猿题库 整理出品

语文
数学
英语
化学

高考 学霸笔记

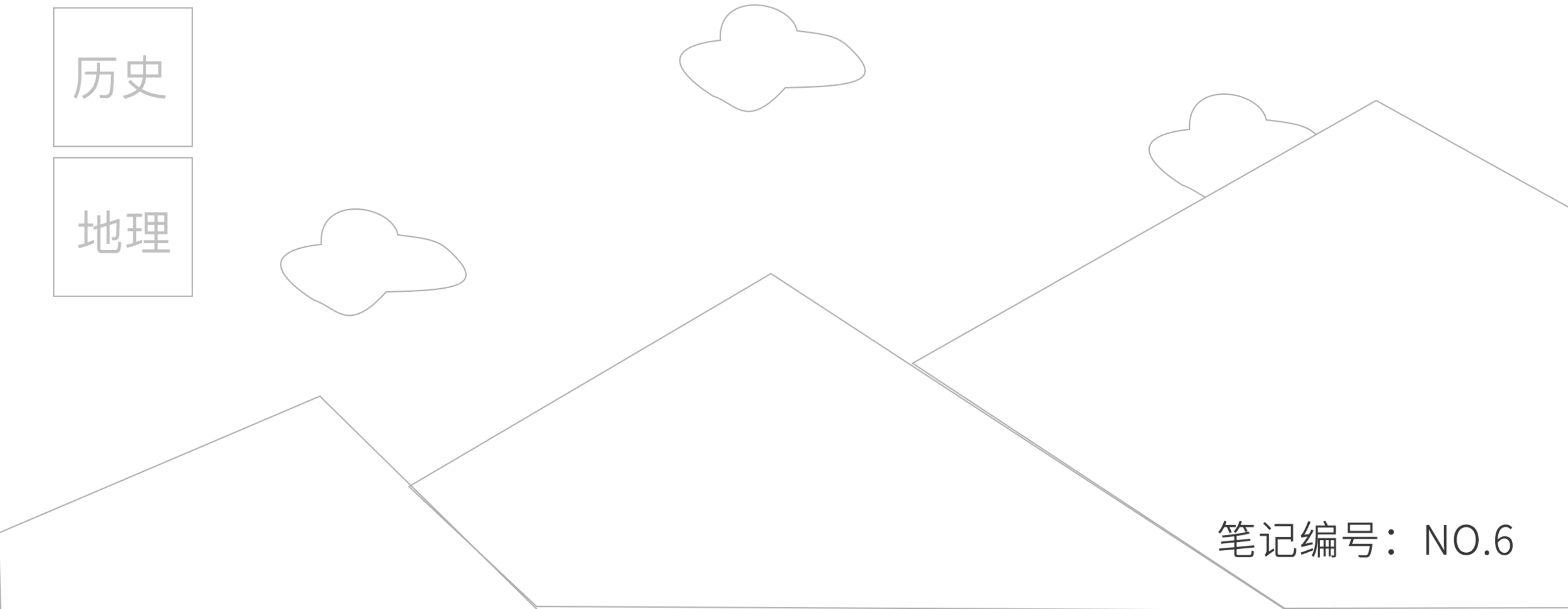
高中物理知识（中）

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.6

B、S都变：$\Delta\phi=\phi_2-\phi_1 \neq \Delta B\cdot\Delta S$

选修3-2

选修3-2

第一章、电磁感应

第一、二节、电磁感应 感应电流产生条件

一、基础知识

1. 奥斯特发现了电流磁效应。("电生磁")

2. 法拉第："磁生电"⇒电磁感应现象。

3. 发展：变化的磁场⇒产生"电场"

变化的电场⇒产生"磁场"(麦克斯韦电磁场理论)

二、产生感应电流的条件

1、三个实验：

①

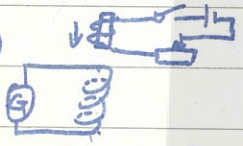
一部分导体切割运动

②

两者相对运动才有I感

$(BS=\phi$的变化)

③

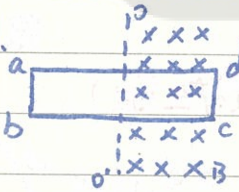


改变多种量

★2.产生I感的条件：闭合回路、ϕ的变化

三、ϕ变化的讨论(要注意原B的方向)

1、



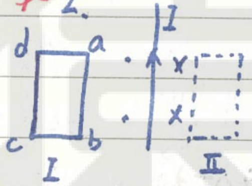
有N匝

∴$\phi=B\times\frac{S}{2}$ ★(与N无关)

①沿cd旋转：ϕ先不变(0~60°)后↓(60°~90°)

②沿ad旋转：先↓(0~90°)后↑(90°~180°) 且 $\Delta\phi=B\cdot S$ ↳方向改变

★2.



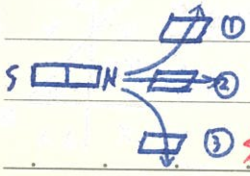
从I→II：

先↑后↓再↑再↓.（B不是均匀的）

最大处：边缘(ab或cd)靠着I. ⇒ $\Delta\phi=2BS$

最小处：I为矩形框中线时$\phi=0$

3.



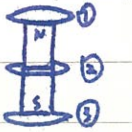
① 水平放置

② 从最上方远处→①→②→③→最下方远处：

③ ★先↑后↓再↑再↓

物理的统一：$\begin{cases} \frac{\phi}{t}=\frac{B\cdot S}{t}=\frac{F}{IL}\times\frac{S}{t}=\frac{FL}{It}=\frac{W}{q}=U(E) \\ 1Wb/s=1T\cdot m^2/s=1\frac{N}{A\cdot m}\cdot\frac{m^2}{s}=1\frac{N\cdot m}{A\cdot s}=1\frac{J}{C}=1V \end{cases}$ （用于锻炼大脑~）

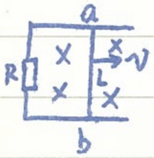
☆4.



① → ②：$\phi\uparrow$，原B的方向向上

② → ③：$\phi\downarrow$

5.



令t：$\Delta\phi=B\cdot\Delta S=B(Lvt)$

6.

$r=1m$，$R=2m$，在$t=1s$内，$B_1=1T$变为$B_2=2T$

$\Delta\phi=\Delta B\cdot S$

第三节、法拉第电磁感应定律

一、实验分析：

↓可用$I=\frac{E}{R+r}$计算得

1. ϕ变化 → I感产生 → 必有E感

☆2、E感产生条件：ϕ变化（不一定要闭合；电磁感应实质：产生E感）

3、产生E感的那一部分被称为"电源"。

4. 实验步骤：

①ϕ相同（条形磁体初、末位置相同），讨论E感与Δt.

②t相同，讨论E感与$\Delta\phi$

二、定律

↓磁通量变化率

1. 内容：E感大小与$\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$成正比（不是与$\Delta\phi$，也不是与$\Delta t$）

2. 表达式：$E_感=k\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$（普遍适用）

当E为$1V$，$\Delta\phi$为$1Wb$，Δt为$1s$，则$k=1$，有：$E_感=\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$

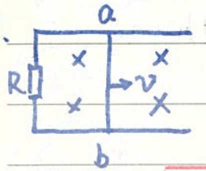
当有n匝时：$\boxed{E_感=n\frac{\Delta\phi}{\Delta t}}$（为$\phi$-$t$图象上的斜率）

3. 此表达式用于求平均感应电动势。

注：$E=n\frac{B_2S_2-B_1S_1}{\Delta t}\neq n\frac{\Delta B\cdot\Delta S}{\Delta t}$

↓适用条件

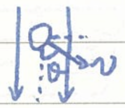
三. 导体切割运动产生E感（ab棒为"电源"）

1.


令t，则 $\Delta\phi = B\cdot(Lvt)$

$\therefore E_感 = n\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = 1\times\frac{BLvt}{\Delta t} = BLv$（类似磁流体发电机）

2. 表达式：$\boxed{E_感 = BLv}$ 相对于B的速度 ☆☆ B、L、v互相垂直

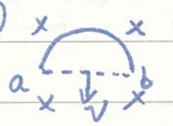
当：


$\boxed{E_感 = BLv\sin\theta}$ 有效长度

3. 若v为$\bar{v}$，则E感为$\bar{E}_感$

若v为瞬时，则E感为瞬时（一般求瞬时）

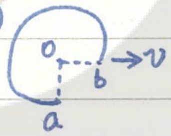
4. 等效法：

①


半圆弧E感 = 直径E感

∵连接ab后 $E_总 = 0$

∴等效

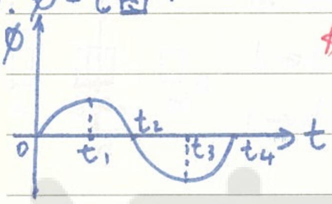
②


$\frac{3}{4}$圆弧 E感 = Oa E感 + ob E感 ←为0

= Oa E感

四. 运用 $\begin{cases} E = n\frac{\Delta B}{\Delta t}\cdot S = n\frac{B}{\Delta t}\cdot\Delta S \ (B\perp S) \\ E = BLv \ （两两互相垂直） \end{cases}$

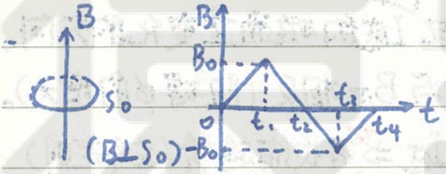
☆1. φ-t图：



☆$E \Rightarrow \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$表现为斜率

∴ $0, t_2, t_4$：$\phi = 0$，E最大，但t_2与0，t_4"方向"不同

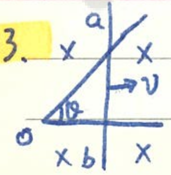
t_1, t_3：$E = 0$，φ最大，但"方向"不同

2.


由$E = n\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = n\frac{\Delta B}{\Delta t}\cdot S_0$：

$0 \sim t_1$：E有且不变

$t_1 \sim t_2$与$t_2 \sim t_3$：E相同

3.


已知ρ、S₀、v、B、θ，求I感（ab从O出发）

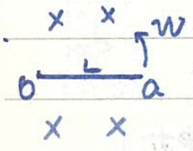
令t：①$E = B\cdot \underset{L}{\underbrace{vt\tan\theta}}\cdot v$ $\therefore I_感 = \frac{B\,vt\tan\theta\cdot v}{\rho\frac{vt + vt\tan\theta + vt/\cos\theta}{S_0}}$ 消去vt.

☆☆即E↑，R↑，I恒定

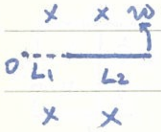
②$\bar{E} = 1\times\frac{B\cdot vt\cdot\frac{vt\tan\theta}{2}}{t}$ $\bar{E}$与t成正比

$= \frac{B\Delta S}{t}$

4\. 以O为轴转动

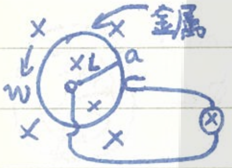


$\because v=\omega\cdot L$ $\therefore \boxed{E=BL\times\frac{v}{2}=\frac{1}{2}B\omega L^2}$（以中点为平均值）



$\therefore E=BL_2\cdot\frac{\omega L_1+\omega(L_1+L_2)}{2}$

4°法拉第直流发电机



$\therefore E=BL\times\frac{\omega L}{2}$

相当于两"电池"并联，变为E，$\frac{r}{2}$

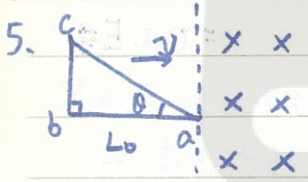
⇒

⇓

变为一个圆盘，为E，r=0.

（圆盘发电机）

5\.



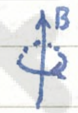
第四节、楞次定律

一、楞次定律

1\. 内容：I感具有其产生感应磁场阻碍引起产生I感的磁通量变化的方向。

2\. 理解：$B_原$的φ↑，则I感产生的B'方向与$B_原$相反（阻碍φ的增大）。

3\. 运用：

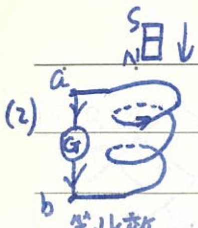


B↑，φ↑ ⇒ B'向下 ⇒ I感 ⇒☆有收缩趋势（左手定则）

(1) 步骤：①确定$B_原$方向。②φ的变化（$\overset{\uparrow}{大}$？$\overset{\downarrow}{小}$？）③确定B'的方向。

④用安培定则得出I感方向（原因：B'由I感产生）

实验探究感应电流方向：{查明电流表指针偏转方向与电流关系（一节旧电池；试触法）
查明线圈绕向



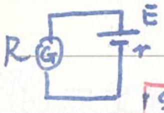
$B\uparrow, \phi\uparrow \Rightarrow B'$向上 $\Rightarrow I_{感}$从a到b（$\varphi_a>\varphi_b$）⇒螺线管纵向、径向均收缩

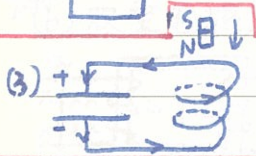
$I_{感}$之间 相互作用

B的作用

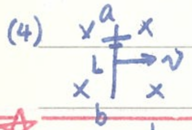
$\therefore U_{ab}=\frac{R}{R+r}\cdot E\neq E$.

等少数



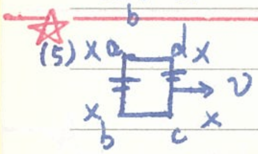


上板带正电，下板带负电。

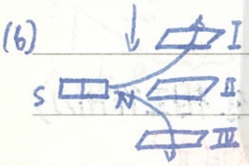


用右手定则，拇指为v方向，则四指为$I_{感}$方向。

$\therefore \varphi_a>\varphi_b$；$U_{ab}=E$（外电路断开）



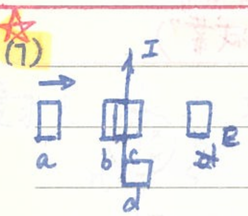
$U_{ad}=U_{bc}=0$，$U_{ab}=U_{dc}\neq0$，无E无$I_{感}$.



I→II：俯视逆时针

II→III：俯视逆时针

"增反减同"



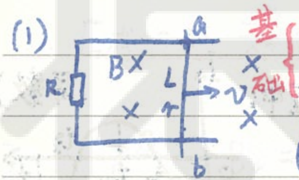
a→b：↻

b→c：↺

c→d：↺　d→e：↻

二、法拉第电磁感应定律和楞次定律的应用

1. 理论：



基础
① $E=BLv$，$\varphi_a>\varphi_b$

② $I=\frac{E}{R+r}=\frac{BLv}{R+r}$

③ $P_{总}=EI=\frac{E^2}{R+r}=\frac{B^2L^2v^2}{R+r}$

④ $U_{ab}=\frac{R}{R+r}\cdot BLv$

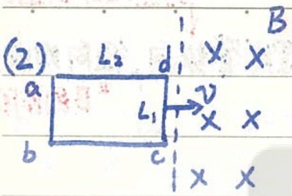
⑤ $F_{安}=BIL=\boxed{\frac{B^2L^2v}{R+r}}$，向左（磁场的"阻碍"）

⑥ 匀速：$F_{外}=F_{安}$，向右。

⑦ $\begin{cases} P_{安}=-F_{安}\cdot v=-\frac{B^2L^2v^2}{R+r} \\ P_{外}=F_{外}\cdot v=\boxed{\frac{B^2L^2v^2}{R+r}} \end{cases}$

因电生磁：安培定则
因动生电：楞次定律、右手定则
因电受力：左手定则（$F_安$、$f_洛$）

(2)



匀速进入．① $E=BL_1v$，$\varphi_d>\varphi_c$

② $I=\frac{E}{R_总}=\frac{BL_1v}{R_总}$

③ 若 $L_1=L_2$，则：$U_{dc}=\frac{3}{4}E=\frac{3}{4}BL_1v$

④ $Q_热=I^2R_总t=\frac{E^2}{R_总}\times\frac{L_2}{v}$　⑤ $q=It=\frac{BL_1v}{R_总}\cdot\frac{L_2}{v}=\frac{BL_1L_2}{R_总}$

(3)

初末位置相同（Δt不同）

① $E=n\frac{\Delta\phi}{\Delta t}\Rightarrow E\propto\frac{1}{\Delta t}$

② $I=\frac{E}{R_总}=\frac{n\Delta\phi}{R_总\Delta t}$

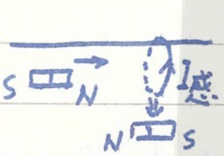
联系

★★③ ∴ $\boxed{q=It=n\frac{\Delta\phi}{R_总}}$（与t无关，作公式用）

↑通过电源的电量

2.运用

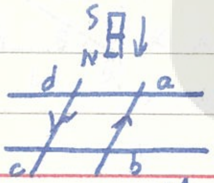
(1)



小圆环向右运动，且速度比磁铁小．

"来拒去留"

