可为负),$E_p=\frac{1}{2}kx^2$(不为负))、内能(分子动能、分子势能)

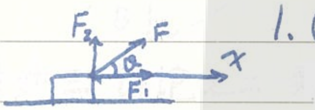
二.做功与能量的变化

1.做功的过程就是能量变化的过程。

2.做功的条件:F、力的方向上有x.

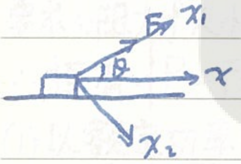
☆3.功是"能"转化的量度。

三.功的计算式



1.①$W_{F_1}=F_1x=F\cos\alpha\cdot x$(F为恒力) ①分解力

$W_{F_2}=0$ $W_F=W_{F_1}+W_{F_2}=W_{F_1}$



2.$W_F=Fx_1=Fx\cos\theta$ ②分解位移

3.单位:$N\cdot m=J$ $\boxed{W=Fx\cos\alpha}$ $0\le\alpha<\frac{\pi}{2}$:正功;$\frac{\pi}{2}<\alpha\le\pi$:负功;$\alpha=\frac{\pi}{2}$:不做功

4.标量、有正负

四.求合力做的功:

1.先求各分力的功,再求代数和。

2.先求合力,再求其功。(☆只适用合力为恒力的情况)

五.运用:

1.一物m自由下落h,空气阻力0.2mg。求W_{mg}、W_f、$W_合$。

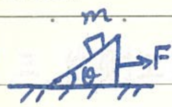
$W_{mg}=mgh$ $W_f=-0.2mgh$ $W_合=(mg-0.2mg)h$

2.

下滑。 $W_{mg}=mg\sin\theta\cdot x$. $W_N=0$ $W_f=\mu mg\cos\theta\cdot x$

$W_合=(mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta)\cdot x$

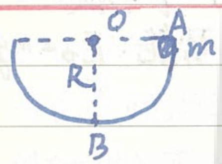
若匀速下滑:$F_合=0$ ∴ $W_合=0$

3. 

一起向右匀速运动x.　$W_{mg}=0$　$W_f=f\cos\theta\cdot x=mg\sin\theta\cdot\cos\theta\cdot x$

$W_N=-N\sin\theta\cdot x=-mg\cos\theta\cdot\sin\theta\cdot x$

$W_合=0$

4. 

光滑，由A→B：$W_{mg}=mgR$

$W_N=0$

$W_合=W_{mg}+W_N=mgR$

5. 

F为恒力，m右移x

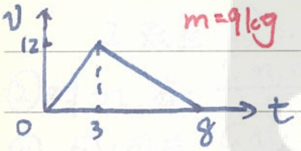
$$\begin{cases} W_F=F\cdot 2x=2F\cdot x \\ \boxed{W_{F'}=F'x+F'\cos\theta\, x} \end{cases}$$

6. 讨论作用力与反作用力做功关系：无必然关系

①两力都可不做功。②两力可能一个正功、一个负功，其数值不一定相等。

③两力一个做功，一个不做功也是可能的。④摩擦力怎样都可以。

7. 合力做功



m=9kg

0~3s：$W_F=72J$

3~8s：$W_{F'}=-72J$

∴ $W_合=0$

第二节 功率

一、功率(P)

1.定义：力做的功(W)与所用时间(t)的比。

2.表达式：$\boxed{P=\frac{W}{t}}$（平均功率）

3.标量，无 有正负 只有正；单位：瓦(W)、千瓦(kW)　1W=1J/s

4.意义：做功的快慢。

5.若P=1kW，t=1h，则 $W=Pt=1kW\cdot h=3.6\times10^6J=1$度电

二、讨论之一：

1.如果一恒力F，在F方向上运动x(直线)，用时t，则：

$$\begin{cases} W_F=Fx \\ P_F=\frac{W_F}{t}=\frac{Fx}{t}=F\cdot\frac{x}{t}=Fv \end{cases}$$
←求瞬时功率时只能用 $\boxed{P=Fv}$

当F、v不在一条直线上：$P=Fv\cos\alpha$

2. 若 v 为平均速度，则 P 为平均功率；若 v 为瞬时速度，则 P 为瞬时功率。若 F 大，v 大，由于夹角 α，则 P 不一定大。

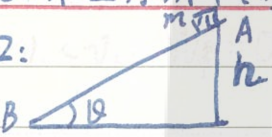
例1：一物 m 自由落体：

① ts内做功：$W_{mg}=mg\cdot\frac{1}{2}gt^2=\frac{1}{2}mg^2t^2$

② ts内重力的功率(平均)：$\bar{P}=\frac{W}{t}=\frac{1}{2}mg^2t=\overset{F}{mg}\cdot\overset{\bar{v}}{\frac{1}{2}gt}$

③ ts末重力功率(瞬时)：$P=mg\cdot gt=mg^2t$

例2：



光滑，由A→B

① 过程中：$W_{mg}=mgh$

② 过程中：$\bar{P}_{mg}=F\bar{v}=mg\sin\theta\sqrt{\frac{gh}{2}}$

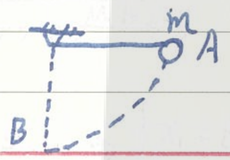
③ 达B时：$P_{mg}=Fv=mg\sin\theta\sqrt{2gh}$

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

$v=\sqrt{2gh}$

$\bar{v}=\frac{\sqrt{2gh}}{2}=\sqrt{\frac{gh}{2}}$

例3：



A→B，$P_{瞬}$：先↑后↓

三、讨论之二：关于机车启动问题(水平路面)

要求：阻力 f 大小恒定；发动机功率指 $F_{牵}$ 的功率。

∴恒有：$\boxed{P=F_{牵}\cdot v}$

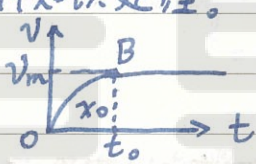
(1) 以额定功率(P_0)启动：　$f \longleftarrow\!\!\longrightarrow F_{牵}$

① 分析：由 $P=F_{牵}\cdot v$ ⇒ v 小，$F_{牵}$ 很大 ⇒ $F_{牵}-f=ma$ ⇒ v↑，$F_{牵}$↓ ⇒ 由 $F_{牵}-f=ma$：a↓ ⇒ 即做 a 减小的加速运动。

当 $a=0$ 时，有 v_{max}，此时 $F_{min}=f$ ⇒ 以后匀速。

注：不用运动学的知识处理。

② $v-t$ 图：



③ 可求：对B点有：$P=fv_{max}=Fv_{max}$；满足 $P=Fv$，则可求某时的：$a=\frac{\frac{P_0}{v}-f}{m}$；若知 t_0，则 $W_{牵}=P_0t_0$（不能用 $W_{牵}=F_{牵}x_0$，因为 $F_{牵}$ 为变力），

$W_f=-fx_0$，$W_{总}=W_{牵}+W_f$

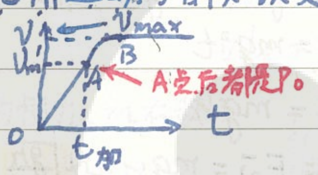
1、f对某物做功：$W=f x$（x为相对地面的位移）
2、f生热：$Q=f\cdot x_{相}$（$x_{相}$为两物之间相对位移）

(2) 以a恒定，匀加速启动：

①分析：由$F_{牵}-f=ma$得$F_{牵}=ma+f$（恒定）$\Rightarrow$由$P=F_{牵}v$，$P_{实}\uparrow$；又满足$v=at \Rightarrow P_{实}=F_{牵}\cdot at=(f+ma)\cdot at \Rightarrow$当$P_{实}=P_0$时，即有一个"最大速度"$v'_{max} \Rightarrow$达$v'_{max}$以后：加速度减小的加速运动。

注：匀加速过程能用运动学的知识处理。

② $v-t$图：



③可求：OA段有$v'_{max}=at_{加}$，$P=(f+ma)v'_{max} \Rightarrow v'_{max}$指OA段的最大速度，$t_{加}$指OA段的最长时间。

$$\begin{cases} A点：P_0=(f+ma)v'_{max} \\ B点：P_0=f v_{max} \end{cases}$$

四、讨论之三：

机车m，额定功率P_0，在斜面(θ)、水平面上f不变。均以P_0行使：

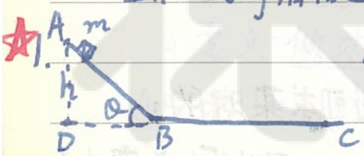
1. 水平面上v_1匀速：$\begin{cases} F_1=f \\ P_0=F_1 v_1 \end{cases}$

2. 上坡，v_2匀速：$\begin{cases} F_2=mg\sin\theta+f \\ P_0=F_2 v_2 \end{cases}$

3. 下坡，v_3匀速：$\begin{cases} F_3+mg\sin\theta=f \\ P_0=F_3 v_3 \end{cases}$

$\therefore v_3>v_1>v_2$，$F_2>F_1>F_3$

五、关于$f_{滑}$做功的问题

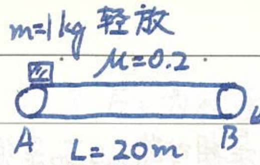


1. AB、BC的μ相同，AC水平距离S_0，求A→C克服$f_{滑}$做的功。

$$W_{AC}=\mu mg\cos\theta\cdot\frac{h}{\sin\theta}+\mu mg\cdot x_{BC} \leftarrow \cos\theta\cdot\frac{h}{\sin\theta}=\frac{h}{\tan\theta}$$
$$=\mu mg\left(\frac{h}{\tan\theta}+x_{BC}\right)$$
$$=\mu mg(x_{BD}+x_{BC})$$
$$=\boxed{\mu mg S_0}$$

$\therefore f_{滑}$做功与h、θ无关。

2.

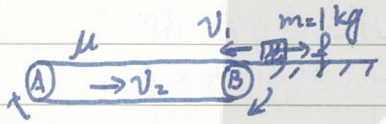


① 上学期：$A \to B$：$t=10.5s$

② $A \to B$，f 做功？ $W_f = f x_1 = 2\times1 = 2J$

f' 对带子做的功：$W_{f'} = -f' \cdot x_{带} = 2\times\boxed{2} = -4J$

3.

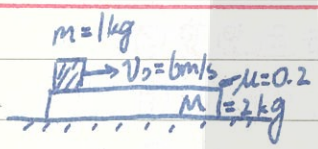


① 上学期：$\begin{cases} v_1 < v_2，返回平台时 v = v_1 \\ v_1 > v_2，返回平台时 v = v_2 \end{cases}$

② $v_1 < v_2$：$W_f = 0$ ③ $v_1 > v_2$：$W_f = E_末 - E_初 = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$

$= -\mu mg\frac{v_1^2}{2\mu g} + \mu mg\frac{v_2^2}{2\mu g}$

4.



地光滑，M原静止且足够长

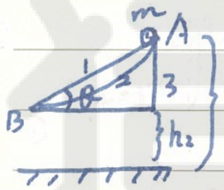
① 上学期：$\begin{cases} m: a_1 = \mu g = 2m/s^2 \\ M: a_2 = \frac{\mu mg}{M} = 1m/s^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} m: v_共 = 6-2t \\ M: v_共 = t \end{cases} \Rightarrow$

$\begin{cases} t=2s \\ v_共 = 2m/s \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = 6\times2 - \frac{1}{2}\times2\times2^2 = 8m \\ x_2 = \frac{1}{2}\times1\times2^2 = 2m \end{cases}$

② $W_f = -\mu mg \cdot x_1 = -16J$ $W_{f'} = \mu mg \cdot x_2 = 4J$

第三节、势能

一、重力做功的特点：



1. $A \to B$：$W_{mg} = mg \cdot x_1 \sin\theta$

$= mg(h_1 - h_2)$

$= mgh_1 - mgh_2$

结论：重力做功与路径无关，只与初、末位置高度差及质量有关。

2. 做功的过程就是某种能量变化的过程。

$W_{mg} = mgh_1 - mgh_2$

二、重力势能（E_p）

1. 定义：物体由于被举高而具有的能量。

2. 公式：$\boxed{E_p = mgh}$ 单位：J、kJ

3. 标量，有正负。

三、重力做功与重力势能的关系

E_p是相对的，ΔE_p是绝对的

1. $\Delta E_p = E_{p末} - E_{p初}$ ☆ΔE_p与零势面的选择无关。

2. $W_G = F \cdot x = mgh$ W_G与零势面的选择无关。

3. $W_G = mgh_1 - mgh_2$
$= E_{pA} - E_{pB}$ 结论：$\boxed{W_G = -\Delta E_p}$
$= -(E_{pB} - E_{pA})$
$= -\Delta E_p$

重力对物体做的功等于物体重力势能的减少量

四、讨论：

1. $E_p = mgh$，具有相对性；E_p属于"整个系统"。

2. 弹性势能(E_p)

(1) 定义：物体发生弹性形变所具有的能量。

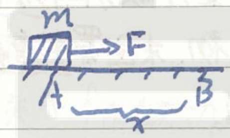
(2) 公式：$\boxed{E_p = \frac{1}{2}kx^2 > 0}$ 单位：J

3. 弹力做功与弹性势能的关系：$\boxed{W_弹 = -\Delta E_p}$

第四节 动能、动能定理

一、讨论合外力做功（包括重力）

1. 光滑水平面，$A \to B$ ($v_0 \to v_t$)，F为恒力。



① $W_合 = Fx$

② 上学期：$F = ma$ 和 $v_t^2 - v_0^2 = 2ax$

$\therefore W_合 = Fx = max = \frac{m(v_t^2 - v_0^2)}{2} = \frac{1}{2}mv_t^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$

2. 由1.中$W = \frac{1}{2}mv_t^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$，将$E_k = \frac{1}{2}mv^2$定义为动能。

二、动能(E_k)

1. 定义：物体由于运动具有的能量。（相对性）

2. 公式：$\boxed{E_k = \frac{1}{2}mv^2}$ 单位：J

速率

动能定理适用：①恒力、变力 ②直线、曲线 ③单个物体、整个系统 ③具体过程，全过程

3. E_k为标量，只有正值。

4. 一定质量的物体，速度变化，动能不一定变化；动能变化，速度一定变化。

三、动能定理：

1. 内容：合外力对物体做的功等于物体动能的变化。

2. 表达式：$\boxed{W=\Delta E_k}=E_{k2}-E_{k1}=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2$

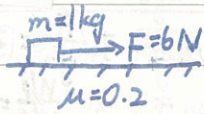
3. 优点：①无a、无t。②只需初、末位置。
   缺点：①无a、无t。②W依然需要过程。

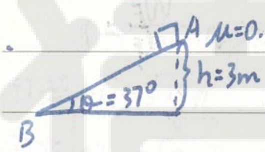
☆4. ① $F_合=0$，动能一定不变。
② 变速运动，$F_合$做功可能为0：匀速圆周。
③ $W_合\neq0$，v一定变化。
④ $W_合=0$，v可能变化：匀速圆周。
判断时考虑匀速圆周即可

☆5. 探究合外力做功与ΔE_k的关系的实验：（实验器材与上学期$F=ma$一样）
①确定$F_合$。②x好办。③$\Delta E_k=\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{1}{2}mv_A^2$，求$v_A$、$v_B$：用平均速度求。
↑与上学期方法相同（要平衡摩擦力）
一根橡皮筋拉车：W
两根……：$2W$
三根……：$3W$

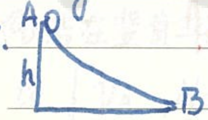
四、运用（一）

思路：①受力分析。②确定过程（W是过程量）。③确定初、末状态（E_k是状态量）

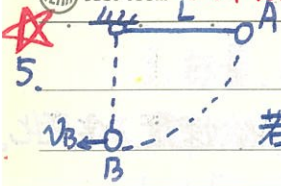
1. 
由静止运动$x=10m$时$v_t=?$
$W_合=\Delta E_k$ ∴ $(F-f)x=\frac{1}{2}mv_t^2-0$ ∴ $v_t=4\sqrt{5}\ m/s$

2. 
A静止下滑，$v_B=?$
$(mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta)x=\frac{1}{2}mv_B^2-0$
$mgh-\mu mg\cos\theta x=\frac{1}{2}mv_B^2-0$

☆3. $h=20m$，$v_0=10m/s$ 竖直上抛/竖直下抛/平抛/斜抛，求$v_落$。
$mgh=\frac{1}{2}mv_落^2-\frac{1}{2}mv_0^2$ $\boxed{∴ v_落(大小)一样。}$

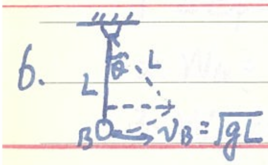
4. 
光滑。同3.

① 重力做功取决于初、末位置，与路径无关。
② 大小恒定的阻力或摩擦力的功 = $F\cdot x$(路程)
③ 弹簧弹力做功与路径无关。

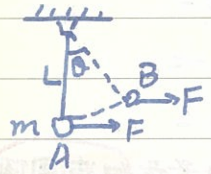
5.


① $v_B=\sqrt{2gL}$ ② $a_B=\frac{v_B^2}{L}=2g$ ③ $T_B=3mg$ 拉力

若缩短 L，①会变，②③都不变

6.


求最大偏角。 $-mgh=-mgL(1-\cos\theta)=0-\frac{1}{2}mv_B^2$

7.


在A点用一水平力F，使m缓慢地由A→B，求W_F。

$\begin{cases}F_A=0\\F_B=mg\tan\theta\end{cases}$ ⇐ 变化的 ⇒ 动能定理 ⇒ $W_F-mgL(1-\cos\theta)=0-0$

五. 运用(二)：一个物有多个过程：

1. 一物v_0向上抛出，空气阻力f恒定，求返回抛点速率v_t。

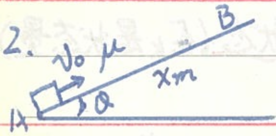
设最大高度为H.

上：$-mgH-fH=0-\frac{1}{2}mv_0^2$ ①

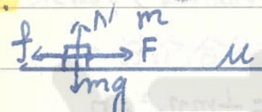
下：$mgH-fH=\frac{1}{2}mv_t^2-0$ ②

①+②：$-2fH=\frac{1}{2}mv_t^2-\frac{1}{2}mv_0^2$

∴处理方法：①分过程列 $W=\Delta E_k$。②全过程列 $W=\Delta E_k$.

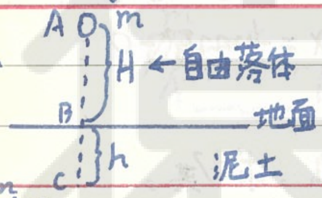
2.


求返回A的速率：$-2\mu mg\cos\theta\cdot x_m=\frac{1}{2}mv_t^2-\frac{1}{2}mv_0^2$

3.


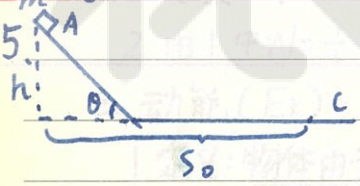
① F作用下运动x_0。② 撤去F运动了$3x_0$停止。求$\frac{F}{f}=?$ $\frac{W_F}{W_f}=?$

全过程：$Fx_0-f\cdot4x_0=0-0\Rightarrow\frac{F}{f}=4,\ \frac{W_F}{W_f}=1$

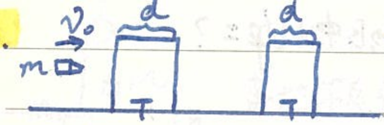
4.


求泥土对m的平均阻力

$mg(H+h)-fh=0-0$

5.


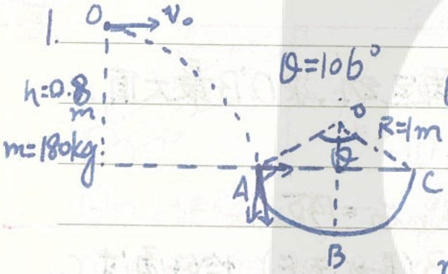
求v_c。 $\boxed{mgh-\underbrace{\mu mgs_0}_{\text{见前面}}=\frac{1}{2}mv_c^2-0}$

☆6. 