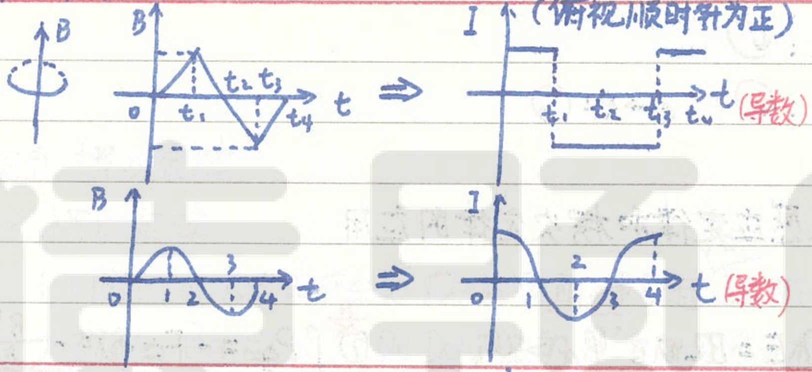
(2)



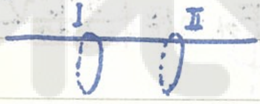
两铁棍ab.cd靠近（是I感在B中受力，不是I感相互作用力）

"增缩减扩"
（"增离减靠"）

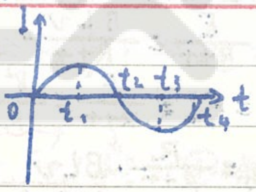
(3)



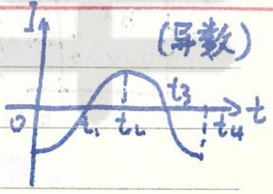
★★(4)



I中通电流如图：



∴ II中：



原因：$I_2\propto E_感\propto\frac{\Delta\phi}{\Delta t}\propto\underbrace{\frac{\Delta B}{\Delta t}\propto\frac{\Delta I_1}{\Delta t}}_{B=k\frac{I}{r}}$

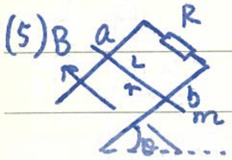
① 0~t₁相互排斥；t₁~t₂相互吸引

② t₁时刻无作用力：（0、t₂、t₃、t₄同）

③ 0~t₁：作用力先↑后↓

分析步骤："源"（E、r）→"路"（I）→"力"（$F_安$）→"运动"（过程）
纽带：I、v ← E=BLv
↖ $F_安=BIL$

$v\uparrow \to$ ~~B~~ $E\uparrow \to I\uparrow \to F_安\uparrow$

(5)


光滑，由静止下滑

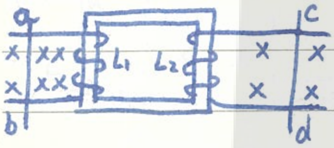
①运动：a↓的加速，当 $F_安=mg\sin\theta$ 时匀速

② $BIL=mg\sin\theta \Rightarrow I=\frac{mg\sin\theta}{BL}$

③又∵ $I=\frac{BLv}{R+r} \Rightarrow v_{max}=\cdots$

以E.I为桥梁

☆☆(6)双重电磁感应现象（互感）



ab在外力作用下运动。

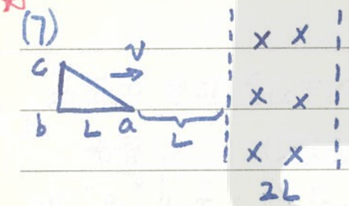
① ab向右匀速：I_1由b→a且恒定，cd不动（向左匀速同）

② ab向右加速：$I_1\uparrow$，$\phi\uparrow \Rightarrow I_2$由c→d ⇒ 向右$F_安$.

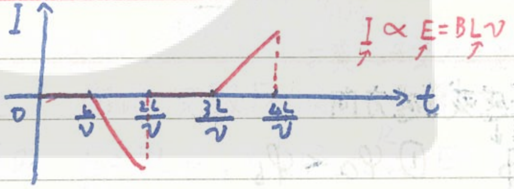
若匀加速：I_2恒定（导数）（向左匀减速同）

③ ab向左加速/向右减速，情况与②相反.

☆(7)

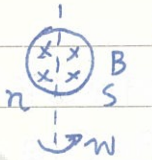


I-t图：
（顺时针为正）



$\underset{\nearrow}{I} \propto \underset{\nearrow}{E}=B\underset{\nearrow}{L}v$

复习：1.



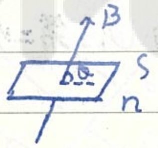
转过180°过程中的$\bar{E}_感$。

$\Delta\phi=2BS \quad \Delta t=\frac{1}{2}T=\frac{1}{2}\times\frac{2\pi}{w}=\frac{\pi}{w}$

$\therefore \bar{E}_感=n\frac{2BSw}{\pi}$

2. 在1.中：n=10匝，S=0.1m²，B⊥S，$B_t=2+0.5t$（T）。

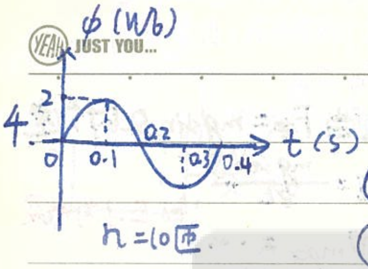
$\therefore E_感=n\cdot\frac{\Delta B}{\Delta t}\cdot S=10\times0.5\times0.1=0.5V$

3.


$B_t=B_0+kt$

$\therefore E_感=nkS\sin\theta$.

4.



n=10匝

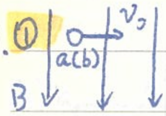
① 0~0.1s 内的 $\overline{E}$感 $= n\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = 10\times\frac{2}{0.1} = 200V$

② 在0时刻的E感为最大。

③ 在0.1时刻的E感=0

---

5. ①



杆ab以v_0平抛

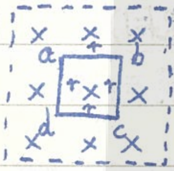
∴ $E=BLv_0$ 不变（只看水平方向的速度）

②

以a为支点匀速转动

∴ $E=BL\overline{v}=BL\cdot\frac{wL}{2}$

☆③



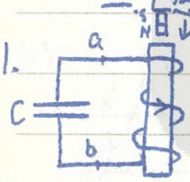
从B中以不同方向拉出（$E=BLv$）

从上：$U_{ab}=\frac{1}{4}E=\frac{1}{4}BLv$　　从左：$U_{ab}=\frac{1}{4}BLv$　(分清内外阻

从下：$U_{ab}=\frac{3}{4}BLv$　　从右：$U_{ab}=\frac{1}{4}BLv$

三、E感或I感方向

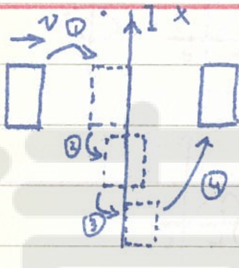
1.



① $\varphi_a<\varphi_b$

② C的上板带：负电　（螺线管为电源）

2.



①：顺时针I感

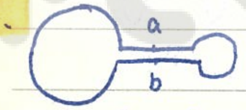
②：逆时针

③：逆时针

④：顺时针

四、运用

☆1.



$r_1:r_2=2:1$，$B_t=B_0+kt$，第一次B垂直加大圆上，U_{ab}为U_1；第二次加在小圆上，为U_2。求U_1/U_2

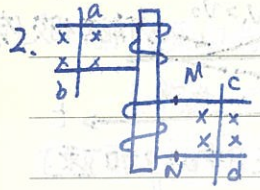
$R_1:R_2=2:1$（周长比）∴ $U_1=\frac{1}{3}\times E_1$　⇒ $U_1:U_2=2:1$（路端电压）

$E_1:E_2=4:1$（面积比）$U_2=\frac{2}{3}\times E_2$

(1) 克服$F_{安}$做功：其他能 → 电能

(2) 电流做功：电能 → 焦耳热

2.

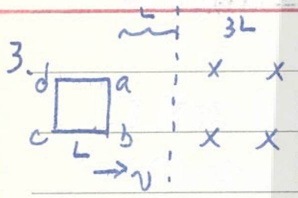


ab杆：① 向左(右)匀速：$F_{安}$ cd方向：不受$F_{安}$，静止

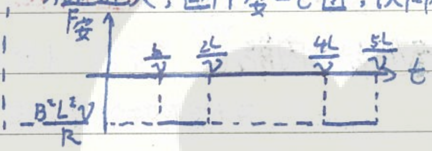
② 向右匀加速 = 向左匀减速：$F_{安}$向左且恒定，$\varphi_N > \varphi_M$

③ 向右匀减速 = 向左匀加速：$F_{安}$向右且恒定，$\varphi_M > \varphi_N$

3.



匀速进入，画$F_{安}-t$图，以向右为正



① 进入B：$W_{外} = F_{外} \cdot L = \frac{B^2L^3v}{R}$

$W_{安} = -F_{安} \cdot L = -\frac{B^2L^3v}{R}$

$Q = I^2Rt = \frac{B^2L^3v}{R} = W_{外}$

$(1C = 1Wb/\Omega)$ $q = n\frac{\Delta\phi}{R} = \frac{BL^2}{R} = It$

$\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad \rightarrow \quad \leftarrow$

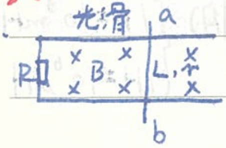
第五节.电磁感应中的能量转化与守恒

恒有 $Q = -W_{安}$

结论：克服$F_{安}$做功，Q增加

[类比于重力与重力势能

1.



① 以v向右匀速t时间内：$E = BLv$，$U_{ab} = \frac{R}{R+r}E$

$I = \frac{E}{R+r}$；$F_{安} = BIL = \frac{B^2L^2v}{R+r} = F_{外}$

$W_{外} = F_{外}vt = Q = I^2(R+r)t$

$\rightarrow q = n\frac{\Delta\phi}{R_{总}} = \frac{BLvt}{R+r}$

② 若在水平恒力F_0下由静止开始运动，则v_{max}时运动了x_0：

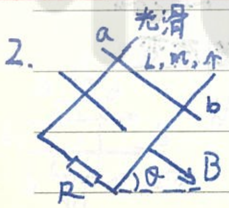
由 $F_0 = F_{安} = \frac{B^2L^2v_m}{R+r} \Rightarrow v_m = \cdots$

$W_{F_0} = F_0 \cdot x_0$

$W_{F_0} + W_{F安} = \frac{1}{2}mv_m^2 - 0 \Rightarrow \boxed{Q = -W_{F安}}$ (PS：焦耳热与摩擦热不是同一东西)

$(q = \frac{BLvx_0}{R+r})$ 作用：求x.

2.

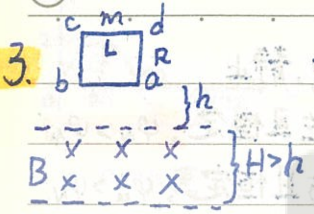


静止开始运动，达v_{max}中有电量q.

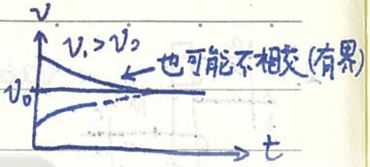
① $mg\sin\theta = \frac{B^2L^2v_m}{R+r} \Rightarrow v_m = \cdots$

② $q = \frac{BLx_0}{R+r} \Rightarrow x_0 = \cdots$

③ $mg\sin\theta x_0 - Q_{热} = \frac{1}{2}mv_m^2 - 0$



3. 静止释放. ①画 ab 边进入时的 $v-t$ 图: ↓v_1



② 分析通过B的运动状况:

若进入时匀速,则 ab 边出下边界时一定减速 (在B中 $a=g$ 加速)

☆③若 ab 边出下边界时匀速,求线框通过区域时产生Q热。

$mg(h+H+L)=\frac{1}{2}m(\frac{mgR}{B^2L^2})^2+Q_{热}$ (能的守恒)

重力势能 $\xrightarrow{转}$ 动能 + 内能

第六节、自感

一、自感

1. 定义:由于导体线圈本身电流变化引起的电磁感应现象。E称为自感电动势 E_L

2. E_L 大小:

$E_{感}\propto n\frac{\Delta\phi}{\Delta t}\propto\frac{\Delta I}{\Delta t}\Rightarrow\boxed{E_L=L\frac{\Delta I}{\Delta t}}$ L:自感系数,单位亨利(H) $\begin{cases}1H=10^3mH\\1H=10^6\mu H\end{cases}$

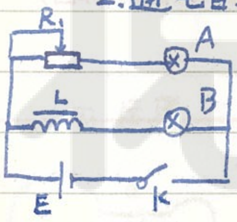
3. L与线圈形状、体积、匝数、有无铁芯有关。

4. 方向:阻碍原I的变化。

二、实验:(线圈直流电阻不计)

1. 理论: ①I恒定:线圈为"导线"。
   ②I从0→有:线圈为"断路"。
   ③I从有→0:线圈为"电源"。

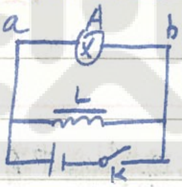
2. 通电自感:



A立即亮

B过一会才亮(慢慢亮)

☆3. 断电自感:

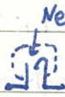


①A闪亮一下熄灭, $R_L<R_A$ $(I_L>I_A)$

②A缓慢熄灭, $R_L\geq R_A$ $(I_L\leq I_A)$

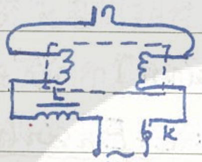
灯泡中电流方向均改变

三.运用:日光灯

1. 构造:①启动器(启辉器) 

自动开关　②镇流器 

③灯管 

2. 线路图: 

3. 原理:① K合上:灯不亮,启动器发光生热并连通。⇒灯丝发光。

② 一会儿、启动器冷却并断开,I↓。

③ 在L中产生E_L很大。

④ 由于Hg蒸气电离速度快,灯管先发光;又由于Hg电阻小,发光后启动器电压不够,不能发光;Hg发光后所需电压小。

★⑤ 镇流器作用:产生瞬时高压、降压限流。

第七节.涡流(选学)⇒互感.

第二章.交变电流

第一节.交变电流

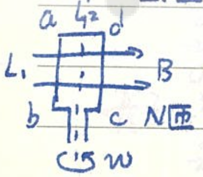
一.交变电流(AC)

1. 定义:大小和方向随时间周期性变化的电流。

直流电:方向不变的电流。(DC)

恒定电流:大小和方向都不变的电流。

2. 正弦交流电的产生及表达:矩形线框在匀强磁场中匀速率转动。



从$\phi=0$时转动 (1) ① $v_{ab}=v_{cd}=w\cdot\frac{L_2}{2}$　② $e_1=N\cdot 2BL_1v$

$=N\cdot 2BL_1\cdot w\frac{L_2}{2}$

$\boxed{E_m=NBSw}$

(2) 经过t时：$\theta=\omega t \Rightarrow e_2=N\cdot 2BL_1\cdot\omega\cdot\frac{L_2}{2}\cos\theta$

$=NBS\omega\cos\theta$

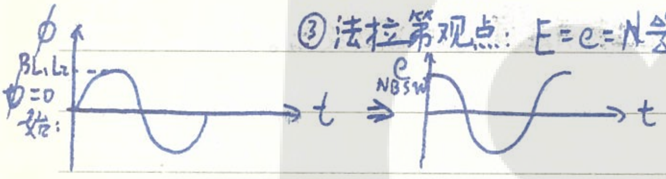
根据v与B垂直得出

$\therefore e=E_m\cos(\omega t)$

(3) 总结：① 从$\phi=0$时计时：$e=E_m\cos(\omega t)$

② 从$\phi=\phi_{max}=BL_1L_2$时计时：$e=E_m\sin(\omega t)$

③ 法拉第观点：$E=e=N\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$



(e为φ的导数)

④ 若以ab为轴转动：是一样的。即与形状及转轴位置无关。(但转轴必须垂直于磁场)

(4) $\phi=\phi_m=BS$时：$\frac{\Delta\phi}{\Delta t}=0$；$\phi=0$时：$\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$最大。

(5) 中性面：ϕ_m的位置。线框每经过一次中性面，I转向一次；一个T内改变2次。

二、表述：

1. 线框"这样"转动：$E_m=NBS\omega$

2. 若内阻r，外阻R：$I_m=\frac{E_m}{R+r}=\frac{NBS\omega}{R+r}$　($\omega=2\pi n$) 转速

3. 路端电压：$U_m=I_mR=\frac{R}{R+r}E_m$

4. 若从与中性面垂直的位置开始计时：$\begin{cases}e=E_m\cos\omega t\\ i=I_m\cos\omega t\\ u=U_m\cos\omega t\end{cases}$

三、线框转动时$\bar{E}$的求法

1. 只能用$\bar{E}=n\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$

2. 例：N、B、S、ω已知，从中性面位置转30°过程中的$\bar{E}$。

$\bar{E}=n\frac{\Delta\phi}{\Delta t}=\frac{BS(1-\cos30^\circ)}{\frac{1}{12}\times\frac{2\pi}{\omega}}$

若从$\phi=0$位置转过30°：　$\bar{E}=n\frac{\Delta\phi}{\Delta t}=\frac{BS\sin30^\circ}{\frac{1}{12}\times\frac{2\pi}{\omega}}$

PS：(判断) $u=220\sqrt{2}\sin 100\pi t\,(V)$，则 $\frac{1}{600}s$ 时电表示数为 220V. (✓)
↑恒定.