子弹重力不计，木块相同，$v_0 = 700m/s$，穿过第一块后 $v_1 = 600m/s$，则一共可以穿过多少块？

$\begin{cases} 总动能：\frac{1}{2}mv_0^2 \\ 穿一块减少动能：\frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 \end{cases} \Rightarrow \frac{x}{d} = \frac{\frac{1}{2}mv_0^2}{\frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv_1^2} = \frac{v_0^2}{v_0^2 - v_1^2} = \frac{7^2}{7^2 - 6^2}$

☆ 六、运用(三)：一个物体，涉及圆周运动：沿圆心方向满足 $F_{向} = m\frac{v^2}{R}$.

1. 

A点时 v_A 刚好与圆相切

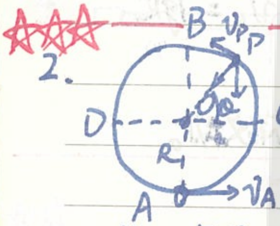
① $v_{Ay}^2 = 2gh \Rightarrow v_{Ay} = 4m/s \Rightarrow v_a = v_{Ay}\cot 53° = 3m/s$

② 求 N_A：$v_A = 5m/s \Rightarrow N_A - mg\cos 53° = m\frac{v_A^2}{R} \Rightarrow N_A = \cdots$

③ 求 N_B：由动能定理：

$mgR(1-\cos 53°) = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2$

v_B 代入：$N_B - mg = m\frac{v_B^2}{R} \Rightarrow N_B = \cdots$

☆☆☆ 2. 

光滑，球在内轨。

① $v_A = \sqrt{6gR}$，$N_A = $ 7mg。 ② $v_B = \sqrt{2gR}$，$N_B = $ mg。

③ $v_C = \sqrt{4gR}$，$N_C = $ 4mg。

④ 若在竖直平面内圆周运动，则 $v_{Amin} = ?$

B点：$v_{Bmin} = \sqrt{gR}$ 由 $A \to B$：$-2mgR = \frac{1}{2}mv_{Bmin}^2 - \frac{1}{2}mv_{Amin}^2 \Rightarrow \boxed{v_{Amin} = \sqrt{5gR}}$

⑤ 若 $v_A = \sqrt{6gR}$，求 N_B。 $A \to B$：$-2mgR = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 \Rightarrow v_B^2 \Rightarrow N_B + mg = \frac{v_B^2}{R}$

⑥ 若 $\boxed{v_A = \sqrt{4gR}}$，求在何处离开轨道。

设P处。有 $N_P = 0$ $\therefore mg\sin\theta = m\frac{v_P^2}{R}$

$\therefore A \to P$：$-mgR(1+\sin\theta) = \frac{1}{2}mv_P^2 - \frac{1}{2}mv_A^2$ } 联立解可得 $\sin\theta$.

⑦ 若 $v_A = \sqrt{2gR}$，求达到的最大高度：$-mgh = 0 - \frac{1}{2}mv_A^2 \Rightarrow$ 达到C

⑧ 若 $\boxed{v_A = \sqrt{gR}}$，求 h_{max}：$-mgh = 0 - \frac{1}{2}mv_A^2 \Rightarrow h_{max} = \frac{R}{2}$

☆PS：$v_A \geq \sqrt{2gR}$，可以到CD上方，有④⑤⑥；且离开轨道时必有速度无N。

$v_A < \sqrt{2gR}$，可以在CD下方，有⑦⑧；且停下时无v有N。

☆⑨ 若在竖直平面内圆周运动：求 $\Delta N = N_A - N_B$。

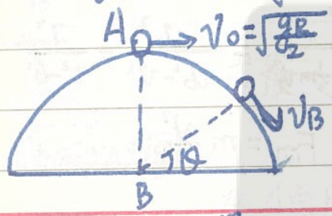
设 $\begin{cases} v_A：N_A - mg = m\frac{v_A^2}{R} \\ v_B：N_B + mg = m\frac{v_B^2}{R} \end{cases}$ 又 $\because A \to B$：$-2mgR = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2$

联立解得 $\boxed{\Delta N = N_A - N_B = 6mg}$ 与 v_A、v_B 无关

⑩若有f，$v_A=\sqrt{6gR}$，运动到B点，恰通过B点，求A→B中$W_f=?$

$v_B=\sqrt{gR} \Rightarrow -2mgR+W_f=\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{1}{2}mv_A^2$

3.

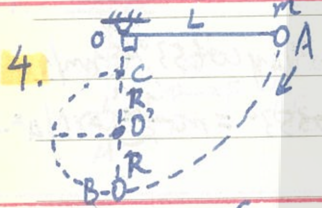


光滑 A→B: $mgR(1-\sin\theta)=\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{1}{2}mv_0^2$

B点: $mg\sin\theta-N_B=m\frac{v_B^2}{R}$

当$N_B=0$，可求出$\sin\theta$。

4.

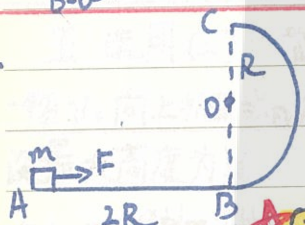


O'为钉子，要使碰钉子后仍能圆周运动，求O'B最大值。

对全过程使用动能定理(A→C):

$mg(L-2R)=\frac{1}{2}mv_C^2-0$ 而$v_{C\min}=\sqrt{gR}$

5.



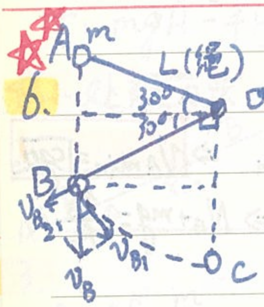
均光滑，A静止；F恒定且作用到B(B→C无F)，恰好通过C。

求：①F。$-2mgR+F\cdot 2R=\frac{1}{2}mv_C^2-0$ $v_C=\sqrt{gR}$

$\therefore F=\frac{5}{4}mg$

②从C平抛，$v_{落}=\sqrt{5gR}=v_B$ 原因：全程mg不做功。

6.



f不计，A静止，求T_C。

A→B：自由落体，都为30°时才拉直绳子。

$\therefore v_B=\sqrt{2gL}$ $\therefore v_{B_1}=\frac{\sqrt{6gL}}{2}$

B→C: $mg\frac{L}{2}=\frac{1}{2}mv_C^2-\frac{1}{2}mv_{B_1}^2 \Rightarrow v_C^2=\frac{5}{2}gL$

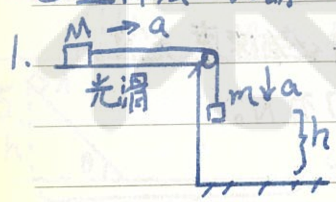
$\therefore T_C-mg=m\frac{v_C^2}{L} \Rightarrow T_C=\frac{7}{2}mg$

七、运用(四)：两个及其以上的连结体：

知识点：①受力分析(隔离法)。②找出v(速率)的关系。③分别用动能定理。

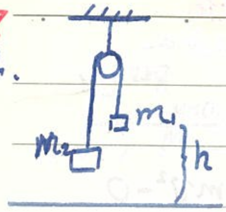
④整体法：$W_{动}+W_{阻}=\Delta E_{k1}+\Delta E_{k2}$

1.



求$v_{m落}$。
$$\begin{cases} m: mgh-Th=\frac{1}{2}mv_{m落}^2-0 \\ M: Th=\frac{1}{2}Mv_M^2-0 \end{cases}$$
而$v_{m落}=v_M$

$\therefore$ 相加：$\boxed{mgh=\frac{1}{2}(m+M)v_{m落}^2-0}$

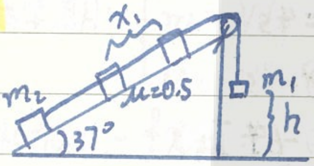
2. 

$m_1>m_2$，绳足够长，f不计，静止释放，求m_2上升最大高度（m_1落地不反弹）

① 设v达到地面：$m_1gh-m_2gh=\frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2-0$

② m_1落地后，m_2竖直上抛h_0：$h_0=\frac{v^2}{2g}$

$\therefore h_{max}=h+h_0=\cdots$

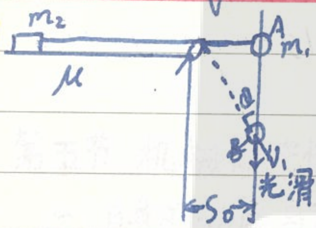
3. 

斜面足够长，静止释放，m_1落地时绳断。求m_2返回斜面底端时的速率。

① 落地前：$m_1gh-m_2gh\sin\theta-\mu m_2gh\cos\theta=\frac{1}{2}(m_1+m_2)v_t^2-0$

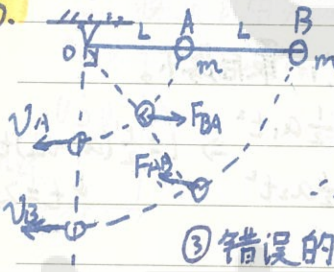
② m_2继续上升：$-(m_2g\sin\theta+\mu m_2g\cos\theta)x_1=0-\frac{1}{2}mv_t^2$

③ 返回：$(m_2g\sin\theta\mp\mu m_2g\cos\theta)(x_1+h)=\frac{1}{2}m_2v_{落}^2-0$

4. 

静止释放，求B时m_1，m_2的速率v_1、v_2。

$$\begin{cases} v_1\cos\theta=v_1'=v_2 \\ m_1gs_0\cot\theta-\mu m_2g\left(\frac{s_0}{\sin\theta}-s_0\right)=\frac{1}{2}mv_1^2-0+\frac{1}{2}mv_2^2-0 \end{cases}$$

5. 

轻杆

① $\because \omega_A=\omega_B\quad \therefore v_B=2v_A$

② $mgL+mg\cdot 2L=\frac{1}{2}mv_A^2-0+\frac{1}{2}mv_B^2-0$

$\therefore v_A=\sqrt{\frac{6}{5}gL}$，$v_B=2\sqrt{\frac{6}{5}gL}$

③ 错误的：$\begin{cases} mgL=\frac{1}{2}mv_A'^2-0 \Rightarrow v_A'=\sqrt{2gL} \\ mg2L=\frac{1}{2}mv_B'^2-0 \Rightarrow v_B'=\sqrt{4gL} \end{cases}$　$v_A'>v_A$　$v_B'<v_B$

④ 是因为L_{AB}对A做了负功，对B做了正功。

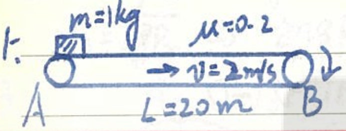
⑤ 隔离法：$\begin{cases} mgL+W_{FBA}=\frac{1}{2}mv_A^2-0 \\ mg\cdot 2L+W_{FAB}=\frac{1}{2}mv_B^2-0 \end{cases}$　可求出杆AB的什么什么功。

$f_{静}$做功：相互作用的一对 $f_{静}$ 做功代数和总为0，且无内能的变化
$f_{滑}$做功：一对 $f_{滑}$ 做功代数和总为负，一定会生热

$f_{滑}$对物体做功 ≠ 系统内能变化

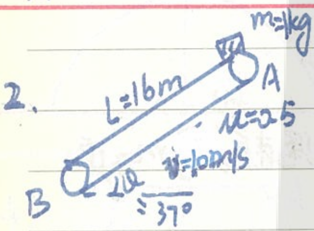
↑ $f x_{物}$(对地面)　↑ $f x_{相}$

八、运用(五)：传送带问题

1.


物块轻放($v_0=0$)

① A→B，f对物做功：$W_f = \mu mg \cdot x_1 = 2J = \frac{1}{2}mv^2 - 0$（匀加速）

2.


物轻放(上学期) ①顺时针：一直匀加速，$a_1 = 2m/s^2$

$$\begin{cases} L = \frac{1}{2}a_1 t^2 \Rightarrow t = 4s \\ v_B = a_1 t \Rightarrow v_B = 8m/s \end{cases}$$

$W_f = -\mu mg\cos\theta \cdot L = -64J$

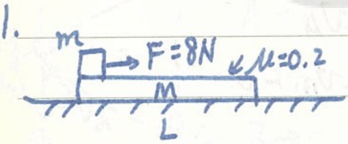
②逆时针：先 $a_2 = 10m/s^2$ 匀加速1s，后 $a_3 = 2m/s^2$ 匀加速至B.

$$\begin{cases} v = a_2 t_2 \Rightarrow t_2 = 1s \\ x_1 = \frac{1}{2}a_2 t_2 \Rightarrow x_1 = 5m \end{cases} \quad \begin{cases} x_2 = 11m = vt_3 + \frac{1}{2}a_3 t_3^2 \Rightarrow t_3 = 1s \\ v_B = v + a_3 t_3 = 12m/s \end{cases}$$

$$\therefore \begin{cases} W_{f\,A\to B} = fx_1 - fx_2 = -24J \\ mgh + W_f = \frac{1}{2}mv_B^2 - 0 \end{cases}$$

九、运用(六)：两个有相互联系的物体

知识点：①隔离法受力分析。②分别用 $W = \Delta E_K$。

1.


地光滑。m=1kg，M=2kg，L=10m，m最后落下。

m: $a_1 = \frac{F-f}{m} = 6m/s^2$

M: $a_2 = \frac{f'}{M} = 1m/s^2$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = \frac{1}{2}a_1 t^2 \\ x_2 = \frac{1}{2}a_2 t^2 \end{cases} \Rightarrow L = \frac{1}{2}(a_1 - a_2)t^2 \Downarrow t = 2s.$$

进一步：
$$\begin{cases} x_1 = \frac{1}{2}a_1 t^2 = 12m \\ v_1 = a_1 t = 12m/s \end{cases} \quad \begin{cases} x_2 = \frac{1}{2}a_2 t^2 = 2m \\ v_2 = a_2 t = 2m/s \end{cases}$$

本学期：$W_F = F\cdot x_1 = 8\times 12 = 96J$；$W_f = -f\cdot x_1 = -2\times 12 = -24J$；

$W_{f'} = +f'\cdot x_2 = +2\times 2 = +4J$；$\Delta E_{k1} = \frac{1}{2}mv_1^2 - 0 = W_F - W_f = 72J$

$\Delta E_{k2} = \frac{1}{2}Mv_2^2 - 0 = 4J = W_{f'}$

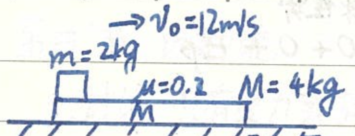
即：
$$\begin{cases} Fx_1 - fx_1 = \frac{1}{2}mv_1^2 - 0 \\ f'x_2 = \frac{1}{2}Mv_2^2 - 0 \end{cases}$$
$\Downarrow$

$Fx_1 - Q_{热} = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}Mv_2^2 + 0 + 0$

☆
$$\begin{cases} 开始：E_{总} = 0 \\ 最后：E_{总}' = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}Mv_2^2 + 0 + 0 = 76J \\ W_F = 96J \\ Q_{热} = |W_f + W_{f'}| = 20J = \boxed{f\cdot x_{相}} = 2\times 10J \end{cases}$$

对于绳子突然绷紧，物体落在地上，物体间发生非弹性碰撞时，机械能有损失，不能直接使用机械能守恒定律。

2.



M足够长。

$$\begin{cases} m: a_1=\frac{f}{m}=\mu g=2m/s^2 \\ M: a_2=\frac{f'}{M}=1m/s^2 \end{cases} \Rightarrow v_共=v_0-a_1t=a_2t \Rightarrow t=4s$$

$v_共=4m/s$

$$\therefore \begin{cases} x_1=\bar{v}t=32m \\ x_2=\bar{v}t=8m \end{cases} \Rightarrow x_相=32-8=24m$$

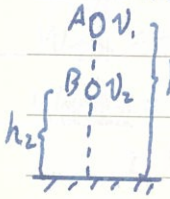
本学期：
$$\begin{cases} m: W_f=-f\cdot x_1=-128J=\frac{1}{2}mv_共^2-\frac{1}{2}mv_0^2 \\ M: W_{f'}=f'\cdot x_2=32J=\frac{1}{2}Mv_共^2-0 \end{cases}$$

相加：$-fx_相=\underbrace{\frac{1}{2}(m+M)v_共^2}_{末状态总能}-\underbrace{\frac{1}{2}mv_0^2}_{初状态总能}=-96 \Rightarrow Q_热=96J$

第五节. 机械能守恒定律 （机械能=动能+势能）

一、自身的动能与势能可以相互转化

二、探究自由落体中的动能定理运用



$A\to B$：$mg(h_1-h_2)=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2$

$\therefore \underbrace{\frac{1}{2}mv_1^2+mgh_1}_{A处机械能}=\underbrace{\frac{1}{2}mv_2^2+mgh_2}_{B处机械能} \Rightarrow E_1=E_2$

1、内容：在只有重力或弹力做功的物体系统内，动能和势能会发生相互转化，但机械能总量保持不变。

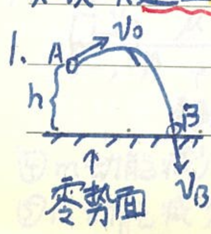
2、表达式：$E_{k1}+E_{p1}=E_{k2}+E_{p2} \Rightarrow \boxed{E_1=E_2} \Rightarrow \Delta E=0$

$\Rightarrow \boxed{\Delta E_k=-\Delta E_p} \Rightarrow \Delta E_k+\Delta E_p=0$

三、运用(一)

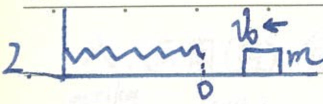
知识：1.建立零势面。2.找出初、末的E_1、E_2。

1.



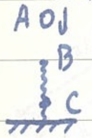
动能定理：$mgh=\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{1}{2}mv_0^2$

机械能守恒：$mgh+\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_B^2+0$

2. 
机械能守恒：$\underset{\text{动}}{\frac{1}{2}mv_0^2}+\underset{\text{重力势}}{0}+\underset{\text{弹性势}}{0}=0+0+E_p$

3. 如何判定物体机械能守恒？

(1) 动能＋势能是否恒定（增减分析法）。(2) 除重力外无其他力做功（或做功抵消）。(3) 举反例可用匀速下落。(4) 能量转化分析法

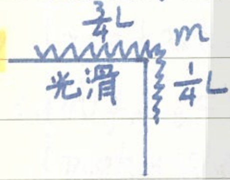
4. 
空气阻力不计。① A→B：小球机械能守恒。

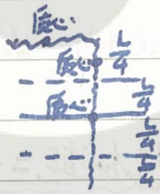
② B→C：小球机械能↓，弹簧做负功。

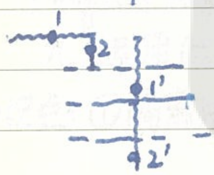
③ B→C：重力势能与弹性势能之和：先↓后↑。

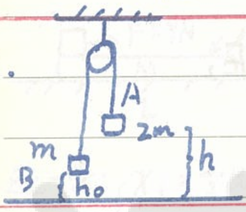
原因：系统中，$E_k+E_p=$恒量，E_k先↑后↓，故E_p先↓后↑

四、运用（二）：连结体

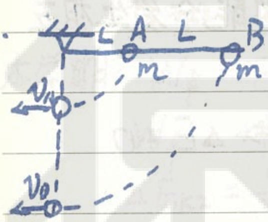
1. 
当刚掉下时，v?


机械能：
$\frac{1}{4}mg\times\frac{3}{8}L+\frac{3}{4}mg\times\frac{L}{2}=\frac{1}{2}mv^2+0$


分两段，动能定理：
$\frac{1}{4}mg\times\frac{3}{4}L+\frac{3}{4}mg\times\frac{3}{8}L=\frac{1}{2}mv^2-0$

2. 
动能定理：$2mgh-mgh=\frac{1}{2}\cdot3mv^2-0$

机械能：$0+2mgh+mgh_0=\frac{1}{2}\cdot3mv^2+0+mg(h+h_0)$

3. 
前面有：$v_B=2v_A$

动能定理：$mgL+mg\cdot2L=\frac{1}{2}mv_B^2-0+\frac{1}{2}mv_A^2-0$

机械能：$mg\cdot2L+mg\cdot2L=\frac{1}{2}mv_B^2+0+\frac{1}{2}mv_A^2+mgL$

① 守恒：$E_{k1}+E_{p1}=E_{k2}+E_{p2}\Leftrightarrow E_1=E_2$（需零势面）} 处理单个物体

② 转化：$\Delta E_k=-\Delta E_p$ } 不需零势面

③ 转移：$\Delta E_{A增}=\Delta E_{B减}$ } 处理连结体

总结：重力做功：$W_G=-\Delta E_p=mgh$　　除mg、F弹其他力做功：$W_{其}=\Delta E=\Delta E_k+\Delta E_p$

☆☆弹力做功：$W_{弹}=-\Delta E_p=\frac{1}{2}kx^2$　　滑动摩擦生热：$Q=F_f\cdot x_{相}$　　(一般都采用动能定理)

合力做功：$W_{合}=\Delta E_k$　　静电力做功：$W_{AB}=-\Delta E_p$

第五节.功和能

一、讨论：只有重力或弹力做功过程中(自由落体)：

1.过程：$mg(h_1-h_2)=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2$

$$E_{k1}+E_{p1}=E_{k2}+E_{p2}$$

$$E_1=E_2\ ,\ \Delta E=0$$

$$\Delta E_k=-\Delta E_p\ ,\ \Delta E_k+\Delta E_p=0$$

2.结论：系统机械能守恒。

二、讨论：除重力、弹力，有其他力做功：

1. $W_G+W_{弹}+W_{其他}=\Delta E_k$

$\therefore -\Delta E_{p重}-\Delta E_{p弹}+W_{其他}=\Delta E_k$

$\therefore \boxed{W_{其他}=\Delta E_k+\Delta E_{p重}+\Delta E_{p弹}=\Delta E}$

2、结论：其他力做的功等于系统机械能的变化。

三、运用

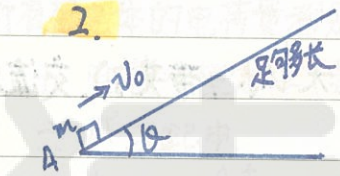
☆1. m，以$a=\frac{1}{3}g$匀减速下降h(阻力f).有：$(W_f=-\frac{4}{3}mgh)$

$W_{mg}=mgh$　；　$\Delta E_p=-mgh$　；　$\Delta E_k=-\frac{1}{3}mgh=W_f-\Delta E_p$

$W_{合外}=-\frac{1}{3}mgh=W_{mg}+W_f$　；　$\Delta E=-\frac{4}{3}mgh$　；

$W_{除重力}=W_f=-\frac{4}{3}mgh$

2.



$E_{k初}=100J$冲上，当动能减少80J，机械能减少20J，求返回底端的E_k。

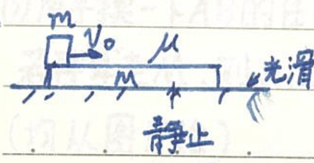
$$\begin{cases} W_{合}=\Delta E_k \Rightarrow 由\ 100J\xrightarrow{x_1}20J\xrightarrow{x_2}0 \quad x_1=4x_2 \\ W_{其他}=\Delta E \Rightarrow 由\ 100J\xrightarrow{x_1}20J\xrightarrow{x_2}0 \quad x_1:20J \quad x_2:5J \end{cases}$$

$\therefore$ 上去：$W_f=25J$，下来：$W_f=25J$，$W_{f总}=-50J=\Delta E=E_{k末}-E_{k初}$ (返回后重力不做功)

$\therefore E_{k末}=50J$

四.易错的问题

☆1.



①m受f对它做功等于它动能变化。(√)

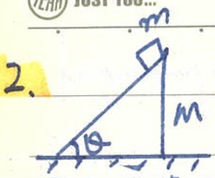
②M受f'做功等于其动能变化。(√)

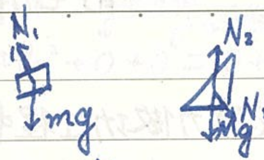
③m克服f做功等于f'对M做的功。(×)

④m动能减少量等于M动能增量。(×)

⑥m动能减少量等于M动能增量与系统机械能减少量之和。(√)

⑤m动能减少量等于M动能增量与系统内能增量和。(√)

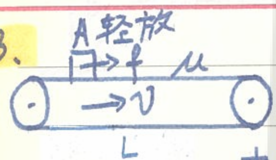
2. 

均光滑、静止释放。 m: 

① 运动情况：m向斜面下加速，M向右加速。

② $\boxed{W_{N_1}<0，W_{N_1'}>0}$ (正功) 分析：M的E↑，由于系统的E守恒，

∴ m的E减少 → $W_{其}=\Delta E$ → N_1做负功

3. 

理想电动机，m可达到v，则每传送完一个消耗电能$\Delta E_{电}$=?

$m: fx_1=\frac{1}{2}mv^2-0$ $M: -fx_2+W_{电}=0-0$

由平均速率：$x_1=\frac{1}{2}\times vt$ $x_2=vt$ ∴ $x_2=2x_1$

∴ $W_{电}=fx_2=2fx_1=mv^2$ 消耗电能$\Delta E_{电}=mv^2$

☆电能提供于：① m动能↑ ② 内能 此题中①②正好相等，为$\frac{1}{2}mv^2$

{传送带做功：$W=F\cdot x_{传}=\Delta E_k+\Delta E_p+Q$
{产生的内能：$Q=fx_{相}$

五、实验：验证机械能守恒定律

1. 原理：以自由落体运动验证。

① $v_0=0$：先通电，再放纸带 ⇒ ☆判定：开头两点间距约为：$h=\frac{1}{2}gt^2=0.002m=2mm$

{大于2mm：先放纸带再通电
{小于2mm：有摩擦

② 从O→A：{$\Delta E_p=mgh$ (看做势能减少量)
{$\Delta E_K=\frac{1}{2}mv_A^2-0$ ⇐ v_A一定用平均速度求

↓答：克服阻力做功 ↑不能用$v=gt=\sqrt{2gh}$

③ ∵有f，则$\Delta E_p>\Delta E_K$ $mg-f=ma$ (可选m稍大的)

④ 也可选取中间两点验证。$mg\Delta h=\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{1}{2}mv_A^2$

2. 器材：铁架台、打点计时器(复写纸)、纸带、重物(m大V小，带夹子)、交流电源、刻度尺(mm)…

3. 注：① 先通电后放纸带。重物停靠在打点计时器附近

② $mgh=\frac{1}{2}mv_A^2$ ⇒ $gh=\frac{1}{2}v^2$ ⇒ $\frac{1}{2}v^2-h$图像的$k=g$。

☆③ 求出a ⇒ 若知m ⇒ $\boxed{mg-f=ma}$ 可求f (m可选稍大的)

④ 若用斜面验证：不用平衡摩擦力；必须知道θ。

六、能量转化与守恒定律

1. (内容略)表达式：$\boxed{E_{初}=E_{终}}$；$\boxed{\Delta E_{增}=\Delta E_{减}}$

☆2. 某种能减少，一定有等量的另一种能增加；
某个物体能量减少，一定有等量的另一物体能量增加。

结论：在误差允许范围内，自由落体运动过程机械能守恒。

电荷作用时两物体相互吸引：①带异种电荷。②带电体吸引不带电体。

第六节、能源的开发与利用(略)

选修3-1

选修3-1.第一章、静电场

第一节、电荷及其守恒定律

一、物质的组成

1、物质由原子组成，原子由原子核、核外电子组成，原子核由质子、中子组成，质子、中子固定不动。

2.电子带负电，质子带正电，电性相反，电量(电荷量)数值相等；中子不带电。

3.电量：电荷的多少，用Q(q)表示。对应质量m。

正电荷为"+"，负电荷为"−"，正负表电性。 (正、负电荷由富兰克林命名)

单位：库仑，C。$1C=10^6\mu C=10^9 nC$

二、物质的一种分类：导体和绝缘体

1、导体(金属)：外层电子受核束缚弱。

2.绝缘体：外层电子受核束缚强。

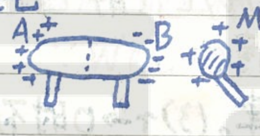
三、摩擦起电的本质：电子的转移。

四.元电荷：电子所带的电荷量，也是最小的电荷量。(密立根测出) $\boxed{e=1.60\times10^{-19}C}$ ↑无正负之分

所有带电体的电荷量都是e的整数倍。

五、电荷守恒定律(类似能量守恒定律，略)

六、感应起电 (带电体的电荷应分布在物体的最外表面)

静电感应：

近异远同

①如图，若移走M，则：AB不再带电。

②若分开A、B，则：A、B分别带等量异种电荷。(分开A、B后再移走M情况相同)

★③用手摸一下AB的任一位置，则：近端B带电，远端A不带电。

若再拿走M，则：A、B带等量同种电荷。

(均从图开始)

(实质:得失电子)

PS: 1. 三种起电方式: ①摩擦起电: 带等量异种电荷。②感应起电: 近异远同。③接触起电: 导体带上与带电体相同电性的电荷; 原理: 电荷间的相互排斥; 应用: 验电器的工作。

2. 正电荷不能移动, 移动的是电子, 带负电荷。

3. 接触起电的电量分配原则:

① 完全相同的两金属球带同种电荷: $Q_1' = Q_2' = \frac{Q_1+Q_2}{2}$

② 完全相同的两金属球带异种电荷: $Q_1' = Q_2' = \frac{Q_1-Q_2}{2}$

③ 若为②, 应先中和, 再均分。

第二节、库仑定律

一、点电荷

1. 认为有电量的点; 仍考虑质量, 但不一定有重力。

2. 视为点电荷的条件: 互相距离远, 形状、大小等忽略不计时。

二、库仑定律

1. 扭秤: 石英丝 → 金属丝, 更方便。

2. 库仑求出了 $F_{库} \propto \frac{q_1 q_2}{r^2}$; r: 用尺量; q_1、q_2: 运用均分原则使其变化。

二十世纪发现电子后, q 的值、k 的值才确定。

3. 公式: $\boxed{F = k\frac{Q_1 Q_2}{r^2}}$, $\boxed{k = 9.0\times10^9\ N\cdot m^2/C^2}$ (静电力常量)

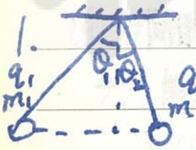
4. 适用条件: ①真空。②静止。③点电荷。

5. 注: (1) 不带"±"号计算。(2) 满足牛三定律。(3) $r \to 0$ 时不适用。

及□定则

三、运用

1.



同一水平

分析力: $m_1 g\tan\theta_1 = m_2 g\tan\theta_2 = F_电$

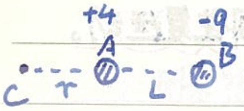
∴ ① 等式与 q_1、q_2 无关。

② $m_1 = m_2$, 则 $\theta_1 = \theta_2$

③ $m_1 > m_2$, 则 $\theta_1 < \theta_2$

两同夹异、两大夹小、近小远大、二力平衡

☆2. A电荷 $+4q$，B电荷 $-9q$，相距为L。现引入电荷C，使三者平衡，则：



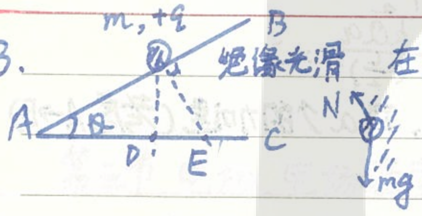
① 排列：$-+-$ 或 $+-+$。② 靠近小的：$|Q_A|<|Q_B|$ ∴靠近A.

② 先C：$\frac{k4q\cdot q_c}{r^2}=\frac{k9q\cdot q_c}{(L+r)^2} \Rightarrow r=\cdots$

③ 再A：$\frac{k\cdot 4qq_c}{r^2}=\frac{k\cdot 9q\cdot 4q}{L^2} \Rightarrow q_c=\cdots$

∴

3.



绝缘光滑　在AC上某处固定一电荷，使小球静止。

① 在E右侧（不含E）放负电。

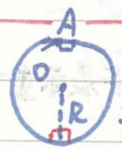
② 在D左侧（不含D）放正电。

③ 在D处放正电使 $N=0$，$mg=F_电$。

4. 氢原子核外电子，质量m，电量 $-e$，若绕核匀速圆周，半径r，则：

$\frac{ke^2}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$，则 $\boxed{E_k=\frac{ke^2}{2r}}$　电子只能在特定半径的轨道上匀速圆周。

5.



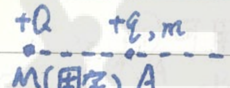
O处放一个 $+q_0$. ① 周长L，带电量 $+Q$ 的环；在A处挖去长为 l（$l \ll L$）一段。若环带电量与长度成正比，求挖去后余下部分对 $+q_0$ 作用力。

∴ $q_A=\frac{l}{L}\cdot Q$　由于受力是对称的 ∴实际受力与 l 的作用力相同.

∴ $F=\frac{kq_0\cdot q_A}{R^2}$，方向竖直向上

② 若为一个球面：同①.

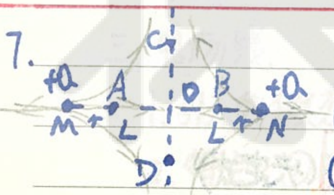
6.



① A处静止释放 $+q$（只受静电作用），则q：作a↓的加速运动

∵ $W_{F电}>0$，E_k↑

7.



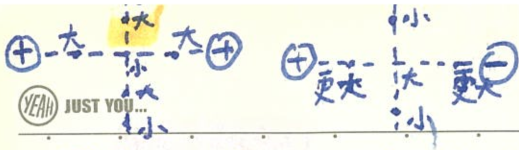
M.N固定两个 $+Q$，一个 $+q$ 在连线上、中垂线上各处受静电力：

① O点：$F=\frac{kQq}{L^2}-\frac{kQq}{L^2}=0$

② A点：$F_A=\frac{kQq}{r^2}-\frac{kQq}{(2L-r)^2}$；B点：$F_B=F_A$，方向相反

③ C、D点：F大小相等，方向相反。

☆④ 从O点向上（下）移动，$F_合$大小：先增大后减小。

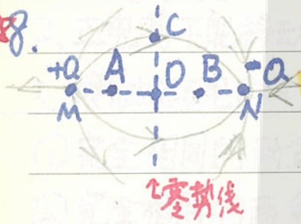


(场强、合力大小)

☆⑤重力不计的 $+q$ 从O点上方一点静止释放：先 $a\uparrow$ 的加速，再 $a\downarrow$ 的加速。(同④)

☆⑥从A点静止释放：先 $a\downarrow$ 的加速，再 $a\uparrow$ 的减速，在A、B间往复运动。

☆8.



同7，N为 $-Q$。

① $+q$ 在A点 F_A 与O点 F_0：$F_A > F_0$

$$F_A = \frac{kQq}{r^2} + \frac{kQq}{(L-r)^2},\quad F_0 = \frac{kQq}{(\frac{L}{2})^2} \times 2$$

② A点静止释放：先 $a\downarrow$ 的加速，再 $a\uparrow$ 的加速(考虑A→B)

③ $+q$ 在中垂线上F均向右，其中 F_0 最大。

四、重力场(地球)

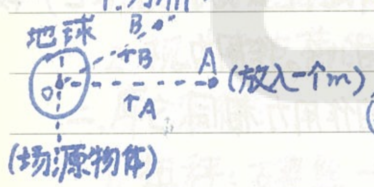
1. 定义：地球M的周围空间。

2. 特点：①一种特殊的物质，可与其它物体共存一个空间。②具有能量。

3. 性质：对放入其中的物体有力的作用。(重力或引力)

五、重力场强度(g)

1. 分析：



① $\begin{cases} A点放入m_1：F_1 = \frac{GMm_1}{r^2} \\ A点放入m_2：F_2 = \frac{GMm_2}{r^2} \end{cases} \Rightarrow F_1 \neq F_2$，不用F表示重力场

② $\begin{cases} A点放入m：F_A = \frac{GMm}{r_A^2} \\ B点放入m：F_B = \frac{GMm}{r_B^2} \end{cases} \Rightarrow F_A \neq F_B$，不用F表述重力场

③在A点：$\begin{cases} m_1 \Rightarrow F_1 \\ m_2 \Rightarrow F_2 \end{cases} \Rightarrow \frac{F_1}{m_1} = \frac{F_2}{m_2} = \frac{GM}{r_A^2}$；☆该比值只与M，r有关，即 $\frac{F}{m}$ 由场自身决定，与m，F无关。

2. 定义：研究物m在场中所受引力F与m的比值。

3. 定义式：$\boxed{g = \frac{F}{m}}$

4. 单位：N/kg (m/s^2)

☆5. 方向：规定与F方向相同。

6. 注：①g由场的自身因素决定，与m、F无关。

②场源物体视为质点。③由 $g = \frac{F}{m}$，$F = \frac{GMm}{r^2}$：$\boxed{g = \frac{GM}{r^2}}$(决定式)

④ $g = \frac{F}{m} \Rightarrow F = mg \Rightarrow$ 即F与g，m有关

⑤g的物理意义：表征力的性质的物理量。

六、重力场线

1. 引入的；不存在的。

2. 用来描述g的大小和方向。疏密体现g的大小，切线方向表现g的方向。

…

第三节、电场、电场强度和电场线（法拉第提出）

一、电场

1、定义：带电体Q的周围空间。

2、特点：①一种特殊的物质，可与其它物体共存一个空间。②具有能量。

3、性质：对放入其中的物体有力的作用。（电场力=库仑力）
电荷

二、电场强度(E)

1. 定义：电场中某点电荷受到力F与其电量q的比值。

2. 定义式：$\boxed{E=\frac{F}{q}}$，单位：V/m或N/C。

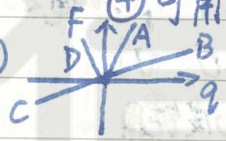
3. 方向：规定与正电荷所受静电力方向相同；与负电荷所受力相反

4. ①定义式适用于一切电场；E与F、q无关。

② $F=Eq \Rightarrow F\propto q$

③ 由 $E=\frac{F}{q}$，$F=\frac{kQq}{r^2} \Rightarrow \boxed{E=\frac{kQ}{r^2}}$（决定式，适用于真空中的点电荷）

④ 可用▱定则计算，具有电场叠加原理。

⑤ 

B、C点的E大小、方向相同；$E_A>E_B$，方向相同；D与A、B、C的E的方向相反。（此图中F的±只表示各F间的相对方向）

比如同时向左或同时向右或一个左一个右等等

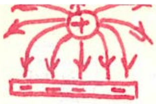
三、电场线

1. 引入的假想曲线；每一点的切线方向为E的方向。（单向）

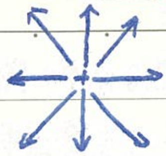
2. 特点：①不是闭合曲线。②不相交。③疏密表示E的大小。

3. 几种特殊的电场（见后）

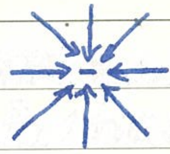
⑥点电荷与金属板:



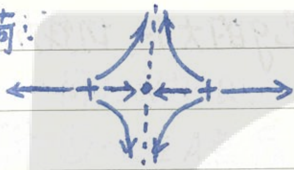
①正点电荷:



②负点电荷:



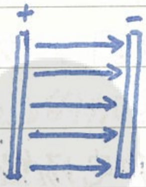
③等量同种电荷:



④等量异种电荷:

⑤无穷大的、带等量异种电荷的两平行板:

(匀强电场，E的大小、方向都相同)



4.①电场线不一定是点电荷的运动轨迹。

②电荷在电场中，只在电场力作用下，可以做速率不变的运动。(匀速圆周)

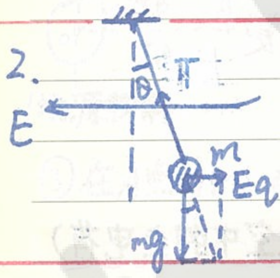
四、运用

1.