第二节、描述交流电的物理量

一、周期(T)、频率(f)、转速(n)、角速度(w)

1、物理意义：表征交流电周期性变化的快慢。

2、T：作一次周期性变化所需时间。(s)

f：1s内完成周期性变化的次数。(Hz)

n：同f。(r/s)

w：1s内转过的弧度数。(rad/s)

☆3、关系：$f=\frac{1}{T}=n \Rightarrow \boxed{w=\frac{2\pi}{T}=2\pi f=2\pi n}$

二、最大值(峰值)、即时值 (只有正弦交流电才提峰值)

1、最大值：(图像上的都是 E_m 而不是 $E_有$)

$$\begin{cases} E=NBSw \\ I=\frac{NBSw}{R} \\ U=\frac{R}{R+r}\times NBSw \end{cases} \Rightarrow \text{即时值:} \begin{cases} e=E\sin(wt) \quad \text{(中性面起)} \\ i=\cdots \\ u=\cdots \end{cases}$$

2、峰值作用：电容器、二极管的耐压值 ≥ 峰值，以防击穿。

三、有效值：涉及 $P_电$、W、$P_热$、Q、电表示数、熔断电流

1、原理：根据电流"热效应"建立。

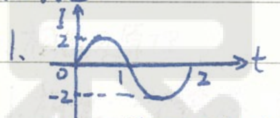
2、一个交流电与一个直流电分别通过同一电阻，在相同时间内产热相等，则该交流电的有效值相当于该直流电。

☆3、有效值与峰值的关系：$\boxed{I=\frac{\sqrt{2}}{2}I_m}$，$\boxed{E=\frac{\sqrt{2}}{2}E_m}$，$\boxed{U=\frac{\sqrt{2}}{2}U_m}$ (一定是正弦)

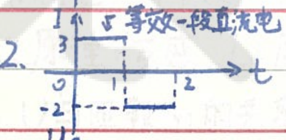
4、例：一正弦交流电，$I_m=10A$，接入 $R=2\Omega$，则 $P_电=?$

$I=\frac{\sqrt{2}}{2}I_m=5\sqrt{2}A \quad \therefore P=I^2R=100W \quad$ 1s内：$Q=I^2Rt=100J$

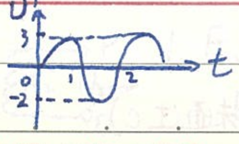
☆☆四、讨论：

1、

$I_有=\sqrt{2}A$ (正弦的 $\frac{1}{4}T$、$\frac{1}{2}T$ 可直接用 $I=\frac{I_m}{\sqrt{2}}$、$U=\frac{U_m}{\sqrt{2}}$，但必须是从0至max(min)或从max(min)至0)

2、

$3^2R\times\frac{T}{2}+2^2R\times\frac{T}{2}=I_有^2RT$

☆3、

$$\underbrace{\frac{(\frac{3}{\sqrt{2}})^2}{R}}_{0\sim1t\text{内的}E_有}\times\frac{T}{2}+\frac{(\frac{2}{\sqrt{2}})^2}{R}\times\frac{T}{2}=\underbrace{\frac{U_有^2}{R}}_{\text{总的}E_有}\times T$$

{求每一段符合"正弦"的有效值
再求热效应 → 总有效值.

平均值 $\bar{E}$ 的作用：计算电荷量。

1. 通常说交流电的 I、U、E都为有效值。

★2. 交流电表示数为有效值，$U_{额}$、$I_{额}$为有效值。

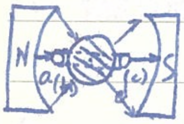
3. 保险丝熔断电流为有效值。

PS: $e=E_m\sin(\omega t+\varphi) \Rightarrow \begin{cases} \omega t+\varphi：相位 \\ \varphi：初相位\ (t=0) \\ \varphi_1-\varphi_2：相位差 \end{cases}$

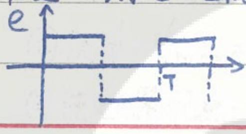
五、应用

1. $e=E_m\sin(\omega t)$，若使 n 与 B 加倍，则：$e'=4E_m\sin(2\omega t)$

2. 辐向磁场发电机

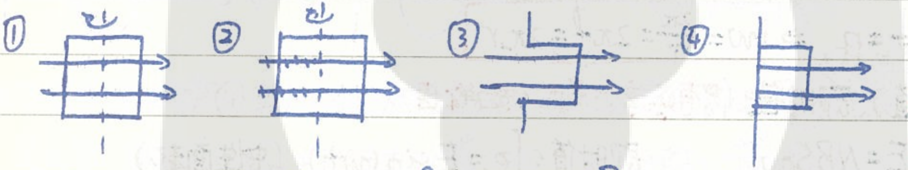


任意时刻 $e=E_m=NBS\omega$



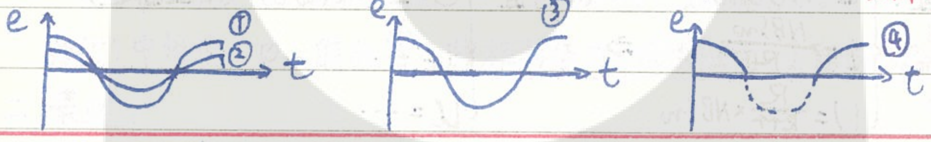
(若为2个半面)

3.

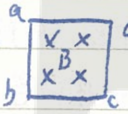


写出 $E_m=NBLv$

分析其本质



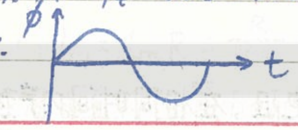
4.



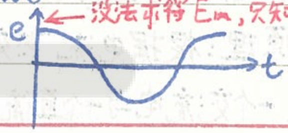
线框不动，$B_t=B_0\sin\omega t$；设 B 如图为正方向，abcd 电流为正。

分析：$\phi_t=B_tS=B_0S\sin\omega t=\phi_0\sin\omega t$

∴

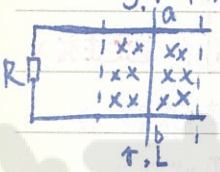


$\Rightarrow E=n\frac{\Delta\phi}{\Delta t}\Rightarrow$



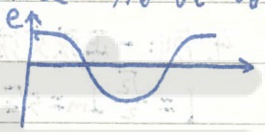
← 没法求得 E_m，只知变化规律

5. ↓平衡位置



B不变，取向右为正，逆时针为 I 正方向，ab杆在虚线间往复运动。$v_t=v_0\cos\omega t$

(ab杆做简谐运动) ∴ $e=BLv_0\cos\omega t\Rightarrow$



第三节 示波器的使用(略)

第四、五节 电容器、电感器在交流电路中的作用

一、C对交流电的导通作用

1. 演示：隔直流，通交流

2. 原理：E变化，C不断地充电、放电。(实际电荷未通过 c)

二、C对交流电的阻碍作用

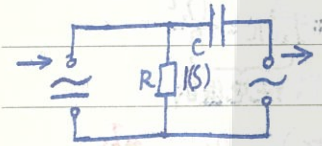
1. U不变，C不变，f越大，阻碍越小。

2. U不变，f不变，C越大，阻碍越小。

3. 容抗：电容器对交流电的阻碍作用。$\boxed{X_C = \frac{1}{2\pi f C}}$.

三、C在电子技术中的应用

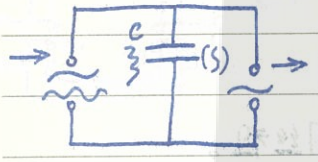
1. 隔直电容：



R、C都要较大

(隔直流，通交流)

2. 旁路电容：



C较小

(通高频，阻低频)

四、L的阻碍作用：通直流，阻交流；通低频，阻高频。

感抗：电感器对交流电的阻碍作用。$\boxed{X_L = 2\pi f L}$.

五、L的应用

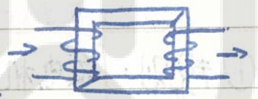
1. 低频扼流圈：N多，L大，通直流，阻交流。

2. 高频扼流圈：N少，L小，通低频，阻高频。

第六节 变压器 (不能改变直流电压)

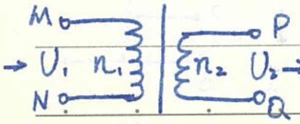
一、构造及原理

1. 构造：一个铁芯、两个线圈 (L_1、L_2).



2. 原理：互感. L_1：原线圈(初级)，L_2：副线圈(次级) (电流磁效应+电磁感应)

二、U与匝数n的关系



1. $E_1 = n_1\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$，$E_2 = n_2\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ ($\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$相同)

$\therefore E_{感1} : E_{感2} = n_1 : n_2$

变压器不能改变功率与频率。
↑指 $P_入 = P_出$

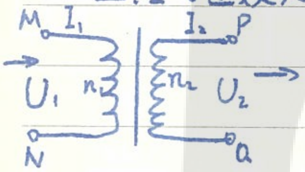
2. 若不计内阻（理想变压器）（↓无漏磁）：$U_2 = E_{感2}$，$U_1 = E_{感1}$

3. ∴ $\boxed{\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}}$（无论空载、负载均适用） $\frac{U_1}{n_1} = \frac{U_2}{n_2} = \frac{U_3}{n_3} = \cdots = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$（多个副线圈）

4. 讨论：① $n_1 > n_2$：$U_1 > U_2$，降压变压器

② $n_1 < n_2$：$U_1 < U_2$，升压变压器

三. I与匝数关系（一个原线圈、一个副线圈）



1. 理想变压器：不漏磁、不计铜损、不计铁损。

2. $P_入 = I_1 U_1$（只能这样写）；$P_出 = U_2 I_2 = \underbrace{I_2^2 R = \frac{U_2^2}{R}}_{纯电阻时}$

3. ∴ $U_1 I_1 = U_2 I_2$ 又∵ $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ ∴ $\boxed{\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}}$（有效值）（反比） $\frac{n_1}{n_2} = \frac{\Delta I_2}{\Delta I_1}$

4. ① $P_入$由$P_出$决定：有$P_出$才有$P_入$。

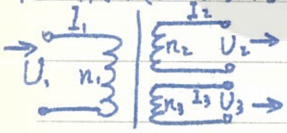
☆② I_1由I_2决定：有I_2才有I_1，若$I_2 = 0$，则$I_1 = 0$。

③ 升压必降流，降压必升流。

☆④ 匝数多的，U大I小铜丝细；匝数少的，U小I大铜丝粗。

四. 运用

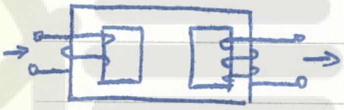
1. 一个原线圈，多个副线圈：① ∵ $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$相同：$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$，$\frac{U_1}{U_3} = \frac{n_1}{n_3}$，$\frac{U_2}{U_3} = \frac{n_2}{n_3}$



② 若都有负载：$U_1 I_1 = U_2 I_2 + U_3 I_3$

☆∴ $\boxed{I_1 n_1 = I_2 n_2 + I_3 n_3}$（∴只能一原一副才称反比）

2. 一个原线圈，一个副线圈，2个磁路：



① $\frac{\Delta\Phi_1}{\Delta t} = 2\frac{\Delta\Phi_2}{\Delta t}$

② $\frac{E_1}{E_2} = \frac{2n_1}{n_2} \Rightarrow \frac{U_1}{U_2} = \frac{2n_1}{n_2}$

3. 讨论（一原一副一路）：① 规则：{ 发电机传来的U_1一般不变；$P_入$由$P_出$决定

② 只使n_2↑：（U_1、n_1、R不变）U_2↑，I_2↑，$P_出$↑，⇒ $P_入$↑ ⇒ I_1↑

③ 只使R↑：（U_1，n_1，n_2不变）U_2不变，I_1↓，I_2↓，$P_出$↓ ⇒ $P_入$↓

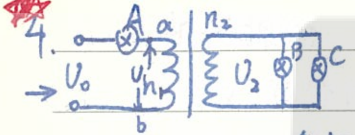
④ 只使负载增多（即R↓）

步骤：$U_1 \to U_2 \to I_2 \to I_1 \to P_1、P_2$

⑤只使$U_1\uparrow$：(n_1，n_2，R不变)：$U_2\uparrow$，$I_2\uparrow$，$P_出\uparrow$，$P_入\uparrow$ ⇒ $\because \frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$ $\therefore I_1\uparrow$

⑥只使$n_1\uparrow$：(n_2，U_1，R不变)：$U_2\downarrow$，$I_2\downarrow$，$P_出\downarrow$，$P_入\downarrow$ ⇒ $I_1\downarrow$

4.



A.B.C相同且均正常发光，则$\frac{U_0}{U_2}=?$

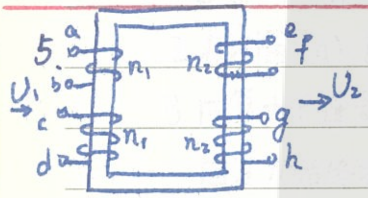
ab端才是$P_入$，U_0为总电压.

令每个灯：I'，U'为额定：$\begin{cases} I_2=2I'，I_1=I' \\ U_2=U' \end{cases}$

$\therefore \frac{I_1}{I_2}=\frac{1}{2}=\frac{n_2}{n_1}=\frac{U_2}{U_1}$ $\therefore U_1=2U_2=2U'$

又$\because$ A灯：U' $\therefore U_0=U'+U_1=3U'$ $\therefore \frac{U_0}{U_2}=3$.

5.



满足$\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$的是：(AC)

A、b.c相连，a、d输入；f.g~~是~~相连，e.h输出(串联)

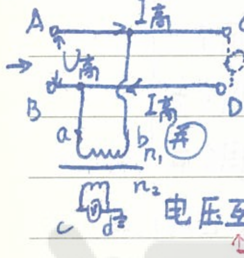
B、a、c相连，b.d输入；e.g相连，f.h输出(抵消、无E)

C、a、c相连，b.d相连为输入；e.g相连，~~b.d~~ f.h相连为输出(并联，仍为n_1)

相当于导线变粗

---

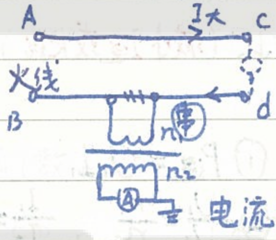
6. 互感器



$\therefore \frac{U_高}{U_V}=\frac{n_1}{n_2}$

电压互感器(降压~)

切忌短路



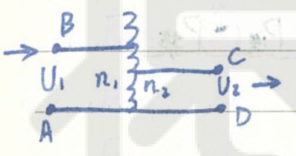
$\therefore \frac{I_大}{I_A}=\frac{n_2}{n_1}$

电流互感器(升压~)

切忌开路

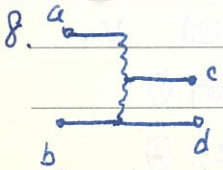
---

7. 自耦变压器(调压变压器)

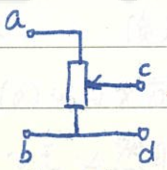


⇒

8.



(1)



(2)

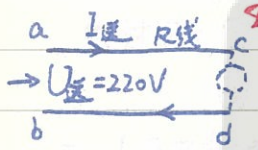
①若分别在ab端加220V：$U_{cd1}=110V$，$U_{cd2}=110V$

②若分别在cd端加110V：$U_{cd1}=220V$，$U_{cd2}=110V$

水力发电：已知流量Q (m^3/s)、落差h. ⇒ $P_{电}=\frac{\rho Q t g h\times\eta}{t}=\rho a g h\eta$ $(E_p\Rightarrow E_{电})$
（均已知效率η）　　　　　　　　　　$(E_k\Rightarrow E_{电}$
风力发电：已知速v，截面S_0. ⇒ $P_{电}=\frac{\frac{1}{2}\times\rho v S_0 t\times v^2\times\eta}{t}=\frac{1}{2}\rho v S_0 v^2\eta=\frac{1}{2}\rho v^3 S_0\eta$

第七节.电能的输送

一、讨论(一)：实际中的输电



★$U_{送}$不变，$R_{用户}$可知。

① cd断开：$I=0$，$P=0$

② 并联的用户增多：$I_{送}\uparrow$，$U_{用}\downarrow$，灯变暗

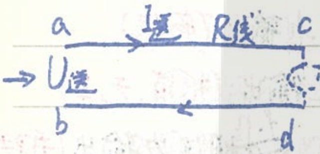
知识点：1. $U_{送}$不变，$I_{送}=\frac{U_{送}}{R_{线}+R_{用}}$。

2. $U_{线}=I_{送}R_{线}$

3. $P_{损}=I_{送}^2R_{线}=\frac{U_{线}^2}{R_{线}}$

4. $P_{送}=U_{送}I_{送}$（随用户的变化而变化）

二、讨论(二)：理论上的输电



★$P_{送}$恒定不变，用户虚拟

1. $P_{送}=U_{送}I_{送}$　$(I_{送}=\frac{P_{送}}{U_{送}})$

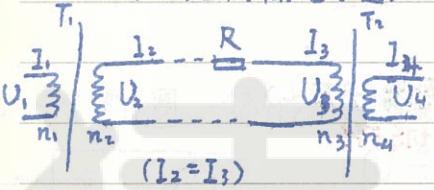
2. $U_{线}=I_{送}R_{线}=\frac{P_{送}}{U_{送}}\times R_{线}$；$U_{用}=U_{送}-U_{线}$

3. $P_{损}=I_{送}^2R_{线}=(\frac{P_{送}}{U_{送}})^2R_{线}=\frac{U_{线}^2}{R_{线}}$

4. $P_{用}=U_{用}I_{送}=(U_{送}-U_{线})I_{送}$

5. 通过高压输电 $P_{损}\downarrow$。（减小$I_{送}$或$R_{线}$）

三、远距离输电示意.