外加一个匀强电场使静止，则 $E_{min}=?$

$E_{min}q = mg\sin\theta$ (无E_{max})

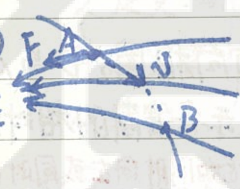
2.



$Eq = mg\tan\theta$

若剪断绳子：做 $a=\frac{g}{\cos\theta}$ 的匀加速直线运动

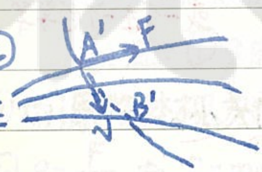
☆☆ 3.①



A→B为运动轨迹。∴知：+q、a↓、W电<0、v↓

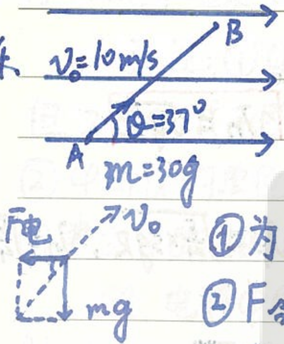
场线方向与受力方向 → +q；场线疏密 → a↓；∵W电<0 → v↓；F、v成钝角 → W电<0

②



已知+q、M→N。∴知：+Q、a↓、W电>0、v↑

电荷与受力方向 → +Q；场线疏密 → a↓；锐角 → W电>0；∵W电>0 → v↑

4. 

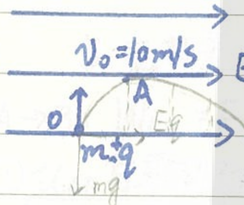
$E=100N/C$ 沿直线由A→B，求电性及电量；若$v_B=0$，求x_{AB}及返回时A点速度大小。

①为负电；$F_电=\frac{mg}{\tan\theta}=0.4=Eq \Rightarrow q=4\times10^{-3}C$

②$F_合=\frac{mg}{\sin\theta}=ma_合 \Rightarrow a_合=\frac{50}{3}m/s^2$

$0-v_A^2=-2\times a_合\times x_{AB} \Rightarrow x_{AB}=3m.$

∵对称 ∴返回时$v_A=10m/s$

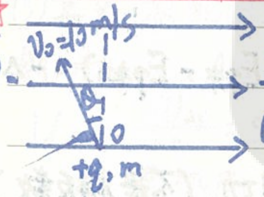
5. 

E 且$Eq=mg$. ①画轨迹。$x_上:x_下=1:3$

②最高点：$v_A=10m/s$，$t_{上升}=1s$

③求返回至B点的速度：$t_总=2s$，$v_y=10m/s$，$v_x=20m/s$

$\therefore v_B=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=10\sqrt5\ m/s$

☆ 6. 

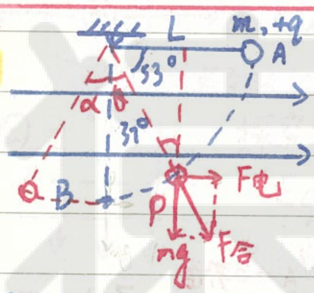
且$Eq=mg$. 求返回至同一水平线上的位置及速度。

$\theta=37°$ $t_总=\frac{2v_y}{g}=1.6s$，$v_y'=v_y=8m/s$

水平：(取向左为正方向) $x=v_xt-\frac12gt^2=-3.2m$.(右侧)

$v_x'=v_x-gt=-10m/s$ (向右)

$\therefore v=\sqrt{v_x'^2+v_y'^2}=2\sqrt{41}\ m/s$ 方向：…

☆☆ 7. 

已知$Eq=\frac34mg$，A处静止释放。

E ①T_A：$T_A-Eq=m\frac{v_A^2}{L}=0$ ∴$T_A=Eq$

②v_B、T_B：A→B：$mgL-EqL=\frac12mv_B^2-0 \Rightarrow v_B=\cdots$

B：$T_B-mg=m\frac{v_B^2}{L} \Rightarrow T_B=\cdots$

③v_{max}：在P处能静止，mg与F电的合力$F_合$方向沿绳方向，故为"最低点"。

$\therefore mgL\cos\theta-EqL(1-\sin\theta)=\frac12mv_{max}^2-0 \Rightarrow v_{max}=\cdots$

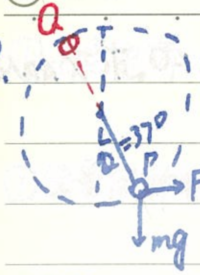
④向左摆的最大角度α：$mgL\cos\alpha-EqL(1+\sin\alpha)=0-0 \Rightarrow \alpha=16°$

PS：其实"斜着看"，以P为最低点，很容易得到$\alpha=53°-37°=16°$.

W、U、φ都是代数和. $\varphi=\frac{kQ}{r}$ (带正负)

JUST YOU...

8. 若使能做圆周运动，在P处给的v_P的最小值。



①由上学期：最低点 $\boxed{v_P=\sqrt{5gR}}$，最高点 $\boxed{v_Q=\sqrt{gR}}$，

当时做功的力为mg

②此处做功的力为 $\boxed{\frac{5}{4}mg}$ ($F_{合}$)，故易知 $v_P=\sqrt{\frac{5}{4}\times5gR}$，$v_Q=\sqrt{\frac{5}{4}gR}$

③解一下：Q：$\frac{5}{4}mg=m\frac{v_Q^2}{L}\Rightarrow v_Q=\sqrt{\frac{5}{4}mg}$

$Q\to P$：$\frac{5}{4}mg\times2L=\frac{1}{2}mv_P^2-\frac{1}{2}mv_Q^2\Rightarrow v_P=\frac{5}{2}\sqrt{gL}$

(7.8题：等效法，将重力场、电场复合为一个场，即"斜着看")

第四节、电势能和电势(都是相对的)

一、重力场中：

1. 重力做功与路径无关。

2. $W_{mg}=mgh_{AB}=mgh_A-mgh_B=-(mgh_B-mgh_A)=-(E_{p末}-E_{p初})=-\Delta E_p$

$\therefore W_{mg}>0$，$E_p\downarrow$

3. 物体从A→零势面处：在A处的E_{pA}等于重力做的功。(不是相反数)

4. 重力势：$\frac{E_{pA}}{m}=\frac{mgh_A}{m}=gh_A=\varphi_A$ (标量，正负表示大小)

$\boxed{E_{pA}=\varphi_A\cdot m}$

二、电场力做功

1. W_{Eq}与路径无关。

2. $\boxed{W_{Eq}=-\Delta E_p=E_{pA}-E_{pB}}$

3. $\xrightarrow{\quad A\quad B\quad}E$ $\begin{cases}+q在A处的E_p大\\-q在A处的E_p小\end{cases}$

判断电势能的大小

$E_{pA}=W_{A\to0势面}$

☆4. 物体从A→零势面处：在A处的E_{pA}等于电场力做的功。(不是相反数)

三、电势(φ)、电势差(U_{AB})

1. $\boxed{\frac{E_p}{q}=\varphi\Rightarrow E_p=\varphi\cdot q}$ 定义

2. $W_{AB}=E_{pA}-E_{pB}=(\varphi_A-\varphi_B)\cdot q=U_{AB}\cdot q$

E_p、φ比大小，带正负：$\begin{cases}1J>-3J\\1V>-3V\end{cases}$ $\begin{cases}标量比大小带正负\\矢量比大小不带正负\ (-3m/s>1m/s)\end{cases}$

电场力做功计算法：☆

① $W=F\times\cos\theta=Eq\times\cos\theta$（匀场）

② $W=-\Delta E_p=E_{pA}-E_{pB}$

③ $W=Uq$

④ $W_电+W_其=\Delta E_k$

$E_p=\varphi q$ 为静态；
$W=Uq$ 为动态。 } 类比

电压为其绝对值，不带负

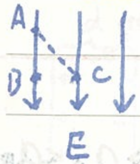
3. 注：①φ为标量，有正负；$U_{AB}=\varphi_A-\varphi_B$，标量，有正负。

但2.中的式子可带正负计算；前面的$E=\frac{F}{q}$、$F=\frac{kQ_1Q_2}{r^2}$都不带正负，方向直接判断。

②φ与U的单位：伏特(V)；$1V=1J/C$

③建立φ的目的：$E_p=\varphi\cdot q$，用来求电势能；意义：表征电场能的性质。

☆4. 电势φ的高低：电场线指向φ降低的方向。



A→C：证明φ降低的方向不一定为E的方向；

A→B：但φ降低"最快"方向一定为E的方向。

5. 电势差(U_{AB})(也叫电压)

$A\to B$：$W_{AB}=E_{pA}-E_{pB}=\varphi_A q-\varphi_B q=(\varphi_A-\varphi_B)q=U_{AB}q$

①U_{AB}与零势面选择无关。

☆② $\boxed{U_{AB}=\frac{W_{AB}}{q}}$，可带正负计算。(定义式)

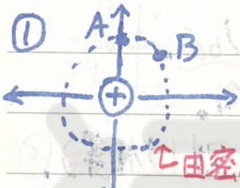
③意义：表能的变化。

例. $q=-1C$，A→B，克服电场力做功5J；B→C，电场力做功3J.

$U_{AB}=\frac{W_{AB}}{q}=5V$，$U_{BC}=\frac{W_{BC}}{q}=-3V$ ∴ $U_{AC}=U_{AB}+U_{BC}=2V$.

四、等势面

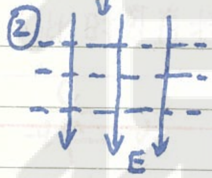
1. 分析：几个电场的电场线分布

① 

A→B：$W_{AB}=0=U_{AB}q$.（$F_电$与v、x方向垂直）

∴$U_{AB}=0$，$\varphi_A=\varphi_B$

由密至疏的等势同心圆

② 

探究等电势差的等势面：

$Eqx=F\cdot x=W=U_{AB}\cdot q$

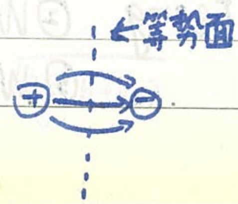
∵U_{AB}一定，q一定，匀强电场中E一定 ∴x一定相等

同理在①中，∵越往外E↓，∴x↑，∴等差等势面间距↑.

☆☆2. 总结：①等势面密的地方E大。

②任意两等势线(面)不相交。

③电势相等时E不一定相同。如：



比较E_p大小、φ大小的技巧，只需识记：☆

① $W=-\Delta E_p$：做正功，能减小；做负功，能增大。

② 电场线指向φ降低的方向。

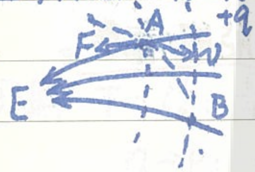
③ $E_p=\varphi q$：正电荷在势高能大，势低能小；负电荷势高能小，势低能大。

④ 能量守恒的判断。(参考上学期页顶)

④ 电场线垂直于等势面；电场线由高等势面指向低等势面。

⑤ $a\to b$ 电场力不做功，只能说明 $\varphi_a=\varphi_b$，不能说明该电荷在等势面上移动（路径可以不同）。

例1.

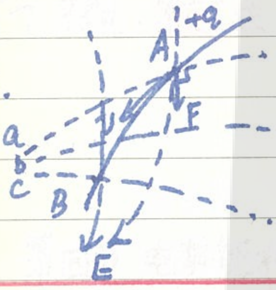


知：$F_A>F_B \Rightarrow a_A>a_B$

$W_{AB}<0 \Rightarrow v_A>v_B$

$\varphi_A<\varphi_B$（电场线指向φ降低）

☆ 例2.



等势线

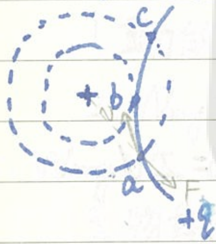
知：B处等势线密 $\Rightarrow E_B>E_A \Rightarrow F_B>F_A \Rightarrow a_A<a_B$

$W_{AB}>0 \Rightarrow v_A<v_B$

$\varphi_a>\varphi_b>\varphi_c$

五、运用

1.

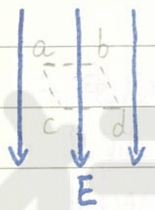


$a\to b$：$W<0$，$v\downarrow$，$E_p\uparrow$

$b\to c$：$W>0$，$v\uparrow$；$E_p\downarrow$

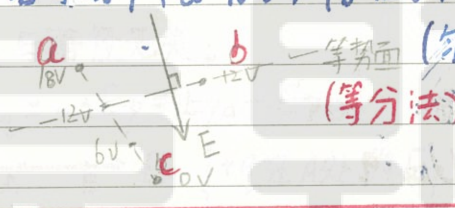
} $a\to c$：v不变(大小)，$W=0$（等势面上）

2.



若四边形abcd为▱，则：$U_{ab}=U_{cd}$；$U_{ac}=U_{bd}$。

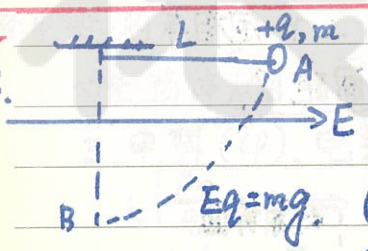
若匀场中$\varphi_a=18V$，$\varphi_b=12V$，$\varphi_c=0V$，画出E的方向。



—等势面（匀场中某一方向，x相等，则U相等）。

（等分法）

☆ 3.



由A→B，静止释放。

① v变化：先↑后↓

② $W_{mg}=mgL$，$\Delta E_p=-mgL$

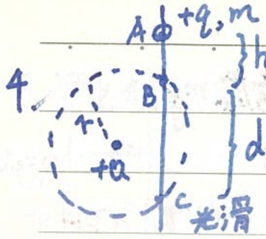
③ $W_电=-EqL$，$\Delta E_p=+EqL$

④ $W_合=mgL-EqL=0$

⑤ $\Delta E_k=0$

⑥ $\Delta E=W_电=-EqL$

⑦ $E_k+E_p+E_{p电}$ 不变（能量守恒）

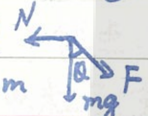
4.


由A静止释放，① 达B时 $v_B<\sqrt{2gh}$（自由落体时 $v_B=\sqrt{2gh}$）

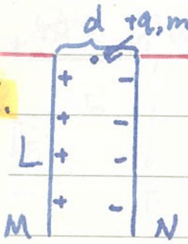
② $W_{电}^{(A\to B)}=?$ 动能定理：$mgh+W_{AB电}=\frac{1}{2}mv_B^2-0 \Rightarrow \cdots$

③ $U_{AC}=?$ $U_{AC}=U_{AB}=\frac{W_{电}}{q} \Rightarrow \cdots$

④ $v_C=?$ $B\to C$：$W_{电}=0$，只有重力做功 $\Rightarrow mgd=\frac{1}{2}mv_C^2-\frac{1}{2}mv_B^2$

⑤ $a_C=?$


$$a_C=\frac{mg+F\cos\theta}{m}=g+\frac{kQq\cos\theta}{mr^2}$$

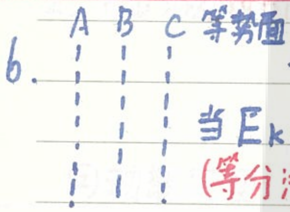
5.


静止释放，恰好从下边缘飞出。

求：① E：$\frac{mg}{L}=\frac{Eq}{\frac{d}{2}} \Rightarrow E=\frac{mgd}{2Lq}$（几何相似）

② 在场中运动时间 t. 竖直：$L=\frac{1}{2}gt^2 \Rightarrow t=\sqrt{\frac{2L}{g}}$

③ 飞出速率 v. 动能定理：$mgL+Eq\times\frac{d}{2}=\frac{1}{2}mv^2-0$

6.


一电荷只受 $F_{电}$，$A\to B\to C$，$E_{kA}=20J$，$E_{kC}=0$. 取B为零势面 $E_{pB}=0$

当 $E_k=6J$ 时，$E_{p电}=$ 4 J.

（等分法）

7.


L为绳. ①若匀场为E，方向向下，使其在竖直平面内圆周运动，

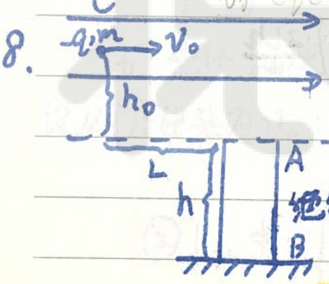
$v_{Amin}=\sqrt{5(\frac{Eq+mg}{m})L}$，$T_{Amin}=6(mg+Eq)$.

分析：B：$mg+Eq=m\frac{v_B^2}{L} \Rightarrow v_B=\sqrt{\frac{Eq+mg}{m}L}$

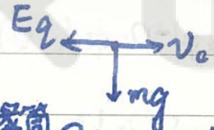
$B\to A$：动能定理：$(mg+Eq)\times 2L=\frac{1}{2}mv_A^2-\frac{1}{2}mv_B^2$

② 若E方向向上，同样。若 $Eq>mg$，$v_{Amin}=\sqrt{\frac{Eq-mg}{m}L}$.

此时可直接分析A（可以把图转180°看）：$Eq-mg=m\frac{v_A^2}{L}$（A为"最高点"）

8.


恰好无碰撞入筒：到A处只有竖直方向的速度。



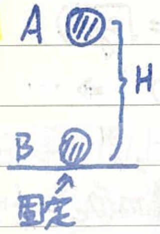
$\begin{cases}水平：v_0=Eqt，L=\frac{v_0}{2}t \\ 竖直：v_A=gt，h_0=\frac{1}{2}gt^2 (\checkmark)\end{cases}$ 水平：$\begin{cases}Eq=ma_x (\checkmark) \\ a_x=\frac{v_0}{t} (\checkmark)\end{cases}$

① 由"~"求出 $C\to A$：E

② $C\to B$：$t_{总}=\sqrt{\frac{2(h_0+h)}{g}}$，$v_B=\sqrt{2g(h+h_0)}$

实际等效于自由落体

$\begin{cases} E=\frac{F}{q}：定义式；适用一切电场 \\ E=k\frac{Q}{r^2}：真空点电荷决定式；适用于真空点电荷 \\ E=\frac{U}{d}：匀场决定式；匀场 \end{cases}$

9. 

A静止释放，与B碰后回跳h，碰撞无损失。(考虑mg)

① A、B等量的同种电荷：$h=H$

② A、B等量异种电荷：$h>H$ （动能定理） 即 $h\geq H$

③ 不等同种：$h>H$ ④ 不等量异种：$h>H$

第五节 匀强电场中电势差与电场强度的关系

一、U与E的关系：(令+q从A→B)

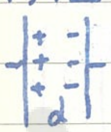
功的角度：$W_{AB}=Fd=Eq\cdot d=Uq$ ← 非匀场只用 Uq.

$\therefore \boxed{E=\frac{U}{d} \Rightarrow U=Ed}$ 场强与电势并无直接关系，一个是绝对的，一个是相对的。

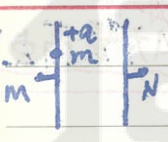
1. E的单位：$1N/C=1V/m$.
2. 为绝对式，不带正负计算。
3. 适用范围：匀场。
4. 注：① E与U、d无关。 ② d为两点间沿场线方向的距离。

二、运用

1. 两等量异种电荷平行板，知U、d.



一个-q，m在板间静止：$Eq=mg \Rightarrow \frac{U}{d}q=mg \Rightarrow \begin{cases} q=\frac{mgd}{U} & (密立根) \\ \boxed{\frac{q}{m}=\frac{dg}{U}} & (\frac{q}{m}为比荷) \end{cases}$

2. 

重力不计，+q以$v_0=0$进入.

① t：$d=\frac{1}{2}\times\frac{Uq}{md}\times t^2 \Rightarrow t=\sqrt{\frac{2md^2}{Uq}}$

② v_t：$v_t^2=2\times\frac{Uq}{md}\times d=\frac{2Uq}{m} \Rightarrow v_t=\sqrt{\frac{2Uq}{m}}$

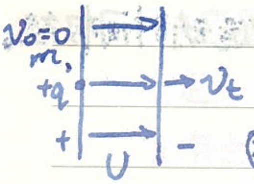
③ $E_{k末}$：$Eqd=Uq=E_{k末}-0$

带电粒子的运动：$\begin{cases} ①力与运动：牛二定律、运动学规律 \\ ②功与能：动能定理、能量守恒 \end{cases}$

$_1^1H$、$_2^4He$：$m_H=1$，$m_{He}=4$；$q_H=1$，$q_{He}=2$

重力的处理：$\begin{cases}\text{电子、质子、α粒子、离子：一般不考虑}\\ \text{液滴、油滴、尘埃、小球：一般要考虑}\end{cases}$

3、带电粒子（重力不计）在匀场中的加速（加速器）



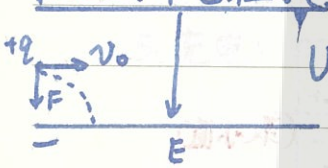
①单极加速器：动能定理：$\boxed{Uq=\frac{1}{2}mv_t^2-0}$ ⇒ $v_t=\sqrt{\frac{2Uq}{m}}$

优点：简单，占地面积小。缺点：需要U很大。

②多极加速器：$(U_1+U_2+U_3+\cdots+U_n)q=\frac{1}{2}mv_t^2-0$

优点：电压低，安全。缺点：太长。

三、带电粒子（重力不计）在匀场中的偏转



U.d.L

1.打在极板上：①分运动：$\begin{cases}\frac{d}{2}=\frac{1}{2}\times\frac{Uq}{md}\times t^2 \leftarrow \text{决定}t.\\ v_y=\frac{Uq}{md}t\\ x=v_0t\end{cases}$

②速度：$\begin{cases}v_t^2=v_0^2+v_y^2\\ \tan\theta=\frac{v_y}{v_0}\end{cases}$

③动能定理：$\frac{U}{2}\cdot q=\frac{1}{2}mv_t^2-\frac{1}{2}mv_0^2$

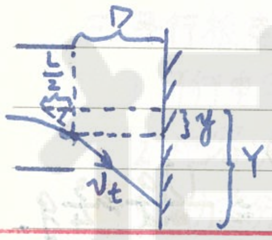
2.飞出匀场：①分运动：$\begin{cases}L=v_0t \leftarrow \text{决定}t.\\ y=\frac{1}{2}\times\frac{Uq}{md}\times t^2 \Rightarrow \boxed{y=\frac{UqL^2}{2mdv_0^2}}\\ v_y=\frac{Uq}{md}t \Rightarrow \boxed{\tan\varphi=\frac{v_y}{v_0}=\frac{UqL}{mdv_0^2}}\end{cases}$

②动能定理：$\boxed{\frac{U}{d}\cdot q\cdot y=\frac{1}{2}mv_t^2-\frac{1}{2}mv_0^2}$

四、偏转运动飞出去的情况

1.$\begin{cases}\text{速度偏转角：}\tan\varphi=\frac{UqL}{mdv_0^2}\\ \text{位移偏转角：}\tan\theta=\frac{y}{L}=\frac{UqL}{2mdv_0^2}\end{cases}$ ⇒ $\boxed{\tan\varphi=2\tan\theta}$（同平抛）

2.若在板的右边，距板右边缘D处垂直中线放一个光屏P：求"大Y"。



①求$L=v_0t$和$y=\frac{1}{2}\times\frac{Uq}{md}t^2$

$\therefore \boxed{\frac{Y}{y}=\frac{\frac{L}{2}+D}{\frac{L}{2}}}$（相似）

②求$L=v_0t$、$v_y=\frac{Uq}{md}t$、$\tan\varphi=\frac{v_y}{v_0}$

$\therefore Y=(\frac{L}{2}+D)\tan\varphi$

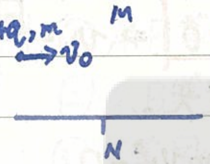
五、先经加速电场U_1，再经偏转电场U_2，飞出：

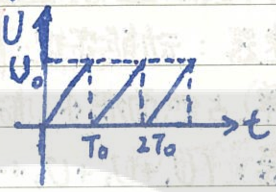
设从U_1出来为v_0：①U_1中：$U_1q=\frac{1}{2}mv_0^2$ $\begin{cases}mv_0^2=2U_1q\\ v_0=\sqrt{\frac{2U_1q}{m}}\end{cases}$

②U_2中：$\begin{cases}y=\frac{U_2qL^2}{2mdv_0^2}=\boxed{\frac{U_2L^2}{4U_1d}}\\ \tan\varphi=\frac{U_2qL}{mdv_0^2}=\boxed{\frac{U_2L}{2U_1d}}\end{cases}$（$\frac{y}{U_2}$称为灵敏度）

六、与U-t图结合的特殊运动

1. 已知 $U.d.L$ 粒子在场中运动时间极短。



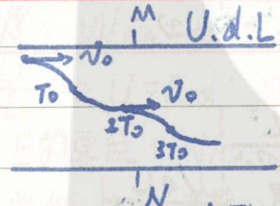


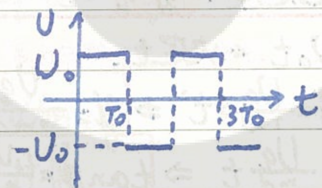
$\begin{cases} t=0\text{时进入：匀速直线运动} \\ t=T_0\text{时进入：}U_0\text{的匀场偏转} \end{cases}$ 求光屏上"亮线"的长度：

① $y\propto U$，而 $Y\propto y \Rightarrow Y\propto U$.（计算即可）

② $\because y\leq\frac{d}{2}\Rightarrow$ 有 $U_{max}\Rightarrow\begin{cases} U_0>U_{max}: y=\frac{U_{max}qL^2}{2mdv_0^2} \\ U_0\leq U_{max}: y=\frac{U_0qL^2}{2mdv_0^2} \end{cases}$（取小值）

2. $U.d.L$

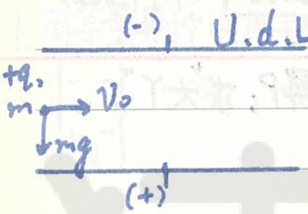




① 轨迹：如图。

② 要使从下板右边缘水平飞出，则：$\begin{cases} \frac{L}{v_0}=k\cdot 2T_0, k\in Z \\ d=(\frac{1}{2}\times a\times T_0^2)\times 2\times k \end{cases}$（$0\sim T_0$，$T_0\sim 2T_0$ 位移相同

七、重力要计的偏转



1. 当 $U=0$ 时，正好打在下板正中间：

即平抛：$\begin{cases} \frac{d}{2}=\frac{1}{2}at_0^2 \\ \frac{L}{2}=v_0t_0 \end{cases}$

2. 加U，使能飞出，求U的取值范围。

① 从下面飞出：$\begin{cases} \frac{d}{2}=\frac{1}{2}(g-\frac{U_1q}{md})t_1^2 \\ L=v_0t_1 \end{cases}\Rightarrow\because t_1=2t_0$（与1.比较）

$\therefore$ 易知 $g-\frac{U_1q}{md}=\frac{1}{4}g\Rightarrow\frac{U_1q}{md}\geq\frac{3}{4}g$.

② 从上面飞出：$\begin{cases} \frac{d}{2}=\frac{1}{2}(\frac{U_2q}{md}-g)t_2^2 \\ L=v_0t_2 \end{cases}\Rightarrow\because t_2=2t_0$

$\therefore$ 易知 $\frac{U_2q}{md}-g=\frac{1}{4}g\Rightarrow\frac{U_2q}{md}\leq\frac{5}{4}g$

☆☆3. 若 $U=10V$ 时，正好直线飞出：$\frac{U}{d}\times q=mg$.

此时若使飞出，求U范围：① 上飞出：同2.②.

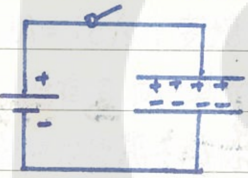
② 下飞出：有可能 E U有两种情况，

用 $\frac{d}{2}=\frac{1}{2}(g-\frac{Uq}{md})t^2$ 算，$\begin{cases} U>0\text{，则U是向上的} \\ U<0\text{，则U是向下的} \end{cases}$

第六节、电容器 电容

一、电容器

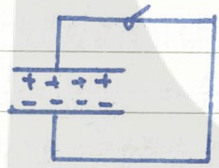
1. 定义：两个彼此绝缘而又相互靠近的导体构成电容器。常见：平行板电容器。
2. 特点：两板一定带等量异种电荷；电量Q指一个板带电量的绝对值。
3. 构成因素：d（间距）、S（正对面积）、ε（电介质的相对介电常数）。
4. 带电后，两极间有电势差U（$E=\frac{U}{d}$）。 $U_0 < U_{max}$（额定电压<击穿电压）
5. 充电：



电流：顺时针
电子：逆时针

$\begin{cases} \text{电介质} \approx \text{绝缘体，加入后 } c\uparrow \\ \text{加入导体 } c\downarrow \end{cases}$

放电：



电流：顺时针
电子：逆时针
电能→其它能

二、电容

1. $\frac{Q_1}{U_1}=\frac{Q_2}{U_2}=\frac{\Delta Q}{\Delta U}$=恒量，由自身因素决定
2. 定义式：$\boxed{C=\frac{Q}{U}}$ （$C=\frac{\Delta Q}{\Delta U}$）
3. 单位：1C/V=1F（法拉），$1F=10^6\mu F=10^{12}pF$
4. C与Q、U无关；$Q=C\cdot U$.
5. 物理意义：描述电容器容纳电荷本领大小的物理量。

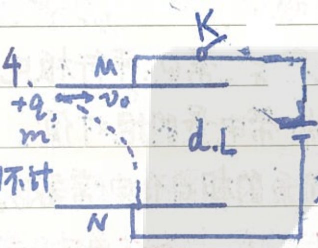
三、平行板电容器的电容

1. 平行电容器板间形成匀强电场，$E=\frac{U}{d}$.
2. 电容决定式：$\boxed{C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}}$（平行板电容）
3. 动态分析：① U不变（连在电源上）$\begin{cases} d\downarrow, C\uparrow, Q\uparrow, E\uparrow \\ S\downarrow, C\downarrow, Q\downarrow, E- \\ \varepsilon\uparrow, C\uparrow, Q\uparrow, E- \end{cases}$

② Q不变（从电源上取下）$\begin{cases} d\downarrow, C\uparrow, U\downarrow, E- \ ☆ \\ S\downarrow, C\downarrow, U\uparrow, E\uparrow \\ \varepsilon\uparrow, C\uparrow, U\downarrow, E\downarrow \end{cases}$

③ 用力F压一块板：$\begin{cases} F\uparrow \to d\downarrow \to Q\uparrow \to \text{有电流} \\ \text{若电路中有电流，则}F\text{为：变力。} \end{cases}$

★4.



重力不计

击中下板正中央；若上板不动，使从下板右边缘飞出，求下板向下移动的距离。① K合上，② K断开。

分析：① K合上：$\begin{cases} \text{原}: \frac{L}{2}=v_0t_1,\ d=\frac{1}{2}\times\boxed{\frac{Uq}{md}}t_1^2 \\ \text{现}: L=v_0t_2,\ d+\Delta d=\frac{1}{2}\times\frac{Uq}{m(d+\Delta d)}t_2^2 \end{cases}$

$\therefore \Delta d=d.$

② K断开：$\begin{cases} \text{原}: \frac{L}{2}=v_0t_1,\ d=\frac{1}{2}\times\boxed{\frac{Eq}{m}}\times t_1^2 \\ \text{现}: L=v_0t_2,\ d+\Delta d=\frac{1}{2}\times\frac{Eq}{m}t_2^2 \end{cases} \Rightarrow \therefore \Delta d=3d$

第七节、静电现象的应用（略）

关键点：1. 静电平衡状态下导体的特征（静电屏蔽）：

★① 导体内部场强处处为零。② 导体表面场强垂直表面。

③ 导体为等势体，表面为等势面。④ 电荷只分布在导体表面。

2. 避雷针尖端放电。

电流微观解释(决定式)：$\boxed{I=nqSv}$

第二章、直流电路

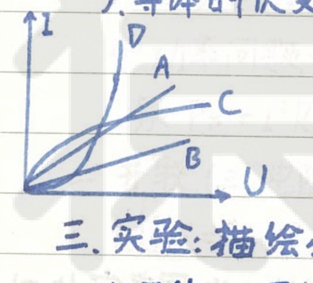
第一节、欧姆定律

一、电流(I)：

1. 形成电流的条件：①自由电荷。②内部有E或U。
2. 定义式：通过导体横截面的电量q与时间t的比值。
   $\boxed{I=\frac{q}{t}}$ ☆故I与横截面积的大小无关
3. 单位：$1A=1C/s$；安培，基本单位。$1A=10^3mA=10^6\mu A$
4. 标量，但有流向；其正负表示流向。
   ☆q为正负离子带电量的绝对值之和 $q=|q_1|+|q_2|$
5. 电解液中正负离子相反方向定向流动问题：其电流方向均为正离子方向。
6. 例：H核做的电子绕核做匀速圆周形成环形电流。
   $\therefore I=\frac{q}{t}=\frac{e}{\frac{2\pi r}{v}}=\frac{ev}{2\pi r}$ (t为周期)

二、电阻(R)与欧姆定律

1. 电阻(R)：
   (1) 定义式：$\boxed{R=\frac{U}{I}}$ (一般为恒值) 适用于任何导体　$\boxed{R=\frac{\Delta U}{\Delta I}}$ (只适用于R不变)
   (2) 单位：Ω (欧)；$1M\Omega=10^3k\Omega=10^6\Omega$
   (3) 意义：表征导体对I的阻碍作用。
2. 部分电路欧姆定律
   (1) 表达式：$\boxed{I=\frac{U}{R}}$ 适用：金属导电、电解液导电(纯电阻电路)；不适用于气体导电
   (2) 描述：$I\propto U$，$I\propto\frac{1}{R}$
3. 导体的伏安特性曲线(I-U图)



① A、B：R恒定，且$R_A<R_B$ (斜率小的电阻大)；线性元件
② C：实际金属导体，温度↑，R↑ (R=0时称为超导)
③ D：半导体：热敏电阻、光敏电阻；非金属导体等。
(②③：非线性元件)

三、实验：描绘小灯泡的I-U图线

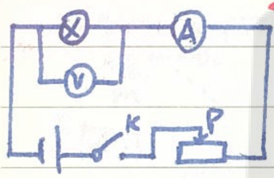
1. 目的：了解灯泡R的变化规律
2. 原理：$R=\frac{U}{I}$
3. 器材：小灯泡(3V、0.6A)、电压表(0~3V)、电流表(0~0.6A)、

0~3V表、0~3A表：精确度0.1V(A)，读至小数点后两位(0.01位)
0~15V表：精确度0.5V，读至0.1V即可
0~0.6A表：精确度0.02A，"半格估读"，读至0.01A

即：{ 精确度为1、0.1、0.01…估读至下一位
精确度为2、0.02、5、0.5…不用估读至下一位

电源(4.5V)、导线、开关、滑动变阻器(0~20Ω)。

4. 电路设计：

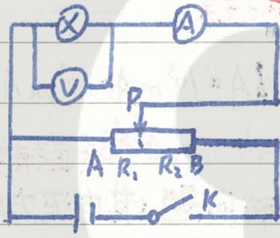


限流式、外接法

$I=\frac{U}{R_L+R} \Rightarrow U_L=IR_L=\frac{U}{R_L+R}\cdot R_L=\frac{U}{1+\frac{R}{R_L}}$

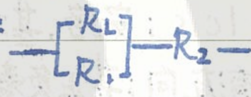
∵当 $R_{max}=20\Omega$ 时，$U_{Lmin}=0.9V$ 不能取到0，故不方便。

∴使用电路：



分压式、外接法

简图：



好处：L处的电压调整范围：0~4.5V

注：K闭合前P均调到阻值最大的一端，以保护电路。

5. 记录数据并绘图：

6. 结论：{ 刚开始U较小，R不变，为过原点的直线
U↑，I↑，温度T↑，R↑，斜率↓。

注：1. 每读一组数，关一次开关(降温)，调整好后再闭合开关K。

2.

滑动变阻器：{ 与电源相连的通路应接b.d.
与A、V、⊗相连的通路，由于要并联，故一上一下相接。(a.d或b.c.)

第二节 电阻定律

一、探究R的有关因素(ρ、S、L)

1. 长度L：刻度尺测量(接入电路后)

2. 横截面积：$S=\pi(\frac{d}{2})^2$，测直径。{ 用刻度尺，金属丝绕圈紧密排列
用螺旋测微器(千分尺)

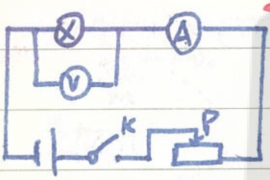
3. 电阻：$R=\frac{U}{I}$，在电路中测U、I。

0~3V表、0~3A表：精确度0.1V(A)，读至小数点后两位(0.01处)
0~15V表：精确度0.5V，读至0.1V即可
0~0.6A表：精确度0.02A、"半格估读"，读至0.01A

即：{精确度为1、0.1、0.01…估读至下一位
精确度为2、0.02、5、0.5…不用估读至下一位

电源(4.5V)、导线、开关、滑动变阻器(0~20Ω)。

4. 电路设计：

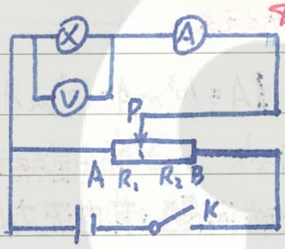


限流式、外接法

$I=\frac{U}{R_L+R} \Rightarrow U_L=IR_L=\frac{U}{R_L+R}\cdot R_L=\frac{U}{1+\frac{R}{R_L}}$

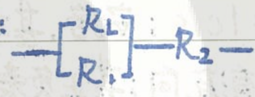
∵当$R_{max}=20\Omega$时，$U_{L\,min}=0.9V$不能取到0，故不方便。

∴使用电路：



分压式、外接法

简图：



好处：L处的电压调整范围：0~4.5V

注：K闭合前P均调到阻值最大的一端，以保护电路。

5. 记录数据并绘图：

6. 结论：{刚开始U较小，R不变，为过原点的直线
U↗，I↗，温度T↗，R↗，斜率↓。

注：1. 每读一组数，关一次开关(降温)，调整好后再闭合开关K。

2.  滑动变阻器：{与电源相连的通路应接b.d.
与A.V.⊗相连的通路，由于要并联，故一上一下相接。↑a.d或b.c.