① $P_{送}=U_1I_1$

② $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$，$\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$．$P_{送}=U_2I_2$

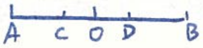
③ $P_{损}=I_2^2R$，$U_{损}=I_2R$，$U_3=U_2-U_{线}$

④ $I_3U_3=I_2(U_2-U_{线})$，

⑤ $\frac{U_3}{U_4}=\frac{n_3}{n_4}$，$\frac{I_3}{I_4}=\frac{n_4}{n_3}$，$U_4I_4=P_{送}-P_{损}$

四、高压直流输电系统：整流站、直流线路、逆变站。

对称性：



(1) 时间：$\begin{cases} t_{DB}=t_{BD}=t_{CA}=t_{AC} \\ t_{CO}=t_{OC}=t_{OD}=t_{DO} \end{cases}$

(2) 速度：$\begin{cases} \text{连续两次经过D：大小同方向反} \\ \text{经过 C、D：大小同，方向不一定} \end{cases}$

(3) x、a：$\begin{cases} \text{经过D：均同} \\ \text{经过 C、D：均大小同，方向反} \end{cases}$

选修3-4

第一章、机械振动

第一节、简谐运动

一、机械振动

1、定义：物体(或物体的一部分)在某一位置两侧来回往复运动。

2、平衡位置：即"某一位置"，O点。合力不一定为零。$F_回=0$的位置

二、简谐运动(最基本的振动) 复杂的变速运动

1、位移(x)：相对于平衡位置而言；矢量。

①大小：任何时刻相对于平衡位置的距离。

②方向："相对于平衡位置"。

↓单位：m ↓标量

2、振幅(A)：离开平衡位置的最大距离。意义：表示振动强弱(能量大小)。

3、回复力(弹簧振子中)：不是一个特殊性质的力，类似于"向心力"。(效果力)

回复力始终指向平衡位置；在平衡位置时 $F_回=0$ 但 $F_合$ 不一定为0.

4、$F_回$与x的关系：方向始终相反；$F_回 \propto x \Rightarrow \boxed{F_回=-kx}$ $(a=-\frac{kx}{m})$

5、定义：物体所受的力与它偏离平衡位置的位移大小成正比，且总指向平衡位置。

6、周期(T)、频率(f)：T：完成一次全振动所需时间。$T=\frac{1}{f}$ 圆频率：ω.

$\begin{cases} \text{一个周期的路程为4A；} \\ \frac{1}{2}\text{个周期的路程为2A；} \\ \frac{1}{4}\text{个周期的路程不一定为A(数学问题)} \end{cases}$

$\begin{cases} F_回=-kx \\ T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \\ E=\frac{1}{2}kA^2 \end{cases}$ k：比例常数

三、讨论 x、$F_回(a)$、v、E_k、E_p

	O→A	A→O	O→A'	A'→O
x	(正)↑	(正)↓	(负)↑	(负)↓
$F_回(a)$	$\overset{负}{(正)}$↑	$\overset{负}{(正)}$↓	$\overset{正}{(负)}$↑	(正)↓
E_k	↓	↑	↓	↑
E_p	↑	↓	↑	↓
v	(正)↓	(负)↑	(负)↓	(正)↑

↓恒定

$E=E_p+E_k$

$=E_{pm}=E_{km}=\frac{1}{2}mv_m^2$

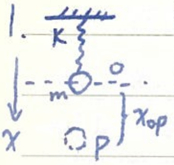
E_p与E_k的周期为$\frac{T}{2}$

① $F_回(a)$必与x方向相反且正比。

② x与v无必然联系。

四.运用（证明是简谐运动）

1.



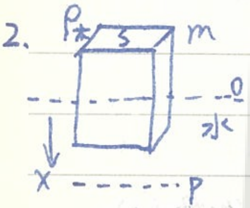
①平衡位置：$mg=kx_0$（伸长了x_0）

②设P：有x_{op}. $F_{回}=F_{弹p}-mg=k(x_0+x_{op})-mg=kx_{op}$

受力分析：$F_{回}$指向平衡位置.

③证明了：$F_{回}=-kx$

2.



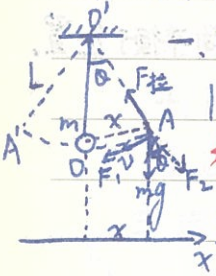
①平衡位置：$F_{浮}=mg$

②受力分析：方向相反

③ $F_{回}=\rho_{水}Sxg=-\rho_{水}Sg\cdot x$ （$F_{回}=-kx$）

④ $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}=2\pi\sqrt{\frac{m}{\rho_{水}Sg}}$.

第二节、单摆（L变化忽略，$m_{绳}$忽略，$m_{球}$较大，$L\gg r$）



一、力学分析

1. $F_{向}$：$F_{拉}$与mg在法线方向上的分力的合力。$F_{向}=$ ~~$mg\cos\theta$~~ $F_{拉}-mg\cos\theta=F_{拉}-F_2$

2. $F_{回}$：由mg在切线方向上的分力提供。$\boxed{F_{回}=mg\sin\theta}=F_1$ ←视为$F_{向}$、$F_{回}$的转化

3. $F_{合}$：①在O点，$F_{合}=F_{向}$。

②在端点，$F_{合}=F_{回}$。（∵ $F_{拉}=mg\cos\theta$，$F_{向}=0$）

二、证明单摆在何条件下为简谐运动（$F_{回}=-kx$）

1.当θ很小（$\theta<5°$），$F_{回}$与x方向近似相反。

2. $F_{回}=mg\sin\theta\approx mg\tan\theta\approx mg\cdot\frac{x}{L}$ （L称为摆长，悬点到质心的距离）

$=\underbrace{\frac{mg}{L}}_{k}\cdot x$ ∴在θ很小时为简谐运动

三、θ很小时：

1. $\boxed{T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}=2\pi\sqrt{\frac{m}{\frac{mg}{L}}}=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}}$

2.讨论：①T与L、g有关，与m、A无关。

②一个弹簧振子与一个单摆从地球移至月球：$T_{弹}$不变，$T_{摆}$↗。

③秒摆：T=2s的摆。L≈1m

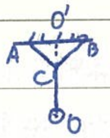
对 g 的理解：
- 若单摆处于 a 向上加速：$g'=g+a$
- 若单摆处于向下 E 的电场，摆球⊕：$g'=\frac{mg+Eq}{m}$.

圆锥摆：

$$\begin{cases} F_{向}=mg\tan\theta \\ r=L\sin\theta \\ F_{向}=m\cdot\frac{4\pi^2}{T^2}\cdot r \end{cases} \Rightarrow T=2\pi\sqrt{\frac{L\cos\theta}{g}}.$$

↑ 比正常值小

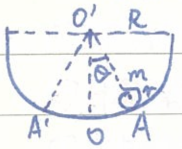
3. 认识 L：



① 左右摆：$L=CO$

② 摆出纸面：$L=OO'$

4. 类单摆：



$T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}=2\pi\sqrt{\frac{\boxed{R-r}}{g}}$

若 $r\to 0$，m 从 A 静止释放，同时从 O' 静止释放一物体：

$$\begin{cases} A\to O: & t=\frac{T}{4}=\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{R}{g}} \\ O'\to O: & R=\frac{1}{2}gt^2 \Rightarrow t=\sqrt{\frac{2R}{g}}=\sqrt{2}\cdot\sqrt{\frac{R}{g}} \end{cases}$$

$\Rightarrow$ ☆ ∴ O' 处物体先到 O

四、运用：

1. 用单摆测 g（根据 $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$）$\Rightarrow g=\cancel{\pi^2}\ \frac{4\pi^2L}{T^2}$

① 摆长：
- a. 只用刻度尺（悬点至球心）
- b. 先用刻度尺量线长 l，再用游标卡尺测直径 d $\Rightarrow L=l+\frac{d}{2}$

② T：秒表测 n 次（50次）全振动时间 t $\Rightarrow T=\frac{t}{n}$

③ 注意：$\theta<5°$；在竖直平面内振动；☆秒表计时从平衡位置起计时。

☆④ 易出现的问题：1个 T 内有2次经过平衡位置。

2. 测山高：① $g'=\frac{4\pi^2L}{T^2}$　② $g'=\frac{GM}{(R+h)^2}$　← 黄金代换 →　③ $g=\frac{GM}{R^2}$

☆3. 摆子不规则：设下悬点至质心为 r.

$$\begin{cases} 用 l_1: & T_1=2\pi\sqrt{\frac{l_1+r}{g}} \\ 用 l_2: & T_2=2\pi\sqrt{\frac{l_2+r}{g}} \end{cases} \Rightarrow$$ 平方消去 r 求得 g.

☆4. 摆钟变快（慢）问题：在 t_0（如一天）中，某周期为 T 的不准摆钟摆了 $\frac{t_0}{T}$ 次；每摆一次，钟面上显示仍为 T_0，故 t_0 内摆钟显示时间：$\frac{t_0}{T}\times T_0$，与 t_0 比较则知其快慢。

万能公式：$\boxed{\Delta t=\left|\frac{t_0}{T}\times T_0-t_0\right|}$

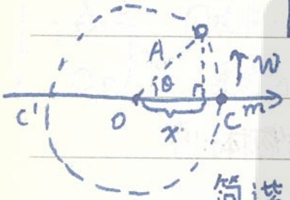
例：有一个 $T=2s$ 的摆钟，现使 $g'=4g$，则：$T'=\frac{T}{2}=1s$.

摆一下，钟上显示 $2s$，实际只过了 $1s$，故走快了。

恢复措施：$L'=4L$.

第三节. 简谐运动的图像和公式

一、讨论：匀速圆周运动的物体在直径上的投影（半径为A）



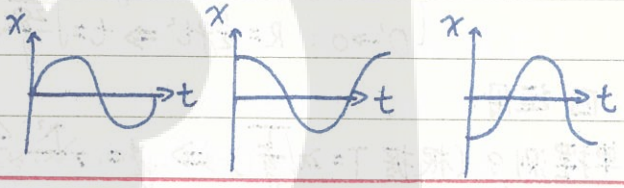
1. 从C点开始逆时针运动：令t.

$\therefore \theta = \omega t \Rightarrow x = A\cos(\omega t)$

∴投影的运动为简谐运动　　$x = A\sin(\omega t + \varphi)$

简谐运动图象（x-t）

- 从C计时：$x = A\cos\omega t$
- 从C'计时：$x = A\cos(\pi + \omega t)$
- 从O向右计时：$x = A\sin\omega t$



2、ωt、$\theta + \omega t$：称为相位

当t=0：θ称为初相　　ω称为圆频率

$\varphi_1 = \theta_1 + \omega t$，$\varphi_2 = \theta_2 + \omega t$：$\varphi_1 - \varphi_2 = \theta_1 - \theta_2$ 称为相位差
- 同相：$\varphi_1 - \varphi_2 = 0$
- 反相：$\varphi_1 - \varphi_2 = 2\pi$

☆3. 从x-t图可知：A、T、某一时刻的x、v方向、F回方向、a方向及各物理量的变化

第五节. 实验：用单摆测定重力加速度　$g = \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot L$

一、游标卡尺：0.1mm（十分度）

1. 主尺（mm刻度）：1格为1mm.

2. 游标尺（十分度）：总长9mm，即1格0.9mm

3. 主尺1格与游标尺1格差0.1mm. ☆测量时理解为：游标尺每格代表0.1mm长。 1÷10

4. 读数：
- 整毫米在主尺上读，读游标尺上"0"对齐的主尺上的左边的整刻度。
- 小于1mm的在游标尺上读，游标尺上数字对齐主尺的那一刻度读出。

如 21.3mm（21来自主尺，"0"前有21格；0.3mm来自游标尺，"3"对齐主尺刻度）

5. 若为20分度：游标尺总长39mm；1格为1.95mm；☆理解为1格0.05mm. 1÷20

若为50分度：总长49mm，1格为1.98mm；☆理解为1格0.02mm. 1÷50

☆6. 单位均统一为mm：10分度读至0.1，20分度、50分度均至0.01.

↓误差更小

二.注意事项：1.2种算法：①测多次g求$\bar{g}$。②T^2-l图。

2、线长不易变形，球密度大，直径小，$\theta<5°$，竖直平面内摆动。

3、以摆球通过平衡位置开始计时；秒表不可估读。（读至0.1s）

PS：①测T时摆线松动$l\uparrow$，但未发觉，则$g_{测}\downarrow$

②计算由$T=\frac{t}{n}$时误计为$\frac{t}{n+1}$：$g_{测}\uparrow$

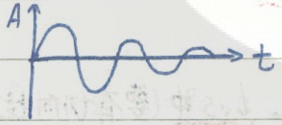
③空气浮力对单摆的影响：$g'=\frac{mg-F_{浮}}{m}\downarrow$，故$T\uparrow$

第四节.阻尼振动 受迫振动

一.阻尼振动

1.定义：系统在振动过程中受阻力作用，振幅A逐渐减小，振动能量转化为其他形式能量的振动。

2、图象：



☆$A\downarrow$，T不变

3.自由振动：无阻力，只在$F_{回}$作用下振动。A不变，E不变，☆$\boxed{T_{振}=T_{固}}$不变

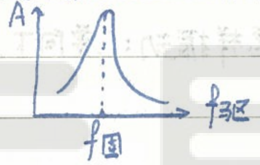
二.受迫振动

1.定义：系统在驱动力（↓周期性）的作用下振动。

☆☆2.特点：$\boxed{T_{振}=T_{驱}}$（↓稳定时），$T_{振}$与$T_{固}$无关。

☆3.共振：做受迫振动的物体，当$\boxed{T_{驱}=T_{固}}$时A最大。

4.$A-f_{驱}$图：



利用共振：使$T_{驱}\rightarrow T_{固}$

防止共振：使$T_{驱}$远离$T_{固}$

第二章. 机械波

第一节. 机械波的形成和传播

一、形成与传播

1. 介质：水、空气、绳、钢、大地……

2. 机械波：机械振动在介质中由近向远传播。

3. 波源：初始振动的介质(质点)。

4. 条件：①振源。②介质。

5. 特点：{每个质点只在平衡位置附近振动，不随波的传递而迁移。
{可传递能量与信息。

只是将振动的形式向外传播

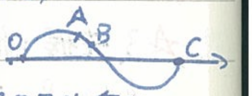
{振源停止振动后，波仍将振动形式向外传播。
{振源自由振动，后面的质点受迫振动。

二、横波与纵波

1. {横波：质点振动方向和波的传播方向垂直。l、s中(要有切向拉力)
{纵波：质点振动方向和波的传播方向平行。三态皆可(声波是纵波)

2. {横：有波峰、波谷
{纵：有密部、疏部

☆☆ 3. 横波中质点振动方向与波的传播方向的关系(根本原因：质点有延迟)



{每一质点都将运动到它前一质点的位置：B向上运动
{波源开始怎样振动，其他质点开始就怎样振动：C要向下，即O开始向下。

资料书上：{先振动的质点带动后振动的质点运动
{后振动的质点重复先振动的质点运动

第二节. 波速与波长、频率的关系

一、几个物理量：

1. 波的振幅：每个质点的振幅。

2. 波长(λ)：沿波的传播方向，任意两个相邻的同相振动的质点间的距离。

波的空间周期性：相距kλ的两质点振动情况相同。

波的时间周期性：经过kT时期的波形相同。

①标量，单位m. PS：说距离，一定注意是"在平衡位置上的投影的距离"

②相邻两波峰或波谷之间的距离也是波长。

③波源质点完成一次全振动，波传播的距离为波长。

3. 频率（f）：每个质点的振动频率。

☆①由振源自身因素决定（f固），与介质无关。

4. 波速（v）：单位时间内，波向外传播的距离。

①表达式：$v=\frac{s}{t}=\boxed{\frac{\lambda}{T}}=\lambda f \Rightarrow \boxed{\lambda=\frac{v}{f}}$

☆② v由介质的性质决定。与f无关

二、关系：

1. 一列波从空气中传入水中：f不变 ⇒ $\lambda \propto v$.