第二节 电阻定律

一、探究R的有关因素(ρ.S.L)

1. 长度L：刻度尺测量(接入电路后)

2. 横截面积：$S=\pi(\frac{d}{2})^2$，测直径。{用刻度尺，金属丝绕圈紧密排列
用螺旋测微器(千分尺)

3. 电阻：$R=\frac{U}{I}$，在电路中测U.I。

实验探究决定导体电阻的因素：①一般外接法，可选限流式。
②测 l 时应测接入电路的有效长度。
③ I 不宜过大，t 不宜过长，测一次数断一次开关。

二、电阻定律

1. 表达式：$\boxed{R=\rho\frac{L}{S}}$（R的决定式）适用：T一定，粗细均匀的金属导体、浓度均匀的电解质

2. ρ：电阻率，单位：$\Omega\cdot m$；由材料性质与温度决定。
意义：反映材料导电性能的物理量。

3. 应用：
①有 R，均匀拉长为原来的 N 倍，则 $R'=\rho\frac{NL}{\frac{S}{N}}=N^2R$.
②有 R，切成相等的 N 段，再并在一起，则 $R''=\rho\frac{\frac{L}{N}}{NS}=\frac{1}{N^2}R$.

三、ρ 与 T（温度）的关系

1. 有的 ρ 不随 T 变化 ⇒ 标准电阻
⇒ 电阻温度计
2. 金属材料 ρ 随 T↑而↑（正相关）；当 T 为某一值后 $\rho=0$，称为超导。
3. 半导体材料 ρ 随 T↑而↓（负相关）⇒ 热敏电阻、光敏电阻

（肖法：U.I.R.P）
第三节 电阻的串、并联及运用

一、串联（三个电阻）$\overset{A}{—}R_1\overset{B}{—}R_2\overset{C}{—}R_3\overset{D}{—}$

1. I 相等；$U_{AD}=U_{AB}+U_{BC}+U_{CD}$ ⇒ $\boxed{U=U_1+U_2+U_3}$
2. 等效为一个电阻 $R_总$：$\boxed{R_总=R_1+R_2+R_3}$
3. 电压的分配：$U_1=\frac{R_1}{R_1+R_2+R_3}\times U$（串联分压式）
$\therefore \boxed{U_1:U_2:U_3=R_1:R_2:R_3}$
4. 功率问题：由 $P=I^2R$ ⇒ $\boxed{P_1:P_2:P_3=R_1:R_2:R_3}$
另：$P_总=I^2R_总=I^2(R_1+R_2+R_3)=P_1+P_2+P_3$（代数和）

二、并联（三个电阻）

1. $\boxed{I_总=I_1+I_2+I_3}$；U 相等。
2. 由1.：$I_总=I_1+I_2+I_3$ ⇒ $\frac{U}{R_总}=\frac{U}{R_1}+\frac{U}{R_2}+\frac{U}{R_3}$ ⇒ $\boxed{\frac{1}{R_总}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}}$
3. 电流的分配：$\boxed{I_1:I_2:I_3=\frac{1}{R_1}:\frac{1}{R_2}:\frac{1}{R_3}}$（若只有2个：$\frac{I_1}{I_2}=\frac{R_2}{R_1}$）

PS：2个电阻的并联分流式：$I_1=\frac{R_2}{R_1+R_2}I$，$I_2=\frac{R_1}{R_1+R_2}I$

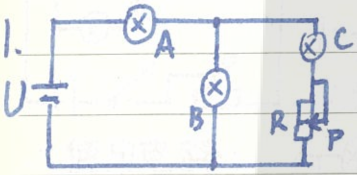
☆串联电路$R_总$大于其中任一分电阻；并联电路$R_总$小于其中任一分电阻。
串联电路电阻越串越大，并联电路电阻越并越小。

4. 功率问题：由$P=\frac{U^2}{R} \Rightarrow \boxed{P_1:P_2:P_3=\frac{1}{R_1}:\frac{1}{R_2}:\frac{1}{R_3}}$

另：$P_总=\frac{U^2}{R_总}=U^2(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3})=P_1+P_2+P_3$ ☆(代数和)

三、运用

1.



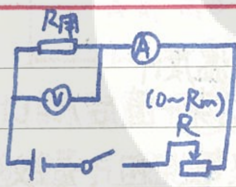
当P上滑，求三个灯泡亮度变化。

A：$I_A\downarrow$，变暗

B：$U_B\uparrow$，$I_B\uparrow$，变亮　　☆(串反并同)

C：$R_C\uparrow$，$I_A\downarrow$，$I_B\uparrow \Rightarrow I_C\downarrow$，变暗

2. 限流电路：



① 电流：$I=\frac{U}{R_用+R} \Rightarrow \frac{U}{R_用+R_m} \le I \le \frac{U}{R_用}$

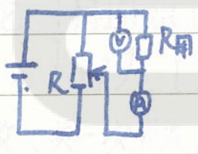
② 电压：$\frac{U_用}{R_用+R_m}U \le U_用 \le U$

③ $U_用$不能调至0。

☆④ R不应过大，也不应过小
R为$R_用$的几倍即可

⑤ 合上K前，R调至R_m处。　(若两种电路都能用，优先选限流式，电路简单、耗能低)

3. 分压电路：



① 电压：$0 \le U_用 \le U$

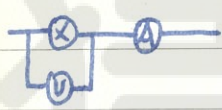
☆② 为了操作方便，R应选较小的。

③ 合上K前，R调至最上端。

④ 当P在R中点时：$U_用<\frac{U}{2}$。

{ 滑小选分压
爆表选分压
从零选分压

4. 伏安外接法：

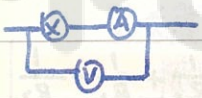


① $R_测=\frac{U}{I}$（I偏大），$R_真=\frac{U_R}{I_R} \Rightarrow R_测<R_真$（系统误差）

② 误差原因：R与Ⓥ并联分流

③ 措施：使$R_V \gg R$，对R_A无要求。

5. 伏安内接法：



① $R_测>R_真$（U偏大）

② 原因：R与Ⓐ串联分压

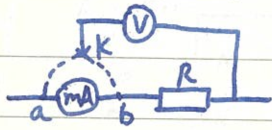
③ 措施：使$R_A \ll R$，对R_V无要求。

☆口诀：大内偏大，小外偏小。（大电阻用内接，测值偏大；小电阻用外接，测值偏小）

$R_x>\sqrt{R_AR_V}$　　$R_x<\sqrt{R_AR_V}$（定量分析）

独立支路法改画电路图：①选一条独立支路，电流从高电势流向低电势（使尽量多的电阻在该支路上）。
②余下的电阻接在相应位置。

6.



接a：2.7V，4mA
接b：2.6V，5mA

$\begin{cases} \frac{\Delta U}{U} = \frac{0.1}{2.7} \\ \frac{\Delta I}{I} = \frac{1}{4} \end{cases}$

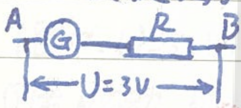
$\because \frac{\Delta U}{U} < \frac{\Delta I}{I}$ $\therefore$ I变化大

$\therefore$ Ⓥ分流多 $\therefore$ 采用内接，不让Ⓥ分流

四、电表的改装

1. 表头Ⓖ：$I_g = 100\mu A$，$R_g = 100\Omega \Rightarrow U_g = 10mV = 0.01V$

2. 改装为$U=3V$（量程）的伏特表：



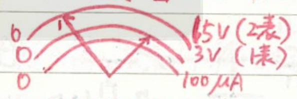
$R = \frac{U}{I_g} - R_g = 29.9k\Omega$ ①用Ⓖ的示数表征AB端的电压。

②$R_V = R_g + R = 30k\Omega$（很大）

PS：有V_1（0~3V）、V_2（0~15V）由两个相同表头改装串联：

$\begin{cases} V_1、V_2\text{的偏转角度：一样（I一样）} \\ V_1、V_2\text{的"读数"：}V_2 > V_1 \end{cases}$

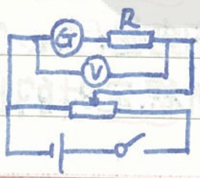
分析方法：$\begin{cases} \text{偏转角度：只看有关的那个表头} \\ \text{读数：看表头与R结合后的改装表} \end{cases}$



偏转角度看实际通过表头的I_g。
读数看上面人为换算的两条刻度。

改装并联：$\begin{cases} \text{"读数"：一样（U一样）} \\ \text{偏转角度：}V_1 > V_2 \end{cases}$

③校表：

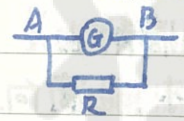


Ⓥ为标准表

改装表的读数始终比Ⓥ小：I_g小，则R偏大了。

措施：给R并联一个R'，使$R' \gg R$，以减小表头电阻

3. 改装为$I=0.6A$的安培表：



$R = \frac{I_g R_g}{I - I_g} \approx 0.017\Omega$ ①用Ⓖ的示数表征AB端的电流

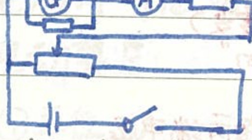
②$R_A = \frac{U_g}{I} \approx 0.017\Omega$（很小）

PS：有A_1（0~0.6A）、A_2（0~3A）由两个相同表头改装：

串联：$\begin{cases} \text{偏转角度：}A_1 > A_2 \\ \text{读数：一样（I一样）} \end{cases}$

并联：$\begin{cases} \text{偏转角度：一样（U一样）} \\ \text{读数：}A_2 > A_1 \end{cases}$

③校表：



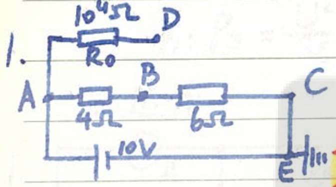
Ⓐ为标准表

改装表的读数始终比Ⓐ小：I_g小，则R偏小了。

措施：给R串联一个R'，使$R' \ll R$，以增大表头的I_g。

动态分析：R→I→U→固定支路 { 并联分流 / 串联分压 } →变化支路；滑动变阻器极限分析

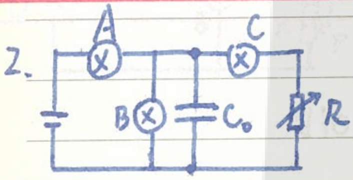
五. 电容器等问题

1.


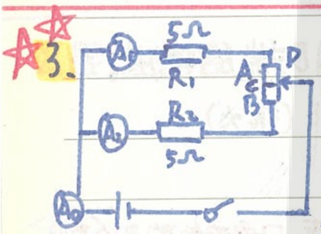
$U_{AB}=4V,\ U_{BC}=6V$

$\because \varphi_E=\varphi_C=0 \quad \therefore \varphi_B=6V,\ \varphi_A=10V$

$U_{AD}=I_{AD}R_0=0 \Rightarrow \varphi_D=\varphi_A=10V$（$R_0$再大都无影响）

2.


$R\uparrow,\ U_{CR}\uparrow,\ U_{C_0}\uparrow,\ Q_{C_0}\uparrow$（类似三.1）

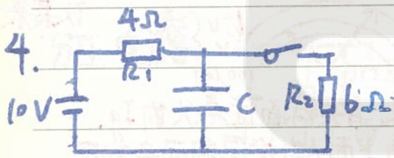
3.


P由A→B：$R_{总}=\dfrac{(R_1+R_A)\cdot(R_2+R_B)}{R_1+R_2+R_{AB}}$

$\therefore A_0$先↓(A→C)后↑(C→B) 中间时R_{max}

A_1一直↓，A_2一直↑

若干路上再串联一个R_3：经过分析，A_1仍一直↓，A_2仍一直↑

4.


要注意两极板电性是否变化

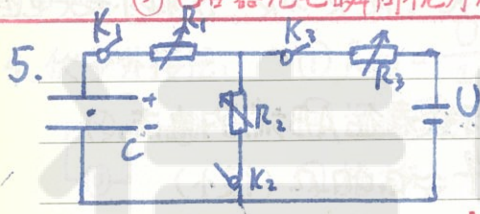
$C=30\mu F$ K闭合：$U_C=U_{R_2}=6V \Rightarrow Q_1=cU=1.8\times10^{-4}C$

K断开：$U_C=10V \Rightarrow Q_2=CU=3.0\times10^{-4}C$

$\therefore$过程中流过R_1的电量：$Q_2-Q_1=1.2\times10^{-4}C$

注：①电容器视为一个断开的开关（断路）。②电容器须分析稳定时的状态。

③电容器充电瞬间视为短路

5.


K_1、K_2、K_3均合上，油滴静止

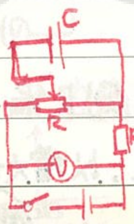
①K_1断开：R_1、C支路上本无I，故油滴静止

②K_2断开：U_C由U_{R_2}大小变为U大小，油滴向上

③K_3断开：C放电，Q↓，油滴下落

④$R_1\uparrow$：支路上无I，油滴静止

⑤$R_2\uparrow$：$U_C=U_{R_2}\uparrow$，油滴向上.



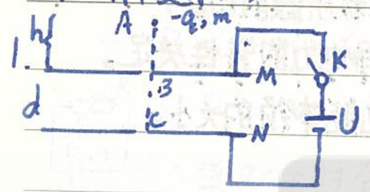
当R改变：V示数不变，C上近似看作"无影响"（U_C要变）

{ 接于电路两端，U_C则为电路两端电压

{ $U_C=E$（不是$U_{路}$）

$\begin{cases} n\text{个相同电源串联: } E_{总}=nE,\ r_{总}=nr \\ n\text{个相同电源并联: } E_{总}=E,\ r_{总}=\frac{r}{n} \end{cases}$

附:期中复习(一)



N固定,K闭合,A静止释放,恰能到达C.

①只将M板上移一小段:

动能定理: $\begin{cases} 原: mg(h+d)-\boxed{Uq}=0-0 \quad \leftarrow U不变 \\ 现: mg(h+d)-Uq=E_{kC}-0 \Rightarrow 恰到C \end{cases}$

② K断开: a. M板上移一小段: $\begin{cases} 原: mg(h+d)-\boxed{Eqd}=0-0 \quad \leftarrow E不变 \\ 现: mg(h+d)-Eqd'=E_{kC}-0 \Rightarrow 达不到C \end{cases}$ $d'>d$

b. N板下移一小段: $\begin{cases} mg(h+d')增加得比Eqd'增加得少 \\ \therefore 达不到C \end{cases}$

2. 1图中: $U=50V$, N接地, P在MN间, $PN=6cm$.

①若N不动,M上移: $E=\frac{U}{d} \Rightarrow E\downarrow \ \therefore U_{PN}=E\cdot d_{PN} \Rightarrow U_{PN}\downarrow \ \therefore \varphi_P\downarrow$

若P点放一负电荷: $E_p=\varphi_P\cdot(-q) \Rightarrow E_p\uparrow$.

②故φ、E_p的正负和变化与移动的板、正负极、接地的板都有关,要分析具体。

3. 螺旋测微器(千分尺)

①构造: 螺距0.5mm,可动旋刻度一周50格 ⇒ 旋钮每转一格,螺杆移动0.01mm ↕精确度

②固定刻度: 1格0.5mm,对应旋钮转一周。可动刻度:50格,一格移动0.01mm.

③读数(mm)=固定尺上读数(mm)+可动尺上读数(估读一位)×精确度(0.01mm)

第四节 电源的电动势和内阻 闭合电路欧姆定律

一、电源的电动势(E)

1. 外电路: +q由高电势向低电势移动: $W_电=U_{AB}\cdot q>0$ ⇒

又$\because q=It \Rightarrow \therefore W_{AB}=UIt$. ⇒ 电能转化为其他形式的能(U的物理意义)

2. 内电路: +q在电源内部受力指向负极,而+q要运动到正极 ⇒ 需要外力(非静电力)对+q做功 ⇒ 其他形式的能转化为电能(E的物理意义) ⇒ $W_非=Eq$.

3. 电动势E:

①单位: V.

PS:

电源U-I图与元件的伏安特性曲线交点可表示该元件在该电路中的实际情况。(条件:该电路只接了该元件)

1. UI：①为输出功率，②为电阻消耗功率
2. $\frac{U}{I}$：①为外电阻(变化)，②为该电阻(不变)
3. $|k|$：①为r，②为R.

(数值上等于非静电力把1C正电荷从内部负极移动到正极所做的功。

②大小：不接外电路时，两极间的电压大小。由非静电力的特性决定。

③物理意义：反映电源把其他形式的能转化为电能本领的大小。

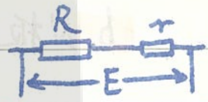
④公式：$\boxed{E=\frac{W_{外}}{q} \Rightarrow W_{外}=Eq}$

⑤标量，但有方向：由负极指向正极(内部)

二、电源内阻(特点：使用越久，内阻越大)

1. 当电源无内阻时，在大小上：$U=E$.

2. 当电源有内阻时：$\begin{cases} 外：U=IR \\ 内：U'=Ir \end{cases} \Rightarrow \boxed{E=U+U'} \Rightarrow$



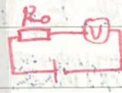
★ ←Ⓥ直接接电源两端，测的是U，不是U'和E。而若为理想表，则视为U=E.

3. 外电路中：$U=IR$，称为路端电压，可用Ⓥ测。

内电路中：$U'=Ir$，称为内电压；不能用Ⓥ测得。

4. ①外电路断路：$R\to\infty$；

M ⊣⊢ N $I=0 \Rightarrow U'=0 \Rightarrow E=U$ ←测量E的依据：直接接一个理想电压表



$U=E$，与R_0无关。

②外电路短路：

$R=0 \Rightarrow U=0 \Rightarrow E=U'=Ir \Rightarrow \boxed{I_{短}=\frac{E}{r}}$ (很大)

三、闭合电路欧姆定律(纯电阻电路)

1. $E=U+U'=IR+Ir=I(R+r)$

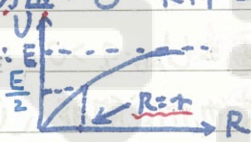
$\therefore \boxed{I=\frac{E}{R+r}}$ (外电路为纯电阻电路)

2. $\begin{cases} E=U+U' \\ E=U+Ir \end{cases}$ (可用于外电路非纯电阻)

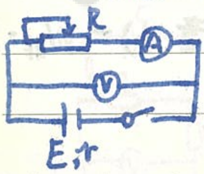
四、U与R的关系：

1. 串联分压：$U=\frac{R}{R+r}E \Rightarrow U=\frac{E}{1+\frac{r}{R}} \Rightarrow R\uparrow$，则$U\uparrow$

2. 图象：

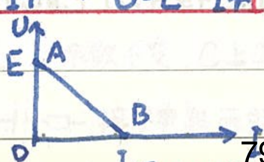


五、U与I的关系：



1. $\boxed{E=U+Ir \Rightarrow U=E-Ir}$ (一次函数)

2. 图象：



A：外电路断路(读E)

★ B：外电路短路(算$r=\frac{\Delta U}{\Delta I}$)

$I_{短}$ ←必须是纵坐标端点为0才为$I_{短}$

电源效率 η：$\eta=\frac{P_R}{P_总}=\frac{UI}{EI}=\frac{U}{E}=\frac{R}{R+r}$ ⇒ R越大，效率越高；而功率的变化与其不一致。（$R=r$时有P_{max}）

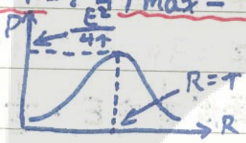
↓输出功率

六、P_R与R的关系：

1\. $P_R=I^2R=(\frac{E}{R+r})^2\cdot R=\frac{E^2}{\frac{(R+r)^2}{R}}=\frac{E^2}{\frac{(R-r)^2+4Rr}{R}}=\frac{E^2}{\frac{(R-r)^2}{R}+4r}$

☆∴当$R=r$时有$P_{max}=\frac{E^2}{4r}$

2\. 图象：



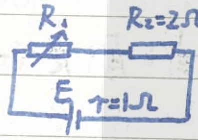
$R<R_{max}$时，每个P对应两个电阻：R_1或R_2.

☆☆3. 一个电源，分别接R_1、R_2、P相等，则$r=\sqrt{R_1\cdot R_2}$.