2. 同种性质的波在同一介质中：v相同 ⇒ $\lambda \propto \frac{1}{f}$

三、运用

1. S为波源，向右传，$f=100\,Hz$，$v=80\,m/s$，$SP=4.2m$，$SQ=5.4m$. 当S通过平衡位置向上传播：

$\lambda=\frac{v}{f}=0.8m$ ∴ $\frac{SP}{\lambda}=5\frac{1}{4}$（个） $\frac{SQ}{\lambda}=6\frac{3}{4}$（个）

∴ P在波谷，Q在波峰

☆2. S为波源，左右传，其他同1.

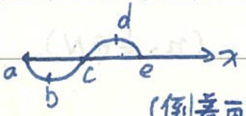
∴ P在波谷，Q在波峰. （波的对称性）

第三节、波的图像（横波）

一、波的图像（正弦波、简弦波）

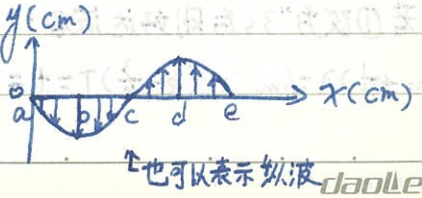
1. 建立：
- x轴：波的传播方向上，每个质点的平衡位置构成x轴。
- y轴：某一时刻各个质点的位移。

2. 波的形象：



（倒着画）

波的图象：



↑也可以表示纵波

3. 波形图 = 波的形象 + 波的图象 ⇒ 图上每个点都可以表示这个"实际质点"了。

4. 由波形图知：① 振幅 ② 波长 λ ③ 此时刻各质点的位移

☆ ④ 知道波的传播方向，则知道每个质点振动方向。(波的多解性)

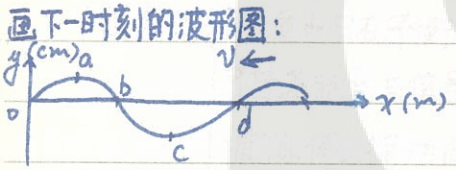
5. 波形图与振动图象的区别：

振：画好的就"固定不变"了 ⇒ 顺着画（一个质点每一时刻的位移）☆

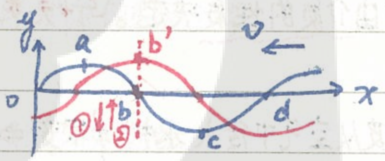
波：每一时刻整个图都要变 ⇒ ☆倒着画。（每个质点同一时刻的位移）

二、波形图分析（随时注意波的传播方向）

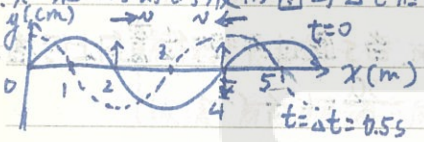
1. 画下一时刻的波形图：



过 $\frac{3}{4}T$:
(画 b 点)



☆ 2. 知某一时刻的波形图与 Δt 后的波形图，求波速。(多解)



① 向 +x 方向：$\Delta t=(n+\frac{3}{4})T,\ n\in N$

$\therefore T=\frac{0.5}{\frac{3+4n}{4}}=\frac{2}{3+4n}(s)$

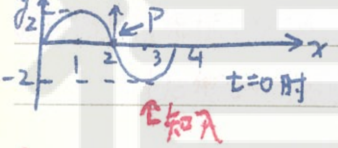
$\therefore v=\frac{\lambda}{T}=2(3+4n)\ m/s,\ n\in N$

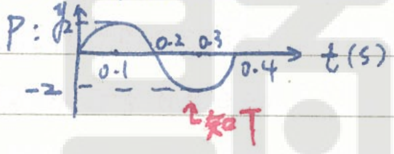
（注意题中对 T、v 之类的限制）

② 向 −x 方向：$\Delta t=(k+\frac{1}{4})T,\ n\in N$

$\therefore T=\frac{0.5}{\frac{1+4k}{4}}=\frac{2}{1+4k}(s)\ \Rightarrow\ v=\frac{\lambda}{T}=2(1+4k)m/s,\ n\in N$

3. 知某一时刻波形与某一质点从此时计的振动图：





推出：① P 向上振

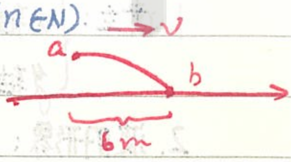
② 传播方向：向右 ☆ ③ $v=\frac{\lambda}{T}$

☆ 4. ① 波 a→b，ab 距 6m，某时刻 a 在波峰，b 在平衡位置向上运动，b 经过 3s 第一次到波谷。求 v。

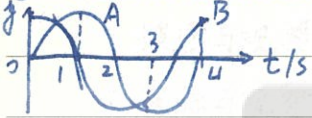
$(n+\frac{1}{4})\lambda=6m$. $t=3s=\frac{3}{4}T \Rightarrow T=\frac{4}{3}t. \Rightarrow v=\frac{\lambda}{T}=\cdots\cdots\ (n\in N)$

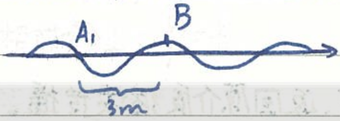
② 若①改为"3s 后刚好达波谷：

$(n+\frac{1}{4})\lambda=6m\quad (k+\frac{3}{4})T=t=3s\ \Rightarrow v=\cdots\quad (n,k\in N)$.



③波沿+x传播，处于x=1.5m的A，x=4.5m的B的振动图像：

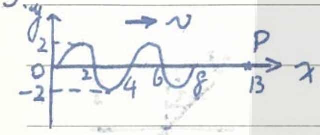




$\therefore (n+\frac{3}{4})\lambda=3m$ 又T=4s (n∈N)

$\therefore v=\cdots$

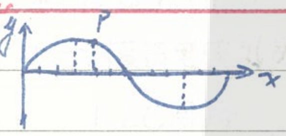
5. t=0时如图，再过7s，x=2m处刚好第二次达波谷，求t=9s时P的位移。



①起振向下。②λ=4m。③ $\frac{7}{4}T=7s \Rightarrow T=4s$

④ t=5s时P起振 ⇒ P振了1个T ⇒ 位移y=0.

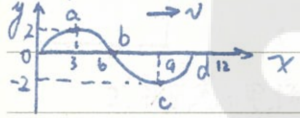
6.



①若波向左：P到平衡位置需：$\frac{1}{6}T$ (60°)

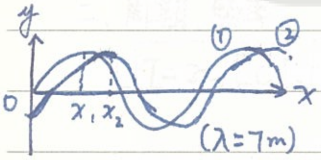
②若波向右：P到平衡位置需：$\frac{1}{3}T$，到波峰：$\frac{1}{12}T$.
(120°) (30°)

7. 平移法



①为t=0时波形图，O为振源，刚传至d点。

画过$\frac{1}{12}$后的波形：$\Delta x=v\cdot\Delta t=v\cdot\frac{1}{12}T=\frac{1}{12}\lambda=1m$



t时为①，Δt=3s后为②，已知x₁与x₂距1m，周期为T，且2T<Δt<4T，则可能的最小波速为____m/s，最小周期____s.

(1)向右：$2T<(n+\frac{1}{7})T<4T$ (n∈N) ⇒ n=2,3，$\begin{cases}\frac{15}{7}T=3s, & v=\frac{\lambda}{T} \text{(最小波速)}\\ \frac{22}{7}T=3s, & v=\frac{\lambda}{T}\end{cases}$

相加为T

(2)向左：$2T<(n+\frac{6}{7})T<4T$ (n∈N) ⇒ n=2,3，$\begin{cases}\frac{20}{7}T=3s\\ \frac{27}{7}T=3s & \text{(最小周期)}\end{cases}$

第四、五节、波的反射、折射、干涉、衍射

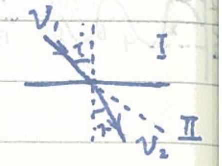
一、波的反射、折射

1. 反射：①波射向两介质分界点时，返回原介质继续传播。

② 反射定律：共面、异侧、等角（$\beta=\alpha$）

☆③实质：f不变，v不变 ⇒ λ不变

2. 折射：①波射向两介质分界面时，进入另一介质传播



② 折射定律：共面、异侧；$\frac{\sin i}{\sin r}=n$（折射率）

③ 实质：f不变，v变化 ⇒ λ不变

$$n=\frac{v_1}{v_2} \Rightarrow \boxed{\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{v_1}{v_2}}$$

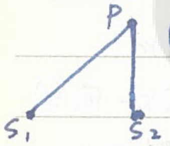
☆☆PS：一声波从空气进入水中：$\lambda=\frac{v}{f}$，λ↗；一光波从空气进入水中：λ↓

二、波的干涉

1. 波的叠加原理：某质点同时参与几列波的振动，总位移等于分位移的矢量和

2. 几列波相遇后，仍保持各自原有的特性，不受其他波的影响。

☆☆3. 两列完全相同的波的叠加（f、v、λ均同）



①同步（相差恒定）：a. $S_1P-S_2P=n\lambda$ （$n=0,1,2,\dots$）

∴ P为加强点：振幅：2A，位移：随时间周期变化

~~②~~ b. $S_1P-S_2P=(2n+1)\times\frac{\lambda}{2}$ （$n=0,1,2,\dots$）

∴ P为减弱点：振幅：0，位移：0

②异步：$\begin{cases} S_1P-S_2P=n\lambda：P为减弱点 \\ S_1P-S_2P=(2n+1)\frac{\lambda}{2}：P为加强点 \end{cases}$

4. 干涉：f相同的两列波叠加，使介质中某些区域的质点振动始终加强，另一些区域的质点振动始终减弱，并且这两种区域互相间隔、且位置保持不变。稳定的叠加

☆5. 产生条件：f相同。f不同时只有叠加没有干涉。

三、波的衍射

1. 定义：波能绕过障碍物并在其后面传播的现象。

★2. 任何情况下，一切波都可以发生衍射现象。干涉、衍射是波特有的性质。反之亦然

3. 产生明显衍射条件：缝的宽度、障碍物尺寸大小与λ差不多或比λ小。

波
- 机械振动 → 机械波：只有横波；不需介质；v由介质、f决定
- 反了
- 电磁振荡 → 电磁波：横、纵波；需介质；v由介质决定 （光属于电磁波）

四.多普勒效应

收到的↓ ↓波源

1.波源与观察者相对静止：$f'=f$

2.波源与观察者靠近：$f'>f$

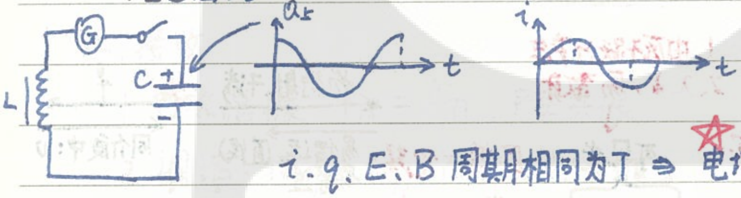
3.波源与观察者远离：$f'<f$

第三章.电磁振荡 电磁波

第一节.电磁振荡

一、振荡电流的产生

1.LC回路：



$(I=\frac{\Delta q}{\Delta t}$，斜率$)$

i、q、E、B 周期相同为T ⇒ 电场能、磁场能周期为$\boxed{\frac{T}{2}}$（∵没有方向）

2.概念：电场能与磁场能周期性相互转化的过程。

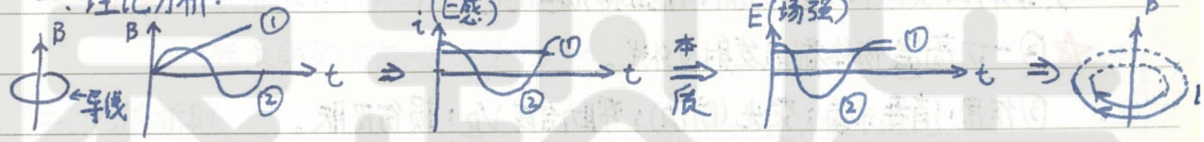
二、周期、频率：

1.$\boxed{T=2\pi\sqrt{LC}}$，$\boxed{f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}}$

第二节.电磁场、电磁波

一、理论分析：

1.



- 恒定的B不产生E
- 均匀变化的B产生恒定的E
- 交变的B产生交变的E.

2. 恒定的E不产生B （区分：恒定的电流产生恒定的B）.

均匀变化的E产生恒定的B

交变的E产生交变的B.

☆二. 麦克斯韦电磁理论的两个基本假设：
- 变化的磁场能在周围空间产生电场
- 变化的磁场能在周围空间产生磁场

三. 电磁场：变化的电场与变化的磁场交替产生，不可分割。

四. 电磁波：电磁场向远处传播。☆电磁波为横波。

1. 产生条件：交变的电场或交变的磁场。

2. 麦克斯韦预言了电磁波的存在；赫兹证实了电磁波的存在，并且 (真空) $\boxed{v = c \approx 3\times10^{8}\ m/s}$

第三节、电磁波谱

一、波谱

1. 由原子跃迁产生
2. 入↓，易散射

易衍射、干涉 ←

→ 易传远（直线）易穿透

☆ f →

← 同介质中：v

赫谢尔 → 红外线；里特 → 紫外线；伦琴 → X射线

$\underbrace{\text{长波 中波 短波 微波}}_{\text{无线电波}}$ 红外线 $\underbrace{\text{红 —— 紫}}_{\text{可见光}}$ 紫外线 X射线 γ射线 ……

1. 无线电波：由LC回路中自由电子周期性运动产生。

2. 红外线（热光）：λ位于微波和可见光之间的电磁波。☆ $\lambda \in (760, 10^{6})\ nm$ $1nm = 10^{-9}m$

① 红外线不能直接引起视觉，给人"热"感。

☆② 炽热的物体都能辐射红外线；f与固体物质分子的f固相近。物体温度↑，红外线辐射↑

③ 作用：加热、烘干；遥控（∵λ大一些，易衍射）；红外照相；遥感

3. 紫外线（冷光①）：$\lambda \in (60, 400)\ nm$，不能直接引起视觉。

☆② 一切高温物体都能发射紫外线。

③ 作用：消毒杀菌；荧光（防伪）；帮助合成 V_D；损伤皮肤。

4. X射线（伦琴射线）：☆① 产生：高速电子轰击金属表面，从金属中辐射出。

② 作用：穿透力强；荧光；"探伤"（查砂眼）...

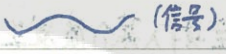
5. γ射线：☆① 产生：宇宙射线或某些放射元素衰变过程。

② 作用："探伤"；"γ刀"（放疗）；诱变育种......

第四节、无线电波的发射、传播、接收

一、发射 {开放电路 / 高频振荡

1. 开放电路 电路



2. 载波：运载信号的高频等幅波。

调制：把传递信号的“加”到载波上。{调幅：使A随信号改变 / 调频：使f改变

二、传播 {
- 地波：λ很长；能量损失快，几百千米内，(长波、中波、中短波)
- 天波：依靠电离层反射；☆ λ∈(10，3000)m，(短波)　穿过↑　↓被吸收
- 直线传播：(微波)，(空间波、视波)需中继站；能量损耗少；电视、雷达；也可用同步通信卫星

三、接收

1. 电磁谐振：$f_{信} = f_{固}$，产生共振。

2. 调谐：使 $f_{固} = f_{信}$ 而产生电谐振。

3. 还要检波、解调等。↑调制的逆过程

第四章、光的折射

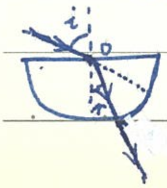
第一节、光的折射定律

一、反射：{光在任何情况下都有反射。 / 光反射时方向一定发生了改变。

二、光的折射

1. 定义：光从一种介质射向另一介质分界面时，一部分光进入另一介质传播的现象。↓垂直射入也视为“折射”

2. 演示：从空气→玻璃



从真空射向其他介质均为入、折、反三线共存。

3. 定律：① 入射光线、折射光线、法线在同一平面内。

② 入射光线与折射光线分居法线两侧。

③ $\boxed{\frac{\sin i}{\sin r}=n}$（折射率）

4. 折射率 n：光从真空射入某介质发生折射时。（与介质有关，但与介质密度无关）

① 实验得：$n>1$ ← 定义的

② 本质：$\boxed{n=\frac{c}{v}}$，c 为真空中的光速，v 为介质中的光速。

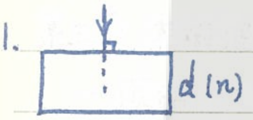
☆③ 无论从什么介质射入真空，都为 $n=\frac{\sin i}{\sin r}$。（i ← 真空，r ← 介质）

5. 折射满足光路可逆。

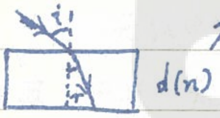
☆6. 注意：$\begin{cases} i\text{不能太大，太大则折射光线弱，反射光线强。} \\ i\text{不能太小，太小则计算的 } n \text{ 误差大} \end{cases}$

三、应用

1.