解：$(\frac{E}{R_1+r})^2\cdot R_1=(\frac{E}{R_2+r})^2\cdot R_2$ ⇒ $R_1(R_2+r)^2=R_2(R_1+r)^2$ ⇒ $r^2(R_1-R_2)=R_1R_2(R_1-R_2)$

∴ $r^2=R_1R_2$.

4\.



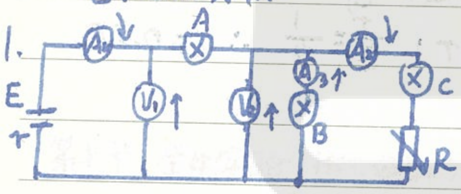
①当$R_1=$ 0 时，P_r最大　$P_r=I^2r$ ⇒ I_{max}有P_{max}

②当$R_1=$ 0 时，P_{R_2}最大　$P_{R_2}=I^2R_2$ ⇒ I_{max}有P_{max}

★③当$R_1=$ 3Ω 时，P_{R_1}最大　由1：$R_1=R_2+r$时有P_{max}

七、电路分析：

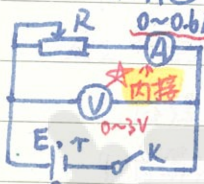
1\.



R↑：A_1↓，A_2↓，A_3↑；$\boxed{V_1↑}$，V_2↑（V_1测U而非E）

八、测E与r的几种方法：

1\. 有Ⓥ、Ⓐ、滑动变阻器（伏安法）UI

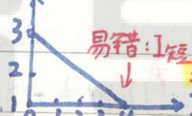


（1）原理：$E=U+Ir$ ⇒ $U=E-Ir$

（2）数据处理：①计算法：$\begin{cases}E=U_1+I_1r\\E=U_2+I_2r\end{cases}$ ⇒解得　（误差：Ⓥ分流，I↓）

☆r应大些，使U变化明显

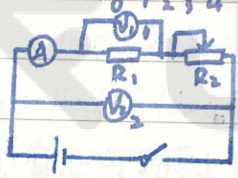
②图象法：



易错：$I_{短}\neq4A$ =6A.

$\begin{cases}I=0：读出U=E=3V\\U=0：算出r=\frac{\Delta U}{\Delta I}=\frac{2}{4}=0.5\Omega\end{cases}$

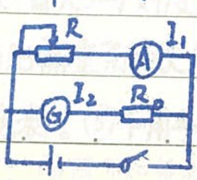
（3）变一下：



$\frac{\Delta U_1}{\Delta I}$是：$R_1$　原

$\frac{\Delta U_2}{\Delta I}$是：r　因

（4）再变：



$R_0=990\Omega$，$I_g=3mA$，$R_g=10\Omega$

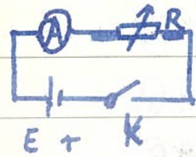
联系表头改装的知识，即-G-R_0-为一个0~3V的Ⓥ.

注：测E、r的电路中，若还有其他电阻，如R串联R_0之类，计算绘图都应加进去：$I=\frac{E}{R+R_0+r}$ ……

☆因为原理是闭合电路欧姆定律，所有有关电阻都应在公式中呈现，解题时要注意。

2. 一个Ⓐ与一个R（安阻法）

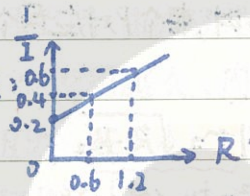
I R



(1)原理：$I=\frac{E}{R+r}$（记）$\Rightarrow \frac{1}{I}=\frac{R+r}{E} \Rightarrow \frac{1}{I}=\frac{r}{E}+\frac{1}{E}\cdot R$（一次函数）

(2)数据处理：①计算法：$\begin{cases} I_1=\frac{E}{R_1+r} \\ I_2=\frac{E}{R_2+r} \end{cases}$

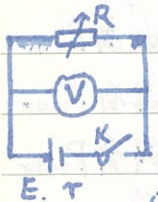
②图象法：



$\begin{cases} \text{先由斜率求}\frac{1}{E}\Rightarrow E:\ \frac{1}{E}=\frac{0.4}{1.2}=\frac{1}{3}\ \therefore E=3V \\ \text{再由截距求}r:\ \frac{r}{E}=0.2 \Rightarrow r=0.6\Omega \end{cases}$

3. 一个Ⓥ与一个R（伏阻法）

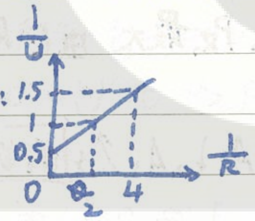
U R



(1)原理：$U=\frac{R}{R+r}E$（记）$\Rightarrow \frac{1}{U}=\frac{R+r}{RE} \Rightarrow \frac{1}{U}=\frac{1}{E}+\frac{r}{E}\cdot\frac{1}{R}$（一次函数）

(2)数据处理：①计算法：$\begin{cases} U_1=\frac{R_1}{R_1+r}E \\ U_2=\frac{R_2}{R_2+r}E \end{cases}$

②图象法：



$\begin{cases} \text{先由截距求}E:\ \frac{1}{E}=0.5\ \therefore E=2V \\ \text{再由斜率求}r:\ \frac{r}{E}=\frac{1}{4}\ \therefore r=0.5\Omega \end{cases}$

第五节、学生实验：测量电源的电动势和内阻（略，见上）

第六节、焦耳定律 电路中的能量转化

一、电功和焦耳热（电热）

1.电流做功$W_电$：

① $I=\frac{q}{t} \Rightarrow W=Uq=UIt$　　☆ $1kW\cdot h=3.6\times10^6 J$

又∵ $\boxed{P=UI}$ ∴ $W=Pt$

②物理意义：表示消耗电能的多少。

2.电热：

① $\boxed{Q_热=I^2Rt}$

②意义：表征产生内能的多少。

纯电阻，电动机不开：$U=IR$
非纯电阻，电动机开：$U>IR$ ⇒ U不变，是I减小了。

3. $\begin{cases} W=UIt\ (P=UI)\text{:适用于任何用电器} \\ Q=I^2Rt\ (P=I^2R)\text{:适用于任何用电器} \end{cases}$ ⇒ 任何电路中，$W\geq Q$

二、能的转化和守恒

1. $E=U+U' \Rightarrow qE=Uq+U'q \Rightarrow IE=IU+IU'$ ⇒ 提供 = 外耗 + 内耗
(W)　　(P)

2. 纯电阻：$IE=I^2(R+r) \Rightarrow I=\frac{E}{R+r}$　　Ps：电动机：-(M)-
非纯电阻(外电路)：$\boxed{UI=P_{机}+I^2R} \Rightarrow U>IR$

例1：-(M)- $I=2A$　$R=1\Omega$，$U=10V$　　注：发热功率一定要用实际电流 I^2R。
① 求 $P_{机}$：$P_{机}=UI-I^2R=16W$　　消耗功率一定要用 UI。　　在非纯电阻电路中无意义了
② 求 η：$\eta=\frac{P_{机}}{UI}=\frac{UI-I^2R}{UI}=\frac{4}{5}=80\%$　　∴ I 在电动机变化中是会变化的，且不要使用 $\frac{U^2}{R}$，易算错。

例2：2A，10V，$v=1m/s$，$m=1.6kg$　匀速上升。求 R。
$P_{机}=Fv=mgv \Rightarrow R=\frac{UI-P_{机}}{I^2}=\frac{UI-mgv}{I^2}=1\Omega$.

第七节、学生实验：练习使用多用电表

Ω　A、V　V~

一、欧姆表（粗测R）

1. 器材：电流表（$I_g=100mA$，$R_g\approx5\Omega$）、电池（$E=2.0V$）、调零电阻 R_0、红黑表笔。（↑很小）

2. 特点：→红笔"+" → |I → 黑笔"−" →（黑出红进）

3. 原理：$I=\frac{E}{r+R_g+R_0+R_x} \Rightarrow \boxed{I=\frac{E}{R_{内}+R_x}}$

4. 计算法：① 表笔短接，调 R_0，使有 $I_g \Rightarrow R_{内}=\frac{E}{I_g}=20\Omega$（$R_{内}$由 E、$I_g$ 决定）← 欧姆调零
② 接入 R_x：$I=\frac{E}{R_{内}+R_x}$ ⇒ 测出 R_x：∞Ω 0A　20Ω 50mA　0Ω 100mA　（相邻阻值刻度不等距）← 越往左刻度越密
内部原理：③ 调档：$R_{内}$：×1　×10　×100　×1k　×10k …
换一个E或R_g　　20Ω　200Ω　2000Ω　… ← $R_{内}$与刻度上的中值电阻数值吻合
∵ $R_{内}=\frac{E}{I_g}$ ← 则×10、×100. ← 不变　　I_g：100mA　10mA　1mA　…　偏角小（R大）则调大，偏角大（R小）则调小
↑要×10、×100…　选择档值：看 R_x 与刻度上中值电阻的关系：$R_x\approx18\Omega$，则选×1，中值20Ω，接近。

5. 注：① 换档后需重新欧姆调零。② 测电路中的电阻，必须将电阻取出再测，以防外部电源烧坏电表。③ 不用手碰到 R_x。④ 测完后调至"off"或"交流电压最高档"。⑤ 使用前应机械调零。⑥ 若不知待测电阻估计值，应从小倍率测起。

↓R内↓ ↓刻度盘不变，读数则偏大

★6.思考：若E略小，仍欧姆调零，则测出电阻值比实际值偏大。

二、用欧姆表判定二极管的极性

1.二极管：+▷|−，半导体（U越大，R越小）$\begin{cases}\text{左}\to\text{右：正向R很小}\\ \text{右}\to\text{左：逆向R很大}\end{cases}$

2.$\begin{cases}\text{黑笔接左端(+)，读数小，调~~大~~小倍率档}\\ \text{黑笔接右端(−)，读数大，调大倍率档}\end{cases}$

★★★三、补充：测E、r实验误差分析

1.伏安法的误差：$\begin{cases}E_{测}=U_1+I_1r_{测}\\ E_{测}=U_2+I_2r_{测}\end{cases} \Rightarrow \begin{cases}r_{测}=\dfrac{U_1-U_2}{I_2-I_1}\\ E_{测}=\dfrac{U_1I_2-U_2I_1}{I_2-I_1}\end{cases}$ （令$U_1>U_2$）

识记

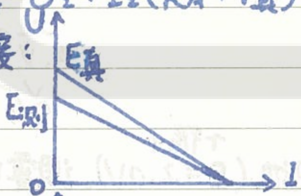
误差来源：Ⓥ分流：$\begin{cases}E_{真}=U_1+(I_1+\dfrac{U_1}{R_V})r_{真}\\ E_{真}=U_2+(I_2+\dfrac{U_2}{R_V})r_{真}\end{cases} \Rightarrow \begin{cases}r_{真}=\dfrac{U_1-U_2}{I_2-I_1-\dfrac{U_1-U_2}{R_V}}>r_{测}\\ E_{真}>E_{测}\end{cases}$

2.伏安法，若Ⓐ外接：误差来源于Ⓐ分压

识记

$\therefore\begin{cases}E_{真}=U_1+I_1(R_A+r_{真})\\ E_{真}=U_2+I_2(R_A+r_{真})\end{cases} \Rightarrow \begin{cases}E_{真}=E_{测}\\ r_{真}=\dfrac{U_1-U_2}{I_2-I_1}-R_A<r_{测}\end{cases}$

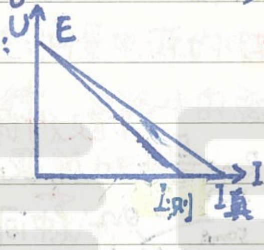
记忆法3.①内接：



$I_{真}=I_{测}+I_V$，而$I_V=\dfrac{U_V}{R_V}=\dfrac{U}{R_V}$

$\therefore U\uparrow$，误差$\uparrow$。

②外接：



$U_{真}=U_{测}+U_A=U_{测}+IR_A$

$\therefore I\uparrow$，误差$\uparrow$

4.仪器选择：$R_{滑}$不宜大；R_V尽量大；R_A看情况。

第三章、磁场

第一节、磁现象 磁场

一、磁现象

1. 电流磁效应：奥斯特发现电流能产生磁场。
2. 电磁感应现象：法拉第发现"磁生电"。(发电机)

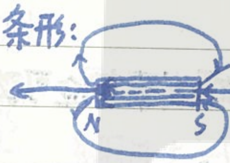
二、磁场

1. 概念：磁体或电流的周围空间。性质可类比电场。
2. 一切磁的相互作用是通过它们的场实现。☆(磁之间、磁与通电导体、通电导体之间)
3. 磁感线：用于描述磁感应强度(B)的大小与方向；非实际存在。

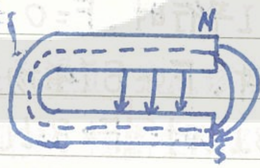
☆与电场线的区别：磁感线是闭合的，电场线不闭合。 ☆ 小磁针N极所指的方向 静止时

三、几种特殊磁场的磁感线

(1) 磁体 1. 条形：

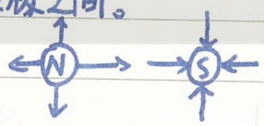


2. U形：



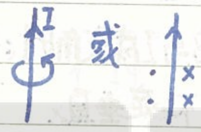
3. 匀场：处于两异名磁极之间。(距离很近)

4. 磁单极(若存在)：



安培定则：判断电流等产生磁场方向；判断产生某磁场的电流方向

(2) 电流 5. 直线电流(安培定则)：右手



左手定则：分析通电导体、受到磁场、安培力三者关系(此时一般忽略电流自身磁场)

☆6. 环形电流：

等效为条形磁体 ⇒

7. 地磁场：

地理北极 → 地磁南极 ☆地球带负电

地理南极 → 地磁北极

8. 长直通电螺线管：

管内为匀场且最强

四、分子环形电流假说(安培)：

物质内部有大量"分子"环形电流，每一个环形电流相当于一个小磁体；被磁化时大量"小磁体"指向一致，对外显磁性；失磁时，

$F_{安}$做功特点：与路径有关。
实质：能量转化。

环形电流取向杂乱，故不能显磁性。高温及剧烈敲击可消磁。

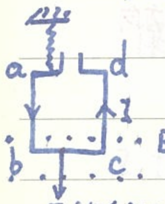
☆说明：磁体的磁场与电流的磁场本质一样：电荷的运动。

用于解释磁体的磁现象而非电流的磁现象。

第二节、磁场对通电导线的作用——安培力

一、磁场的性质：对放入其中的磁体或电流有力的作用。

二、实验分析：(分析时一般忽略导线产生的磁场)



1. 当L(长度)一定时，$F \propto I$；当I一定时，$F \propto L$。 $\Rightarrow F \propto I \cdot L$

☆条件：磁场与I垂直。

2. 当磁场与I平行时，$F=0$。

F(左手定则) 3. 当L、I一定时，$F \propto B$ (磁场强弱) (用通电螺线管实验可改变B)

4. 结论：当$B \perp I$时：$\boxed{F=B \cdot IL}$，称为安培力。

↑此时F_{max}

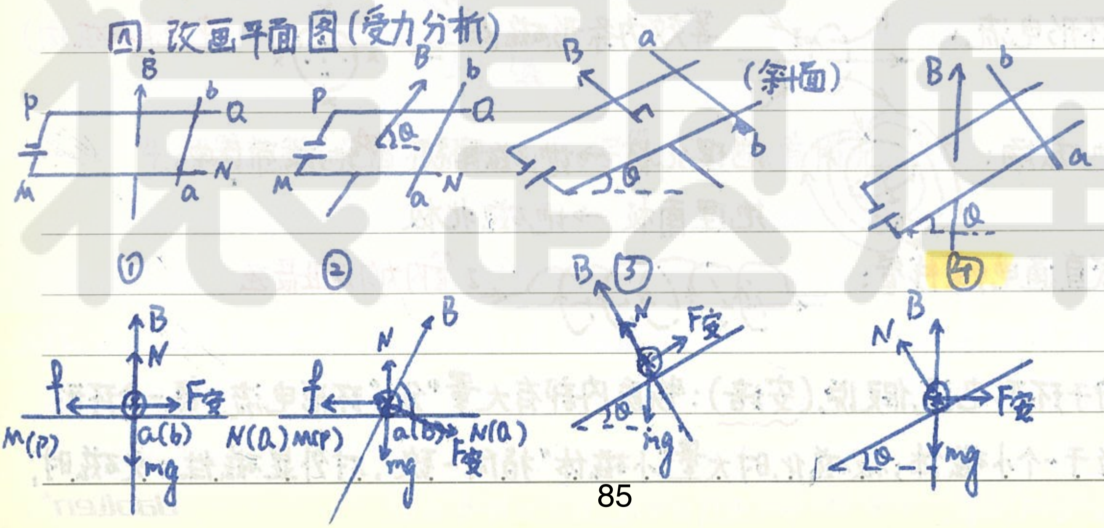
三、安培力

1. 大小：$\begin{cases} 当B // I(L)：F_{安}=0 \\ 当B \perp I(L)：F_{安}=B \cdot IL \end{cases}$

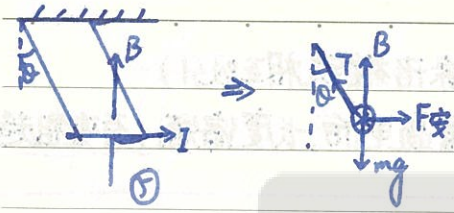
2. 方向：用左手定则判定；B与I成夹角时：

☆☆故$F_{安} \perp$面BI，而B与I不一定垂直。

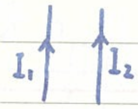
四、改画平面图(受力分析)



☆两不平行的直线电流相互作用时，有转到平行且电流方向相同从而相互靠近的趋势。



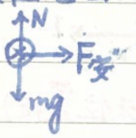
五.运用



1. 视为I_2放入I_1的磁场中：∵ I_1 ×× I_2 ×× 左手：$F \leftarrow I_2$

同理 $I_1 \to F$ ☆结论：同向相吸，异向相斥. (转换研究对象法)

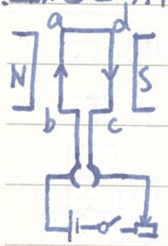
2.(图见四.①)轨道光滑，不考虑导线运动产生的感应电流。



运动x后，求v. ↑m极小时，v极大

动能定理：$\boxed{BILx=\frac{1}{2}mv^2} \Rightarrow v=\sqrt{\frac{2BILx}{m}}$ 应用：电磁炮

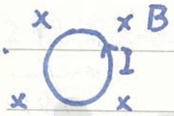
3.直流电动机



通电 → ab向里，cd向外 → 竖直，金属环不接触电路 → 靠惯性翻过去 → 电流方向翻转，线圈受力仍使其向同一方向翻转

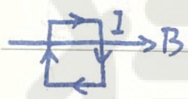
六、关于安培力受力讨论

1.



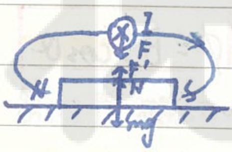
$F_安=0$，有缩小趋势；

$F_安=0$，有扩大趋势

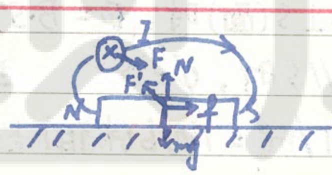


$F_安=0$，☆但线圈会转动 (电流元法)

☆2.

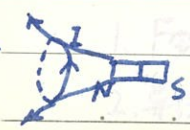


分析I → 由相互作用力分析条形磁铁



(转换研究对象法)

3.