$t=\frac{d}{v}=\frac{d}{\frac{c}{n}}=\frac{nd}{c}$

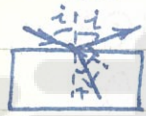


$x\cancel{s}=\frac{d}{\cos r}$，$t=\frac{x}{v}$，$v=\frac{c}{n}$，$n=\frac{\sin i}{\sin r}$

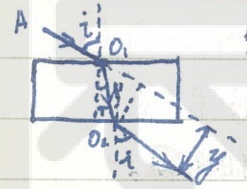
$\therefore t=\frac{\frac{d}{\cos r}}{v}=\frac{\frac{d}{\cos r}}{\frac{c}{n}}$

☆2. 光从真空射向玻璃，$n=\sqrt{3}$，要使反射光线与折射光线垂直，则 $i=?$

$n=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{\sin i}{\sin(\frac{\pi}{2}-i)}=\frac{\sin i}{\cos i}=\tan i=\sqrt{3}\Rightarrow i=60^\circ$



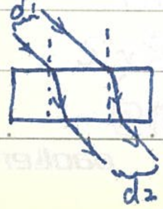
3.



知 n、d、i，求 y.

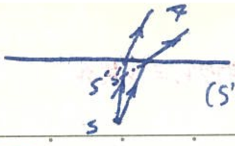
① $n=\frac{\sin i}{\sin r}$ ② $O_1O_2=\frac{d}{\cos r}$ ③ $y=O_1O_2\cdot\sin(i-r)$

3'.

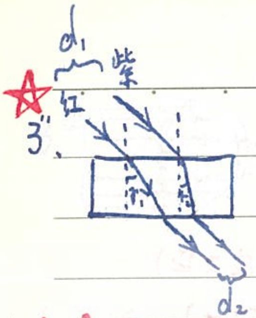


单色平行光：$d_1=d_2$

PS:



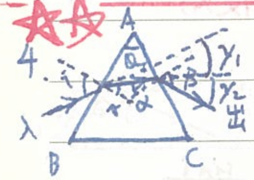
(S'在S右上方)



3、已知$\boxed{n_{红} < n_{紫}}$ ⇒ $\sin r_1 > \sin r_2$

∴ $d_1 > d_2$，两光靠近（但射出光与射入光始终平行）

（说明 n 与介质本身与光均有关关）



4. θ=60°，已知 n、i，求入光与出光的偏折角 γ.

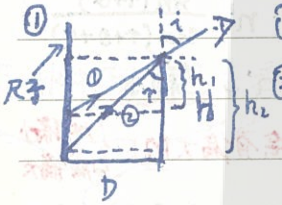
$n=\frac{\sin i}{\sin r} \Rightarrow r \Rightarrow \gamma_1 = i - r$.

又∵ ~~[illegible]~~ $\alpha + r = \theta \Rightarrow \alpha = \theta - r$ ∴ $\gamma = \gamma_1 + \gamma_2$

$n=\frac{\sin\beta}{\sin\alpha} \Rightarrow \beta \Rightarrow \gamma_2 = \beta - \alpha$.

5、测水的折射率的一种方法

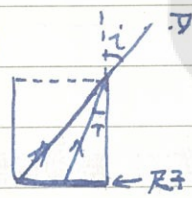
①



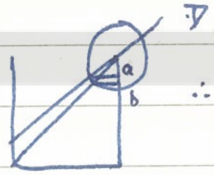
①装水 $\sin i = \frac{D}{\sqrt{h_1^2+D^2}}$，$\sin r = \frac{D^2}{\sqrt{h_2^2+D^2}}$

②装满水 ∴ $n=\frac{\sin i}{\sin r}$

②

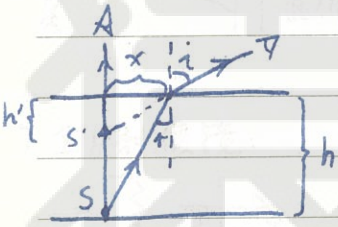


③



∴ $n=\frac{a}{b}$.（单位圆法）

6、近垂直水面测水深



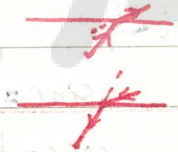
已知 n、h，求 h'

$n=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{\frac{x}{\sqrt{x^2+h'^2}}}{\frac{x}{\sqrt{x^2+h^2}}}=\frac{\sqrt{x^2+h^2}}{\sqrt{x^2+h'^2}}$

∴ 当 $x \to 0$：$n=\frac{h}{h'} \Rightarrow \boxed{h'=\frac{h}{n}}$

空中观察水中：$h'=\frac{h}{n}$（变近了）

水中观察空中：$h'=nH$（变远了）

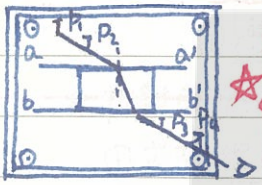


$i\uparrow$：折减弱，反增强 ⇒ 全反射

$i\downarrow$：折增强，反减弱 ⇒ 垂直射入，光路重合但仍三线共存

7. 测玻璃的n的一种方法

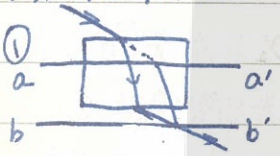
(1) 用平行玻璃砖：木板、白纸、图钉(⊙)、大头钉(T)、直尺、笔、玻璃砖



☆
- 插P₂，P₂的像挡P₁的像 （P₁P₂、P₃P₄相距应大些）
- 插P₃挡P₁、P₂的像 （玻璃砖宽度应较大）
- 插P₄挡P₃及P₁、P₂的像

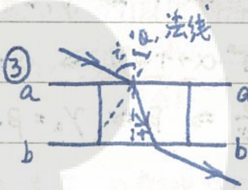
☆(2) 易出现的问题

①



无影响，n相同

③

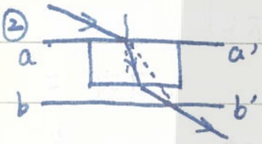


实：$n=\frac{\sin i}{\sin r}$

测：$n'=\frac{\sin(i+\theta)}{\sin(r+\theta)}$

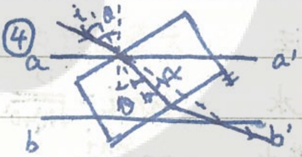
$\therefore n'\downarrow$ 偏小

②



$\sin r\uparrow$，$n\downarrow$

④



实：$n=\frac{\sin i}{\sin r}$

测：$n'=\frac{\sin(i+\theta)}{\sin(r+\theta+\alpha)}$

$\therefore n'\downarrow$ 偏小

（不一定都偏小，会有偏大的）{加偏小
减偏大

第二节、实验：测定玻璃折射率（略，见上）

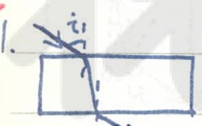
第三节、光的全反射

一、全反射现象

1. 根概念：当光从光密介质射向光疏介质分界面时，光全部返回光密介质中传播。（↑指能量）
2. 产生条件：从光密介质射向光疏介质；入射角大于或等于临界角；
3. ☆光密介质：v较小的，即n较大的物质。
4. 临界角：$\frac{\sin C}{\sin 90^\circ}=\frac{1}{n}$ ⇒ $\boxed{\sin C=\frac{1}{n}}$.

二、运用

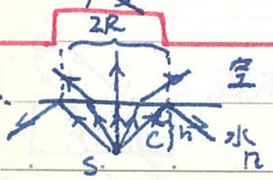
☆1.



若在玻砖内有折射光线，则上下表面均不能全反射.

$\because i<90^\circ$.

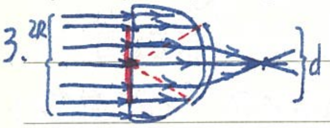
2.



$\sin C=\frac{1}{n}$. ⇒ $\tan C=\frac{R}{h}$

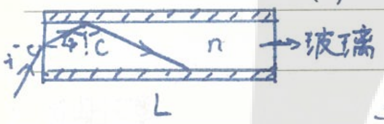
PS：若有一生物在S点，理论上能看到空气中所有空间。

$n=\sqrt{2}$.

3. 

$d=\sqrt{2}R$ 时的宽度有光.

4. 光纤



(1) ① $\sin C=\frac{1}{n}=\cos r$ .. $\Rightarrow \cos C=\frac{\sqrt{n^2-1}}{n}$

② $\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{\sin i}{\cos C}=n$. $\therefore \sin i=\sqrt{n^2-1}$

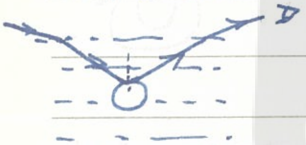
$\therefore \boxed{i \leq \arcsin\sqrt{n^2-1}}$

(2) 光通过纤维的时间:

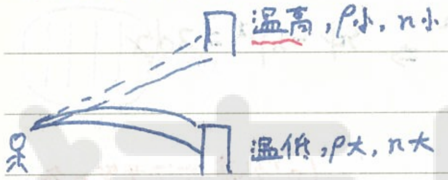
$S=\frac{L}{\sin C}=nL$. $v=\frac{c}{n}$ ←光速 $\Rightarrow t=\frac{S}{v}=\frac{nL}{\frac{c}{n}}=\frac{n^2L}{c}$

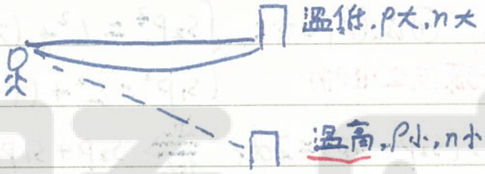
(3) 内层为光密介质，外层为光疏介质

5. 水中有一气泡：看上去很明亮，发生全反射.

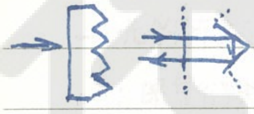


6. 海市蜃楼、沙漠蜃景:

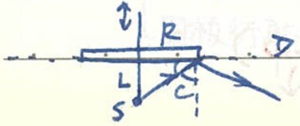




7. 全反射棱镜:

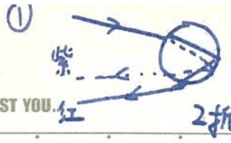


8. 测水n的一种方法：调L至刚好看不到s.



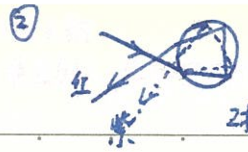
$\therefore \sin C=\frac{1}{n}=\frac{R}{\sqrt{R^2+L^2}}$. $\therefore n=\frac{\sqrt{R^2+L^2}}{R}$

彩虹：①



2折1反

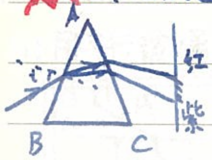
②



2折2反

肥皂泡的彩色：光的干涉
露珠的彩色：光的折射（色散）
狭缝中看太阳光的彩色：光的衍射

三、光的色散：不同颜色的光通过透明介质后分解成单色光。



① $f_{红} < \cdots < f_{紫}$　② 在真空中光速 c 相同

③ $\lambda_{红} > \cdots > \lambda_{紫}$　④ 在同一介质中：$v_{红} > \cdots > v_{紫}$，$\lambda_{红} > \cdots > \lambda_{紫}$ } $n_{红} < \cdots < n_{紫}$

第五章、光的波动性

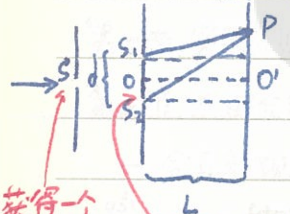
第一节、光的干涉

一、光是什么？
- 牛顿：粒子性 ⇒ 光子（爱因斯坦证实）
- 惠更斯：波动性 ⇒ 横波

二、干涉条件：f 相同、相位差恒定（振动方向相同）

↑相干光源　↑在光波中，f 相同，相位差不一定相同 ∵光由大量电子跃迁产生

三、杨氏双缝干涉



获得一个有唯一f与振动情况的线光源

获得两列相干光源（完全相同的）

① $S_2P - S_1P = n\lambda$ ⇒ 加强点、亮条纹

② $S_2P - S_1P = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$ ⇒ 减弱点、暗条纹

③ 现象：明暗相间、间距相等的干涉条纹

PS：单、双缝平行，相距5~10cm

红色滤光片：红光通过

④ 设 $O'P = x$：$\begin{cases} S_2P^2 = L^2 + (x+\frac{d}{2})^2 \\ S_1P^2 = L^2 + (x-\frac{d}{2})^2 \end{cases} \Rightarrow S_2P^2 - S_1P^2 = 2dx$

$\therefore (S_2P - S_1P)(S_2P + S_1P) = 2dx \xRightarrow{\text{近似}} S_2P + S_1P = 2L$

$\therefore S_2P - S_1P = \frac{dx}{L} = n\lambda \Rightarrow \begin{cases} 第1条亮纹：x_1 = \frac{L}{d}\lambda \\ 第2条亮纹：x_2 = \frac{L}{d}\cdot 2\lambda \end{cases} \Rightarrow \Delta x = \frac{L}{d}\lambda$

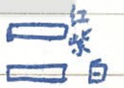
（O'处亮纹记为第0条）

∴ 间距相等　测波长：$\boxed{\lambda = \frac{d}{L}\cdot\Delta x = \frac{c}{f}}$

↑以亮条纹中心对齐

⑤ 由 $\lambda = \frac{d}{L}\cdot\Delta x$：$\Delta x_{红} > \Delta x_{紫}$

⑥ 入射光为白光：
- 中央白光
- 彩色条纹（红外紫内）



⇒ $\lambda_{红} > \lambda_{紫}$

$2\lambda_{紫} > \lambda_{红}$

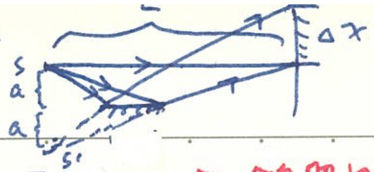
PS：若将S向上移，则中央亮纹在O'下方。（∵实际为 $SS_1 + S_1P = SS_2 + S_2P$）

$\downarrow$　$\nearrow$　$\uparrow$　$\downarrow$

围绕音叉转一圈听到忽强忽弱的声音是干涉。

振动的

洛埃利干涉：

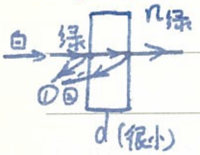


$\lambda=\frac{2a}{L}\cdot\Delta x$ （将d换为2a）

四、运用

Ps：全息照相应用的是干涉

1.增透膜

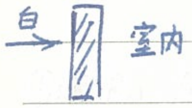


①与②反射，相遇

②-①： $2d=1\times\frac{\lambda_{介}}{2}\Rightarrow d=\frac{1}{4}\lambda_{介}$ （$\lambda_{介}$求法：$\lambda=\frac{v}{f}=\frac{c}{n}\cdot\frac{1}{f}=\boxed{\frac{\lambda_{真空}}{n}}$）

从膜后出来的光，绿光最强；膜反射的光中，绿光最弱。

2.反射膜



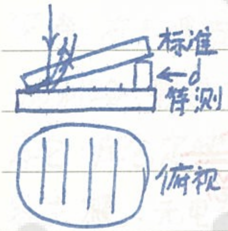
若 $d=\frac{1}{4}\lambda_{黄介}$：室内为柔和的黄绿光

反射蓝紫光（看上去）

3.薄膜干涉：原理同上

白光入射：横向彩色条纹

4.检查工件平整度（"薄膜"为中间的空气）



①若有个凹处：可能条纹变成：{ 等.

☆②若 d↓：条纹变疏

第三节.光的衍射和偏振

①增大L：Δx↑ ②增大λ：Δx↑

③单缝宽度↓：Δx↑，变明显

一、光的衍射

↓ λ与Δx也为正相关

1.明显衍射的条件：孔的尺寸比λ小或差不多。

☆2.{细单缝衍射：明暗相间、间距不等的衍射条纹。

小孔衍射：明暗相间的圆环：中心亮斑大，环间距↑，外侧是黑的

圆板衍射：明暗相间的圆环：中心亮斑小，环间距↓，外侧是亮的

（泊松亮斑）

具体就是间距不等即可

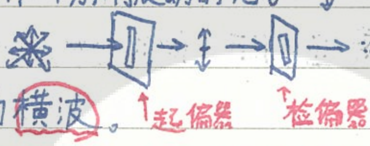
斑与环之间是黑的

二. 光的偏振

1. 自然光：各个方向都有振动的光。✳ 太阳、电灯

2. 偏振光：只有一个方向振动的光。↕

3. 偏振片：



∴无光

4. 结论：光为横波。

5. 产生偏振光的方式：反射光与折射光间夹角为90°时；其偏振方向相互垂直。

激光：相干性好、平行度好、亮度高、强度大……，人工合成的。

伽利略相对性原理：力学规律在任何惯性系中都成立。

狭义相对论两个基本假设：{ 狭义相对性：不同惯性参考系中，一切物理规律都相同。
光速不变：真空中光速c在不同参考系中不变。

空间、时间、长度、速度、质量在物体不同运动状态下是有关的、相对的。

"长度"相对性：$l = l_0\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}$

"时间间隔"相对性：$\underset{\uparrow\text{地面观察者}}{\Delta t} = \frac{\overset{\uparrow\text{运动者}}{\Delta T}}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}}$

质速关系：$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}}$ 质能关系：$E = mc^2 = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}} = \frac{E_0}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}}$

$\therefore E_0 = m_0C^2$ $(\Delta E = \Delta mc^2)$

速度变换式：$u = \frac{u'+v}{1+\frac{u'v}{c^2}}$ （u'：车上人速；v：车速；u：人相对地面速）

$B=\frac{F}{IL}$

定义式：$v=\frac{\Delta x}{\Delta t}$. $E=\frac{F}{q}$. $c=\frac{Q}{U}$. $\varphi=\frac{E_p}{q}$. $I=\frac{q}{t}$. $R=\frac{U}{I}$. $m=\frac{F}{a}$

决定式：$\begin{cases} E=\frac{kQ}{r^2}(点电荷) \\ E=\frac{U}{d}(匀场) \end{cases}$ $C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$ $I=nqsv$ $R=\rho\frac{L}{S}$. $m=\rho V$

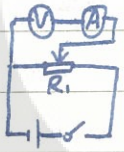
测Ⓥ（0~3V，约1000Ω）的R_V.

E（4V，r不计），R_1(0~10Ω)，A_1(0~3mA，R_A约为1Ω)

R_2(0~170Ω)，A_2(0~0.6A，R_A约0.2Ω)

↑
滑阻

①选R_1、A_1.　②



③ $R_V=\frac{U}{I}$.

一、福兰克林：命名正、负电荷；风筝实验；发明避雷针

法拉第：引入电场、电场线；电磁感应定律

奥斯特：电流磁效应

安培：右手螺旋定则；分子环形电流假说；左手定则；电流同向相吸异向相斥

伽利略：物体下落快慢与重量无关；力是改变物体运动的原因；观察—假设—数学推论法研究抛体运动

库仑：库仑定律（$F\propto\frac{kqq}{r^2}$）

密立根：元电荷（$e=1.6\times10^{-19}C$）（油滴实验）

洛伦兹：洛伦兹力（$f_{洛}=qvB$）

麦克斯韦：麦克斯韦电磁理论（预言电磁波）

赫兹：证实电磁波存在；测定电磁波速$v=C$.

伦琴：伦琴射线（x射线）

牛顿：三大运动定律；万有引力定律（$F=G\frac{m_1m_2}{r^2}$）

胡克：胡克定律（$F=k\Delta x$）（在一定条件下）

托勒密：地心说；哥白尼：日心说

开普勒：开普勒三大定律

卡文迪许：扭秤测定万有引力常量。

(爱因斯坦)量子力学与相对论：经典力学不适用于高速、微观物体。

欧姆：实验测出欧姆定律($R=\frac{U}{I}$)

昂尼斯：超导现象

楞次、焦耳：电流通过导体热效应，即焦耳—楞次定律

汤姆森：发现电子；阴极射线是高速离子流

阿斯顿：质谱仪

劳伦兹：回旋加速器

楞次：楞次定律

亨利：自感现象(应用：日光灯、双绕线法)

~~二、热学~~

~~布朗：布朗运动~~

二、波动学、光学

惠更斯：单摆周期公式($T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$)；惠更斯原理(机械波波动规律)

多普勒：多普勒效应

赫歇耳：红外线

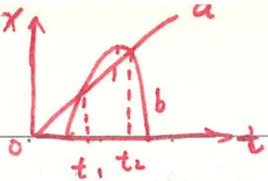
里特：紫外线

斯涅耳：折射定律

托马斯·杨：双缝干涉

泊松：泊松亮斑(衍射)

爱因斯坦：狭义相对论；质能方程式($E=mc^2$)



$t_1 \sim t_2$: $\bar{v}_a = \bar{v}_b$

$0 \sim t_2$: $\bar{v}_a = \bar{v}_b$

复习

第一章.运动的描述

一、平均速度

位移而非路程

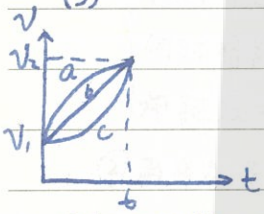
1.规律: $\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$, $\bar{v}$ 与 x 方向相同 (矢量)

2.运用:

(1) 直线运动，前半位移以 v_1 匀速，后半位移以 v_2 匀速，则 $\bar{v} = \frac{x}{\frac{x}{2v_1} + \frac{x}{2v_2}} = \boxed{\frac{2v_1v_2}{v_1+v_2}}$

(2) 前半时间 v_1 匀速，后半时间 v_2 匀速，则 $\boxed{\bar{v} = \frac{v_1+v_2}{2}}$

(3)



$$\begin{cases} \bar{v}_a > \frac{v_1+v_2}{2} \\ \bar{v}_b = \frac{v_1+v_2}{2} \\ \bar{v}_c < \frac{v_1+v_2}{2} \end{cases}$$

(自带正负)

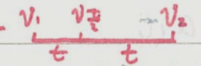
$x = \bar{v}t$, t 相同, x 表现为 v-t 图上的面积

二、匀变速直线运动

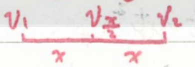
1.规律: ① $v_t = v_0 + at$; $x = v_0t + \frac{1}{2}at^2$; $v_t^2 - v_0^2 = 2ax$

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

③ $v_{\frac{t}{2}} = \frac{v_1+v_2}{2}$; $\boxed{v_{\frac{x}{2}} = \sqrt{\frac{v_1^2+v_2^2}{2}}}$



$\Rightarrow v_2 - v_{\frac{t}{2}} = v_{\frac{t}{2}} - v_1 = \Delta v$



$\Rightarrow v_2^2 - v_{\frac{x}{2}}^2 = v_{\frac{x}{2}}^2 - v_1^2 = 2ax$

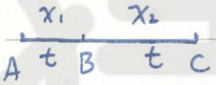
☆④ $\Delta v = at$ (任意相等时间内)

☆⑤ $\Delta x = at^2$ (连续相等时间内)

⑥ 任意情况下, $v_{\frac{x}{2}} > v_{\frac{t}{2}}$ (推导: 画图; 均值不等式)

2.运用:

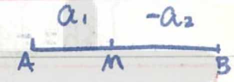
(1) 匀加速，连续相等时间 t 内位移为 x_1 , x_2 , 求 a ; v_0 .



$\because \Delta x = at^2 \Rightarrow a = \frac{x_2-x_1}{t^2}$

$v_B = \frac{x_1+x_2}{2t} \Rightarrow v_0 = v_B - at = \frac{x_1+x_2}{2t} - \frac{x_2-x_1}{t} = \frac{3x_2-x_1}{2t}$

(2) A点静止开始以 a_1 匀加速，接着以 a_2 匀减速至B时速度为0.



① 知 $x_总$, 求 $t_总$:
$$\begin{cases} \frac{v_m^2}{2a_1} + \frac{v_m^2}{2a_2} = x \Rightarrow v_m = \sqrt{\frac{2a_1a_2x}{a_1+a_2}} \\ \frac{v_m}{a_1} + \frac{v_m}{a_2} = t_总. \Rightarrow t_总 = \sqrt{\frac{2(a_1+a_2)x}{a_1a_2}} \end{cases}$$

② 知 $t_总$, 求 $x_总$:
$$\begin{cases} \frac{v_m}{a_1} + \frac{v_m}{a_2} = t \Rightarrow v_m = \cdots \\ \frac{v_m^2}{2a_1} + \frac{v_m^2}{2a_2} = x \Rightarrow x = \cdots \end{cases}$$

(3) 竖直上抛，$v_0 = 20m/s$，$g = 10m/s^2$

① $\begin{cases} t_上 = \frac{v_0}{g} = 2s. \\ t_全 = \frac{2v_0}{g} = 4s. \end{cases}$ ② $h_m = \frac{v_0^2}{2g} = 20m$

③ 经过多少时间达抛点上方15m？

$\overset{15}{x} = v_0t - \frac{1}{2}gt^2 \Rightarrow t = 1$ 或 3 （一个匀变速）

④ 经过多少时间达抛点下方25m？

$-25 = v_0t - \frac{1}{2}gt^2 \Rightarrow t = 5s$ （有一个解为负，舍）

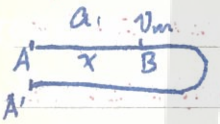
⑤ 经5s时的位移？5s内的$\bar{v}$？5s末的v_5？

$x = v_0t - \frac{1}{2}gt^2 = -25m.$

$\bar{v} = \frac{x}{t} = \frac{-25}{5} = -5m/s$

又 $\bar{v} = \frac{v_0+v_t}{2} \Rightarrow v_5 = -30m/s$

☆(4) 从A静止以a_1匀加速t，然后以a_2匀减速t恰好回A点，求a_1/a_2=？



$\begin{cases} v_m = a_1t \\ x = \frac{1}{2}a_1t^2 \\ -x = v_mt - \frac{1}{2}a_2t^2 \end{cases}$ $\Rightarrow -\frac{1}{2}a_1t^2 = a_1t^2 - \frac{1}{2}a_2t^2$ $\therefore \frac{a_1}{a_2} = \frac{1}{3}$ （大小）

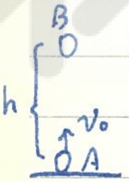
思考：A→B有F_1，B→A'有F_2：$\begin{cases} \frac{F_1}{F_2} = \frac{1}{3} \text{（大小）}, W_{F_1} > 0, W_{F_2} > 0 \\ \therefore W_{F_1}/W_{F_2} = \frac{1}{3} \end{cases}$

(5) A、B从同一地点自由落体，A比B先下落1s（$\Delta t = 1s$），则Δv和Δh？

令B下落t： A$\begin{cases} v_A = g(t+\Delta t) \\ h_A = \frac{1}{2}g(t+\Delta t)^2 \end{cases}$ B$\begin{cases} v_B = gt \\ h_B = \frac{1}{2}gt^2 \end{cases}$

$\therefore \begin{cases} \Delta v = g\Delta t \text{ 恒定} \\ \Delta h = \frac{1}{2}g\Delta t^2 + \cancel{\frac{1}{2}} g\Delta t \cdot \underset{\sim}{t} \text{ 增}\nearrow \end{cases}$

☆(6) A从地面竖直上抛，以v_0，上方h处B同时自由落体。



①能相遇，求相遇时间。

A： 

$\begin{cases} \text{向上的匀速} \\ \text{向下的自由落体} \end{cases}$ ∴相当于A→B匀速. $\therefore t = \frac{h}{v_0}.$

B： 

向下的自由落体

② 要在A上升过程中相遇：$\frac{v_0}{g}>\frac{h}{v_0} \Rightarrow v_0>\sqrt{gh}$

③ 能在空中相遇：$\frac{2v_0}{g}>\frac{h}{v_0} \Rightarrow v_0>\sqrt{\frac{gh}{2}}$

④ 要在A下降过程中相遇：$\sqrt{\frac{gh}{2}}<v_0<\sqrt{gh}$.

(7) 追及问题 { 相遇是位移满足关系
相距最远、最近时是 v 相等.

① A匀速 $v_A=1m/s$，A出发后5s，B从同一地点由静止匀加速 $a_B=0.4m/s^2$. ~~求何时相遇~~

{ 何时相遇：$v_At=\frac{1}{2}a_Bt^2$
何时相距最远：$v_A=a_Bt_1$
相距最大距离：$x_m=5+v_At-\frac{1}{2}a_Bt_1^2$

② 两车A、B相距 $x_0=7m$，A在后 4m/s 匀速，B在前以 $v_0=10m/s$，$a=-2m/s^2$ 匀减速 何时追上?

汽车5s后停下：$x_1=\frac{v_0^2}{-2a}=25m$

$\therefore t=\frac{x_0+x_1}{4}=8s$.

☆③ 甲、乙距 x_0，乙在前 $v_0=0$，a_1 匀加速，甲在后以 v_0 初速，a_2 匀加速 (AB)

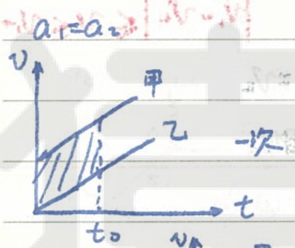
A、若 $a_1=a_2$，则只能相遇一次

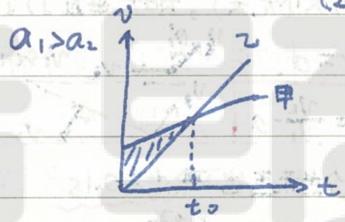
B、若 $a_1>a_2$，可能～两次　　$x_0+\frac{1}{2}a_1t^2=v_0t+\frac{1}{2}a_2t^2$

C、若 $a_1<a_2$，则一定～两次　　$\therefore \frac{1}{2}(a_2-a_1)t^2+v_0t-x_0=0$

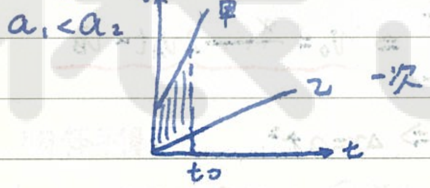
D、若 $a_1>a_2$，不可能～　　$\Delta=v_0^2+2(a_2-a_1)x_0$

(还要注意根的正负，负的要舍)





阴影：若 $=x_0$，则一次；
若 $>x_0$，则两次；
若 $<x_0$，则不能相遇

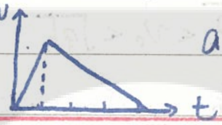


S为位移　S为路程

(8) v-t 图与 $v_{率}$-t 图：

① 从静止始在水平恒力 F 下匀加速，t_0 后去掉 F，又运动 $3t_0$ 停止。

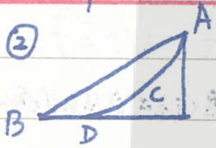
$\begin{cases} \frac{F}{f} = ? & \frac{4}{1} \\ \frac{W_F}{W_f} = ? & \frac{1}{1} \end{cases}$



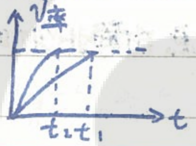
$a_1 : a_2 = 3:1$

$(F-f) : f = 3:1$

②

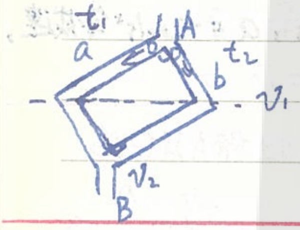


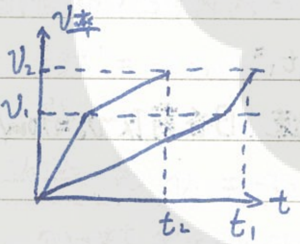
光滑，$\overline{AB} = \overset{\frown}{ACD}$，$\overline{AB}$ 为 t_1，$\overset{\frown}{ACD}$ 为 t_2，则 t_1 与 t_2 大小关系？



只有 $t_1 > t_2$ 面积才相等

☆③

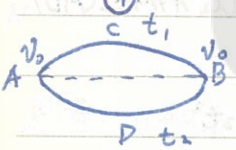




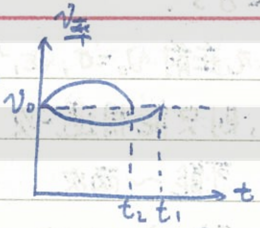
由动能定理：$\frac{v_1}{v_2} = \frac{1}{\sqrt{2}}$

$t_1 > t_2$

④



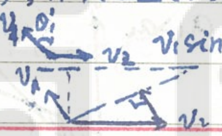
光滑，$\overset{\frown}{ACB}$ 为 t_1，$\overset{\frown}{ADB}$ 为 t_2。



(9) 渡河问题：河宽为 d，水流为 v_2，船在静水中 v_1。　注：没有讨论 v.