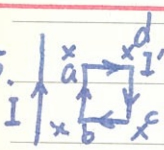


圆环上每一小段受到向右分力与背离圆心方向的分力

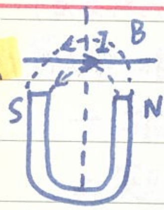
∴圆环向右移动，同时有变大趋势 (等效法)

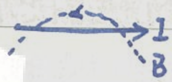
4. 类似3:  I_1向右，I_2向左（可等效为两条形磁铁相互吸引）

且都有扩张趋势；故螺线管通电后，长度缩短，有变粗趋势

5.  ad、bc受力平衡，ab受力向左，cd向右，且$F_{ab}>F_{cd}$

∴线圈向左移动。

6.  通电后，导线运动情况。

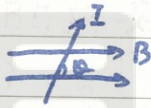
左手定则，分析： 则俯视：顺时针转动

当转90°时，分析：

∴向下运动。（特殊位置法）

第三节 磁感应强度 磁通量

一、磁感应强度

1. 定义式：$\boxed{B=\frac{F}{IL}}$（IL称为电流元）矢量，方向为磁场方向
2. 单位：$1N/(A\cdot m)=1T$（特斯拉）
3. B由自身因素决定，与F、I、L无关。
4. $\begin{cases}\text{当}B\perp L: F=BIL\\ \text{当}B\text{与}I\text{有夹角}\theta:\end{cases}$  $\boxed{F=BIL\sin\theta}$ 有效长度

二、磁通量（Φ）

1. 定义：当$B\perp S$(面)时，$\boxed{\phi=B\cdot S}$（S必须充满磁场）有效面积

当$B\parallel S$时，$\phi=0$ 当有夹角θ： $\boxed{\phi=BS\cos\theta}$

2. 单位：$1T\cdot m^2=1Wb$（韦伯）

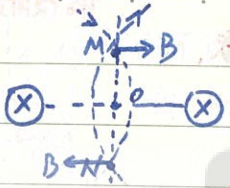
☆3. φ为标量，但有B穿过的方向。

4. 意义：表征穿过这个平面的磁感线的条数。

☆5. 磁通密度：$\boxed{B=\frac{\phi}{S}}\Rightarrow 1Wb/m^2=1T=1N/(A\cdot m)$

PS：穿过任意闭合曲面的磁通量一定为0。

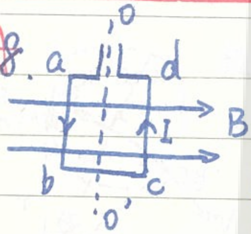
接左页

7. 

O：磁强 $B=0$　M：向右　N：向左

若在MON放一条向上的电流I：从左向右看，逆时针旋转（分段受力分析）

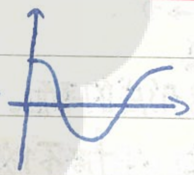
---

8. 

$ab=L_1$，$bc=L_2$，电流为I，有N匝

$F_{ab}=NBIL_1=F_{cd}$（方向相反）；$F_合=0$

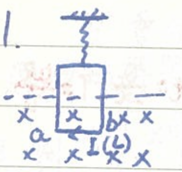
$\begin{cases} 力矩\ M_合=F_{ab}\times\frac{1}{2}L_2+F_{cd}\times\frac{1}{2}L_2 \boxed{=NBIL_1L_2=NBIS} \\ \phi=0. \end{cases}$

∴当转过θ时：$\boxed{M_合=NBIS\cos\theta}$ ⇒ 

当转过90°时：① $F_合=0$（恒）② $M_合=0$（$\cos\theta=\cos90°=0$）

③ $\phi=BS=BL_1L_2$（不算N匝）（有$M_合$与ϕ互相转化的"感觉"）

六、测B：

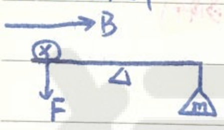
1. 

$I=0$时为F_1；通I时为F_2

∴ $F_安=F_2-F_1=BIL$ ⇒ $B=\frac{F_2-F_1}{IL}$

---

2. 电流天平：



∴ $BIL=mg$ ⇒ $B=\frac{mg}{IL}$

若有N匝：$\boxed{BILN=mg}$

第四节、磁场对运动电荷的作用——洛伦兹力

一、大小（推导）

1. $F_安=BIL$

2. 导线内，单位体积内的自由电荷数为n，电量为q（一个），横截面积为S，

1. v一定时，弧长(弦长)越大，圆心角越大，t越长 (条件:劣弧)

2. v变化时，圆心角大的t长.

3. 圆形B中，当运动轨迹半径 $r > R$(B的半径)时，则入射点、出射点为B的直径的两端点时偏转角最大.
↑即弦长最长.

长度为L，定向移动速率v。

3. $I=\frac{Q}{t}=\frac{nSvtq}{t}=\boxed{nqSv}$

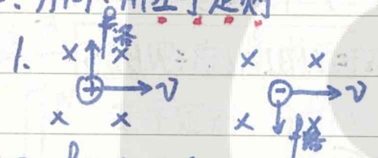
4. $F_{安}=BIL=B\cdot nqSv\cdot L \Rightarrow nSL=N$(总个数)

即$F_{安}$为N个粒子受力的合力 ⇒ $F_{安}=Nf_{洛}$

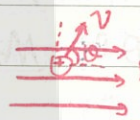
5. $\boxed{f_{洛}=\frac{F_{安}}{N}=qvB}$

二、方向：用左手定则

1.



☆2. $f_{洛}$仅垂直于v与B形成的平面。 当B与v有夹角θ:



$f_{洛}=qvB\sin\theta$.

☆3. ∵ $f_{洛}\perp v$恒成立 ∴ $f_{洛}$不做功

三、只在$f_{洛}$作用下且$B\perp v$的运动

1. 运动：匀速圆周运动。$f_{洛}=F_{向}$

2. $f_{洛}=qvB=m\frac{v^2}{r} \Rightarrow \boxed{r=\frac{mv}{qB}}$

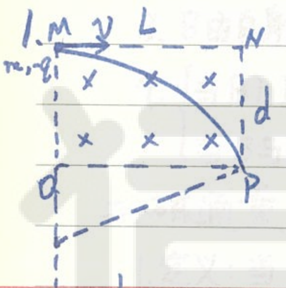
3. $\boxed{T=\frac{2\pi r}{v}=\frac{2\pi\cdot mv}{qvB}=\frac{2\pi m}{qB}}$ (与v无关) ⇒ $\boxed{w=\frac{2\pi}{T}=\frac{qB}{m}}$

☆4. 在磁场中运动时间t：由T与在磁场中的圆心角大小决定。$t=\frac{\theta}{2\pi}\cdot T=\frac{\theta R}{v}$

5. $f_{洛}=ma \Rightarrow \boxed{a=\frac{qvB}{m}}$. (v为已知量，故不写)

四、应用：定圆心，画轨迹，求半径及周期(几何)

1.

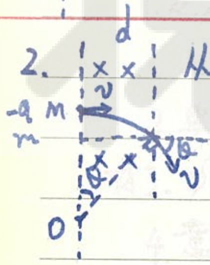


①若从Q飞出：$r_1=\frac{d}{2}=\frac{mv_1}{qB}$, $t_1=\frac{T}{2}=\frac{\pi m}{qB}$

②若从P飞出：$r_2=\sqrt{(r_2-d)^2+L^2}=\frac{mv_2}{qB}$

}(多解)

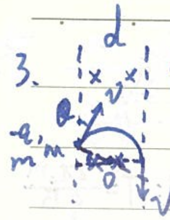
2.



从右飞出时v方向改变了θ($\theta=60^\circ$)

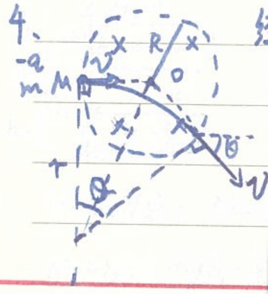
∴ $r\sin\theta=d$. ⇒ $r=\cdots$, $T=\cdots$

多解：带电粒子电性不确定；磁场方向不确定；临界状态不唯一；运动周期性.



3. 恰好不飞出右边界，$r=?$

☆ $\therefore r+r\cos\theta=d \Rightarrow r=\cdots,\ T=\cdots$



4. 经磁场后v方向改变θ ($\theta=60^\circ$)

$\therefore \frac{R}{r}=\tan\frac{\theta}{2}$

☆发现：$v\downarrow$，圆心角$\uparrow$，而T不变，故$t\uparrow$.

(v越大，轨迹越平缓)

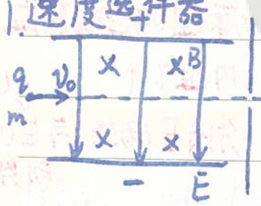
5. 圆筒，粒子与筒内壁碰撞无能量损失且q不变。

若与内壁碰撞2次后回到M，求轨迹对应圆心角。

☆ $\theta=60^\circ$.(注意不是120°!) $\Rightarrow r=\cdots,\ T=\cdots$

五、重力不计的带电粒子在磁场中的运动

1. 速度选择器



① 与电性无关

② 若v_0进入，则：$Eq=qvB \Rightarrow$ 匀速时：$\boxed{v=\frac{E}{B}}$

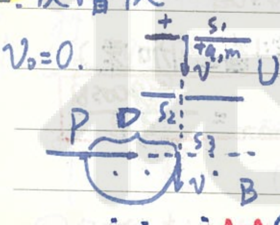
③ 若满足匀速，则与电性、电量均无关。但v、E、B的方向须相互制约。

④ 若$v>v_0$，为$+q$：向上弯，乱运动；$W_电<0$，$W_{f洛}=0$

若$v<v_0$，为$+q$：向下弯；$W_电>0$，$W_{f洛}=0$

2. 质谱仪

$v_0=0$.



① U中：$Uq=\frac{1}{2}mv^2-0 \Rightarrow v=\sqrt{\frac{2Uq}{m}}$

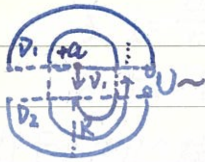
② B中：$r=\frac{mv}{qB}=\frac{1}{B}\sqrt{\frac{2Um}{q}}=\frac{D}{2}$

③ $\therefore \frac{2Um}{q}=\frac{B^2D^2}{4} \Rightarrow \boxed{\frac{q}{m}=\frac{8U}{B^2D^2}}$

☆☆④ 当进入U的q的v_0不一定为0时，为了选择，可在S_2、S_3间加一个速度选择器(E、B_1)，令S_3下为B_2. 则：

$$\begin{cases} v=\frac{E}{B_1} \\ r=\frac{D}{2}=\frac{mv}{qB_2} \end{cases} \Rightarrow \boxed{\frac{q}{m}=\frac{2E}{DB_1B_2}}$$

3、回旋加速器：①只要最后一圈：$R=\frac{mv_t}{qB} \Rightarrow \boxed{v_t=\frac{RqB}{m}}$



$\therefore v_t$与R、B、$\frac{q}{m}$有关，与U无关。

②要使其每次都刚好加速：U的周期与q的周期相同：$T=\frac{2\pi m}{qB}$

③ $E_{kmax}=\frac{1}{2}mv_t^2=\frac{1}{2}m\times\frac{R^2q^2B^2}{m^2}=\frac{R^2q^2B^2}{2m}$

④若已知m, q, U, R, B，求加速几次？

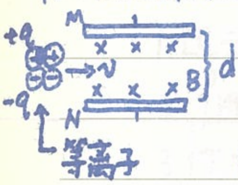
$\boxed{N=\frac{E_{kmax}}{Uq}}=\frac{R^2qB^2}{2mU}$

⑤求在磁场中的总时间$t_总$（加速时间不计）

$t_总=N\times\frac{T}{2}=N\frac{\pi m}{qB}$

⑥缺点：不能加速太大（接近光速后m会变化，T不好控制）

4、磁流体发电机（等离子体发电机）



变成为电容器，有了E。

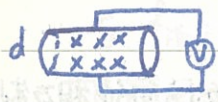
实际上是偏离轴线飞出而不是直线飞出，d很小，视为直线飞出

①若有N对等离子打在金属板：$Q=Nq$，$U=\frac{Q}{C}=\frac{Nq}{C}$，$E=\frac{U}{d}=\frac{Nq}{Cd}$

②设第$(N+1)$对进入后匀速：$Eq=qvB \Rightarrow \frac{Nq}{Cd}\cdot q=qvB \Rightarrow N=\frac{CdvB}{q}$

③ $\because Eq=qvB \Rightarrow \frac{U}{d}=vB \Rightarrow \boxed{U=Bdv}$

④运用：$v=\frac{U}{Bd}$



$\therefore Q_{流量}=\pi(\frac{d}{2})^2\times v=\frac{\pi dU}{4B}$ (m^3/s)

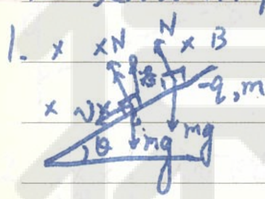
称为磁流量计

注：原理：电磁感应；内阻不计；分清E（场强）与E（电动势）

六、带电粒子在复合场中的运用

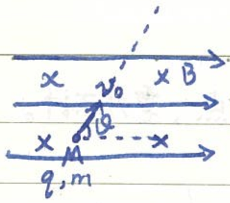
注：受力分析、$f_洛$变化

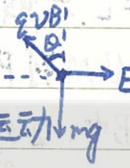
1.



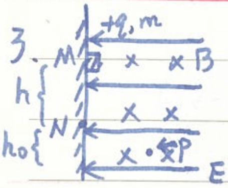
静止释放 ①有v时（有N时：）$\begin{cases} N+qvB=mg\cos\theta \\ a=g\sin\theta \text{（斜面上匀加速）} \end{cases}$

② $N=0$时离开斜面：$qvB=mg\cos\theta \Rightarrow \boxed{v_{max}=\frac{mg\cos\theta}{qB}}$

2.  E 从M射入，沿虚线做直线运动

①受力分析发现：必须考虑重力。  ∴必带正电

且一定为匀速直线运动 必须使其三力平衡

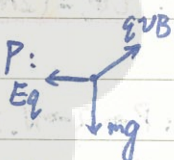
3.  M处静止释放，在N时离开墙壁，在P处平衡。已知$+q, m, g, \mu, B, E, h, h_0$。

求：①MN中克服摩擦力做功。

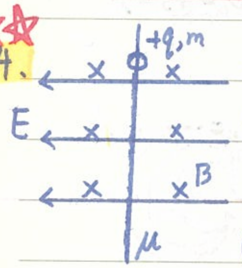
②P到墙的水平距离。

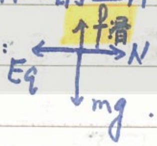
(1) 在N点：$N=0$，$qvB=Eq$

$M\to N$: $mgh - W_{f克} = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow W_克$求得.

(2) P:  由勾股定理求出v_P.

$N\to P$: $mgh_0 - Eqx = \frac{1}{2}mv_P^2 - \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow x$求得

4.  小球串在杆上静止释放。

①开始:  $f_滑=\mu N=\mu Eq$ ∴ $mg-\mu Eq=ma$.

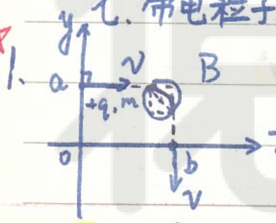
②有v: $\begin{cases} Eq=N+qvB \\ mg-f_滑=ma \Rightarrow 先: a\uparrow的加速 \\ f_滑=\mu N \end{cases}$

③ a_{max}时: $f_滑=0$, $N=0$, $Eq=qvB$.

④超过a_{max}时: N反向，后: $a\downarrow$的加速

⑤当v_{max}时: $a=0$: $Eq+N=qv_{max}B \Rightarrow$ 求出v_{max} ⇒ 最终做匀速直线运动

七、带电粒子的一些特殊运动

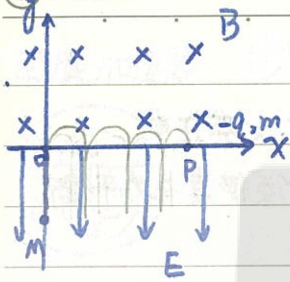
1.  在第一象限有垂直于纸面的B，从b处垂直x轴飞出第一象限。若B为圆形磁场，则其最小面积S_{min}?

① $qvB=m\frac{v^2}{r} \Rightarrow r=\frac{mv}{qB}$

②分析：粒子在B中转过90°圆弧，只要B能将圆弧"装进去"即可.

当R为圆弧对应弦长的一半时有R_{min}.

∴ $R_{min}=\frac{\sqrt{2}}{2}r=\frac{\sqrt{2}mv}{2qB} \Rightarrow S_{min}=\cdots$

2.


$PO=L$. 在y轴上的M点静止释放且能通过P点，重力不计。求从M到P的时间t及MO的长。

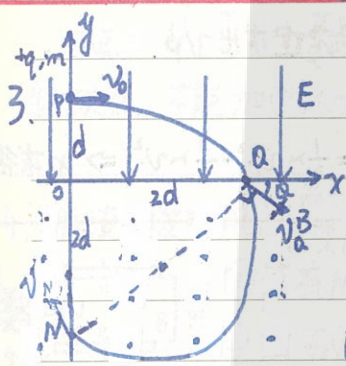
① B中：$2r\cdot N=L\ (N=1,2,3,\cdots) \Rightarrow r=\frac{L}{2N}$

$qvB=m\frac{v^2}{r} \Rightarrow r=\frac{mv}{qB}$

② E中：$Eqy_0=\frac{1}{2}mv^2$

时间：③ B中：$t_{磁}=\frac{T}{2}\times N$

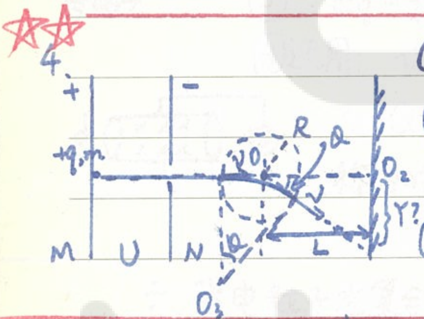
④ E中：$t_{电}=(2N-1)t_0$，t_0：$v=\frac{Eq}{m}t_0$

3.


路径：P→Q→N. 求：① E、B. ② P→N：t。

①E中：类平抛：
$$\begin{cases} d=\frac{1}{2}\times\frac{Eq}{m}t_1^2 \\ 2d=v_0t \\ v_Q=\sqrt{2}v_0\ (想一下) \end{cases} \Rightarrow E=\cdots,\ \theta=45°.$$

② B中：$r=\frac{mv_Q}{qB}$ 又∵ $r=\sqrt{2}d$ ∴ $B=\cdots$，$t_2=\cdots$

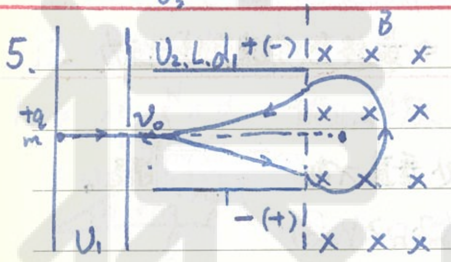
☆☆ 4.


① E中：$Uq=\frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v=\sqrt{\frac{2Uq}{m}}$

② B中：$qvB=m\frac{v^2}{r}\Rightarrow r=\frac{mv}{qB}\Rightarrow r=\cdots$

☆ $\tan\frac{\theta}{2}=\frac{R}{r}$ (一定要写这一步)

③ ∴ $Y=\tan\theta\cdot L$

5.


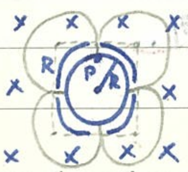
U_2"回旋加速"

① $U_1q=\frac{1}{2}mv_0^2$

② $$\begin{cases} L=v_0t_1 \\ y=\frac{1}{2}\times\frac{Eq}{m}t_1^2 \\ v_y=\cdots,\ \tan\theta=\cdots \end{cases}$$

③ $qvB=m\frac{v^2}{r}$

$v^2=v_0^2+v_y^2$

6.


内外壳均为R，在两壳间加U（$\varphi_{内}>\varphi_{外}$），P处+q，m粒子飞出。画轨迹如图。(问：求B)

$r=R$，每次转$\frac{3}{4}$圆弧