① 最短时间：$\boxed{t = \frac{d}{v_1}}$（与 v_1、v_2 大小无关），船头垂直于河岸　$|v_1 - v_2| \leq v \leq v_1 + v_2$

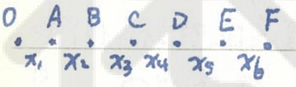
☆② 最短航程：$\begin{cases} v_1 > v_2 \text{时}: x = d. \\ v_1 < v_2 \text{时}: \boxed{x = \frac{v_2}{v_1} \cdot d} \end{cases}$



$v_1 \sin\theta = v_2$

相似

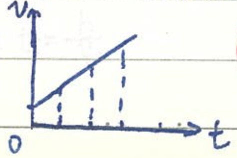
(10) 关于 $\Delta x = at^2$：每2个计数点间有4个点未画出 ⇒ $t = 0.1s$



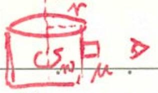
① 求某个计数点速度：$\begin{cases} v_A = \frac{x_1 + x_2}{2t} \\ v_B = \frac{x_2 + x_3}{2t} \end{cases}$ ⇒ $v_0 = \cancel{x_1 +} 2v_A t - v_B$

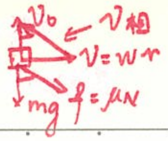
② 求 a.（逐差法）$\Delta x = \frac{(x_4 + x_5 + x_6) - (x_1 + x_2 + x_3)}{9}$ ⇒ $\Delta x = at^2$

（图像法）v-t 图. 求出 $v_0 \sim v_F$　（从O点起计时）



相对运动:





地面上看m匀速上升

v_0、v均是对地速度

$v_{相}$是相对速度，f与$v_{相}$方向相反

第二章. 相互作用 物体平衡

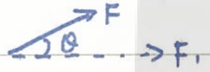
一. 力的合成与分解

1. ①两分力大小不变，分力夹角θ↑ ($\theta<180°$)，合力大小↓。

②$\boxed{|F_1-F_2|\leq F_{合}\leq F_1+F_2}$ (一物体受三个力：3N、4N、5N，可否平衡)

2. 运用

(1) 知合力$F=10N$与1个分力F_1的方向 ($\theta=30°$)



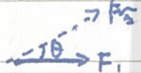
当$F_2\leq F\sin\theta$：无解

当$F_2=F\sin\theta$：一个解，F_2为最小值

当$F_2\in(F\sin\theta, F)$：2个解

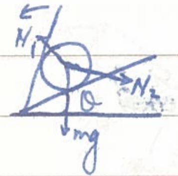
当$F_2\geq F$：一个解

(2) 知1个分力F_1与$F_{合}$的方向 ($F_1=10N$，θ)



$\therefore \boxed{F_{2min}=F_1\sin\theta}$

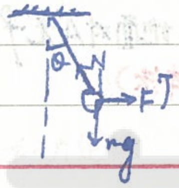
(3)



挡板逆时针缓慢转至水平，N_1、N_2如何变化?

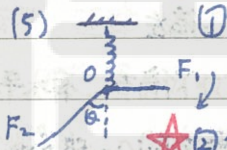
N_1↓；N_2先减小后增大

(4)



F转至竖直，θ不变，则F <u>先↓后↑</u>，N <u>↓</u>。

(5)



①保持$F_{弹}$、θ不变，F_1顺时针转过一个小角度。

F_1：先↓后↑，F_2：↓

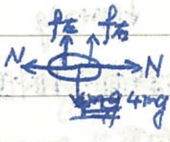
☆②保持$F_{弹}$、F_1大小不变，F_1顺时针转过一个小角度。

F_2：↓，θ：↑ (用余弦定理证明)

二. 物体平衡

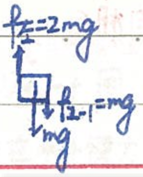
1.

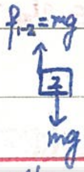
均为m ①整体法：



$\therefore f_{左}=f_{右}=2mg$

☆②隔离法：

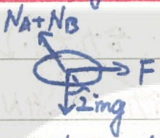




$\therefore \boxed{f_{2-3}=f_{3-2}=0}$.

2.

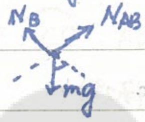
①整体法：



$\therefore F=2mg\tan\theta$.

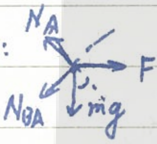
$N_A+N_B=\frac{2mg}{\cos\theta}$

☆②隔离法：B:



$$\begin{cases} N_{AB}=mg\sin\theta \\ N_B=mg\cos\theta \end{cases}$$

A:

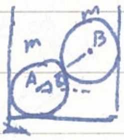


$F\cos\theta=2mg\sin\theta \Rightarrow F=2mg\tan\theta$

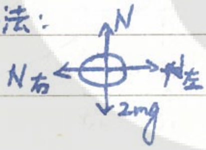
$N_A=mg\cos\theta+F\sin\theta$

$=\frac{mg(\cos^2\theta+2\sin^2\theta)}{\cos\theta}=\frac{mg(1+\sin^2\theta)}{\cos\theta}\boxed{>mg}$

3.



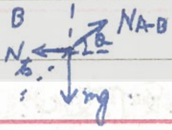
①整体法：



$\therefore N=2mg$

$N_{左}=N_{右}$

②隔离法：



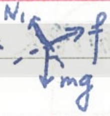
$\therefore N_{A-B}=\frac{mg}{\sin\theta}$

$N_{右}=\frac{mg}{\tan\theta}$

4.

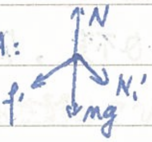
A静止. ① B静止：（$\mu\geq\tan\theta$）

B:



$N_1=mg$~~$\sin\theta$~~$\cos\theta$，$f=mg$~~$\cos\theta$~~$\sin\theta$

A:



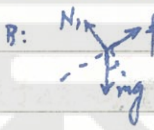
$N=(M+m)g$，地面对A无f.

（整体法）

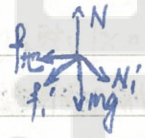
② B匀速下滑：$N_{地}=(M+m)g$，地面对A仍无f.

☆③ B加速下滑：隔离法：

B:



A:

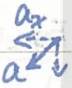


原因：

①法：N_1、f_1合力上偏左

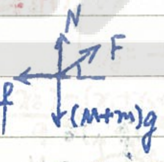
$\therefore N_1'$、f_1'合力下偏右，有水平右的分力

②法：



有水平左的a_x由$f_{地}$提供

④ B在 $\nearrow F$ 下匀速向上：整体法：



有向左f. $f=F\cos\theta$.

☆⑤在B能匀速下滑的情况下，给B一个沿斜面向下的恒力F使B匀加速下滑，则$\boxed{f_{地}=\underline{0}}$

$\because f_{B-A}$、N_{B-A}都没变，合力仍竖直向下

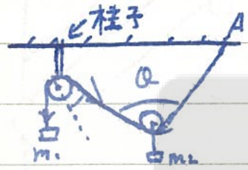
⑥在B能匀加速下滑的情况下给一个竖直向下的F，则$a'\ \underline{\geq}\ a$.

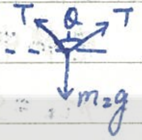
原：$g(\sin\theta-\mu\cos\theta)>0$　现：$(F+mg)\sin\theta-\mu(F+mg\cos\theta)=F(\sin\theta-\mu\cos\theta)+ma=ma'$

轻绳：{活结：张力相等
　　　 死结：张力不一定相等

轻杆：{死杆：轻质固定杆，弹力方向不一定沿杆
　　　 活杆：有铰链，弹力一定沿杆

5. 滑轮、轻杆问题：

(1)


① 动滑轮部分：


$2T\cos\frac{Q}{2}=m_2g \Rightarrow T=\frac{m_2g}{2\cos\frac{Q}{2}}$

又 $T=m_1g$

$\therefore m_1=\frac{m_2}{2\cos\frac{Q}{2}}$

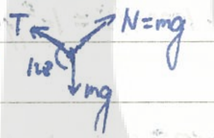
$\therefore \boxed{m_1>\frac{1}{2}m_2}$

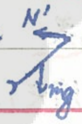
★② 若A向右移一段，则Q <u>不变</u>，T <u>不变</u>

★③ 天花板对左滑轮的作用力：$F=2T\cos\frac{Q}{4}=2m_1g\cos\frac{Q}{2}$.

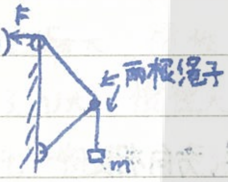
方向：沿虚线左上方，与竖直方向夹角$\frac{Q}{4}$.

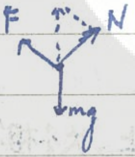
(2)

{若为轻杆：N′一定沿杆（力矩平衡）
　若有m的杆：


N′应如此，杆才不会旋转

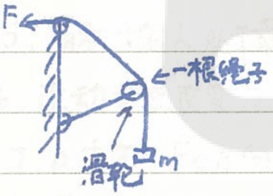
★★(3)


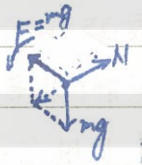


相似 {N不变
　　　F↓

注意区分滑轮与节点

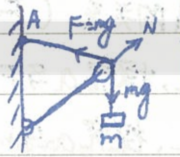
区分是一根绳还是两根绳





{F不变（指绳的拉力不变）
　N不变

(动都不动)



当A稍微下移：
{F不变
　N↗

第三章 运动定律

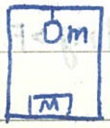
第一部分、定律、概念

一、适用范围：宏观、低速（相对于光速）

二、惯性：1. 物体保持原来静止或匀速运动状态的性质。

2. {质量大、惯性大
　　固有属性

三、超重、失重：1. 重力不变。



2. 当a向上：N(T)>mg 超重

3. 当a向下：N(T)<mg 失重

4. a=g向下：N(T)=0 完全失重

偶然误差：人为因素；有时偏大有时偏小
系统误差：原理；要不一直偏大，要不一直偏小

5. 在地面上能举起60 kg的人，在 $a=2m/s^2$ 匀加速上升的电梯能举起多重物体？

举力：$F=N=mg=600N$. 电梯中 $F_{举}$ 不变

$\therefore F_{举}-m_2g=m_2a \quad \therefore m_2=50kg$.

四. 牛顿第二定律

1. 表达式：$a\propto\frac{F}{m} \Rightarrow F=kma$ （只能说：a与F成正比，与m成反比）

使1kg物体产生 $1m/s^2$ 所需的力定义为1N. $\Rightarrow k=1$
使1000g物体产生 $100cm/s^2$ 所需的力定义为 10^5 达因 $\Rightarrow 1N=10^5$ 达因
$\Uparrow 1000g\cdot100cm/s^2=10^5g\cdot cm/s^2$

2. a的方向与F相同，与v无关

3. 特性：瞬时性（F消失a即消失）、独立性（每个F都产生1个a）

五. 牛顿第三定律：作用力与反作用力

同种性质
同时存在，同时消失
分别作用在两个物体上，大小相等，方向相反

1. 两个力做功：没有必然关系。

六. 探究a与F、a与M的关系（$F=Ma$）

1. 原理：
当M不变，探究a与F关系 ⇒ a-F图
当F不变，探究a与m关系 ⇒ $a-\frac{1}{m}$ 图

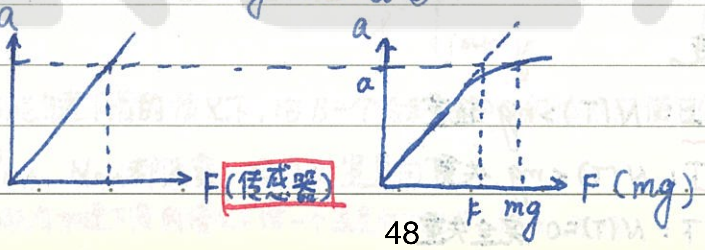
器材：

2. 带滑轮的长木板、小车、沙桶与沙、天平、打电点计时器、纸带、刻度尺(mm)。

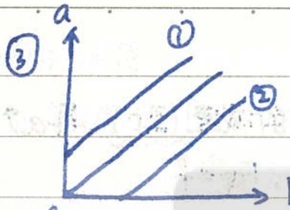
3. 注意事项：①平衡f，且不挂沙桶与沙，拖上纸带。
②不重复平衡f。
③ $M_{车}>>m$（沙与桶）. 凡能直接显示F的则不需要 $M>>m$.
④先通电，后放小车；小车应靠近打点计时器。

4. 讨论：① $M\gg m$：$\begin{cases}F=Ma & ①\\ mg-F=ma & ②\end{cases} \Rightarrow a=\frac{m}{M+m}g \Rightarrow F=\frac{M}{M+m}mg\approx mg$.

②

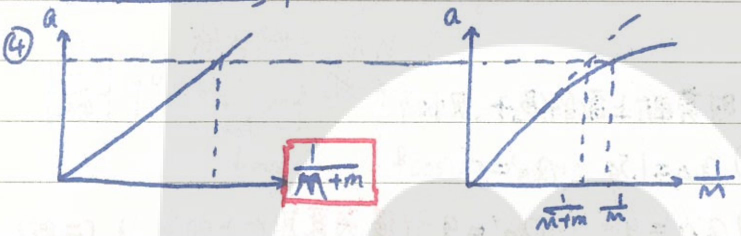


$\because mg>F$
$\therefore$ 达到相同a时 $mg>F$
$\therefore$ 向右弯



①平衡f过度

②未平衡f.



第二部分.理解

一.理解

1. m大，惯性大。（√）

2. $F_合$大，惯性大。（x）

3. v大，惯性大。（x）

4. 一物体，v变化快则$F_合$大。（√）

5. 荡秋千的人处于最低点：超重。（√）

6. 运动状态改变，必受外力作用。（√）

7. a方向、$F_合$方向一定相同；v方向与它们无关。（√）

8. $F_合$大小不变，$v_率$也可以不变。（√）} 匀速圆周运动

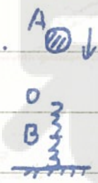
9. $F_合$变化，$v_率$一定变化。（x）

10. $v_率$变化，$F_合$大小也变化。（x）} 匀变速直线运动

11. v变化，$F_合$一定变化。（x）

二.讨论：a($F_合$)与v变化的关系

1.



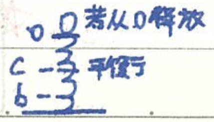
① a：先不变，再↓，最后↑（A→O→B）

② v：先↑，再↓

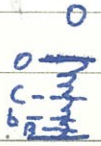
③ a、v：先匀加速，再a↓的加速，最后a↑的减速

④ O→B、B→O 的v都是先↑后↓

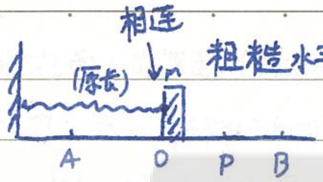
☆⑤ $a_B>g$ $(F_B>2mg)$



∴



2\.



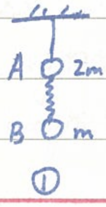
粗糙水平面，压至A静止释放；能过P.

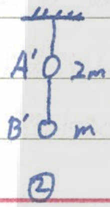
A→O→P：先a↓的v↑，再a↑的减速(至O)，再a↑的减速(至P)

↑至AO中的一点，$F_{弹}=f$.

三.讨论：力变化，状态变化

1\.



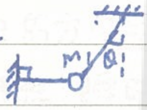


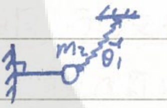
同时剪断上面的绳子，则：

① $a_A=1.5g$，$a_B=0$

☆② $a_{A'}=g$，$a_{B'}=g$ (绳突变)

2\.



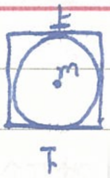


同时剪断(水平)绳子，则：($m_1=m_2$)

$a_{m_1}=g\sin\theta$，$a_{m_2}=g\tan\theta$，水平向右

↑沿切线方向

3\.



均光滑，竖直向上抛出，求下列情况下上、下内壁弹力：

① 无阻力：上升、下降均无$F_{弹}$

② 有空气阻力
- 上升：上内壁 $F_{弹}=f$，方向向下
- 下降：下内壁 $F_{弹}=f$，方向向上

四、讨论：v_0、$F_{合}$决定运动状态.

1\.

m与M间光滑，M与斜面有μ，静止释放。

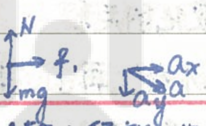
① m的运动轨迹：竖直下落，水平无力.

② M的加速度：无法求出。

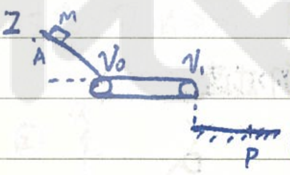
③ 若m、M有μ'且相对静止，求a与m、M之间的f_1.

整体：$a=g\sin\theta-\mu g\cos\theta$.

$\boxed{f_1=ma\cos\theta}$.



2\.



开始时传送带不动，由A静止释放，落至P.

① 传送带逆时针：P点.

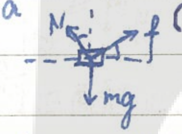
② 传送带顺时针：
- $v_{传}\le v_1$：P点
- ☆$v_1<v_{传}<v_0$：P点右侧
- $v_{传}\ge v_0$：P点右侧

第三部分、运用

一、正交分解法 $\begin{cases} a\text{方向建}x\text{轴}：F_x=ma \\ \text{垂直方向建}y\text{轴}：F_y=0. \end{cases}$

1.

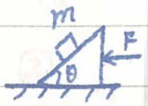
相对静止，求N、f.



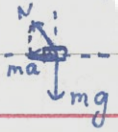
(法一) $\begin{cases} f\sin\theta+N\cos\theta-mg=ma \\ f\cos\theta=N\sin\theta \end{cases}$

(法二) N、f的合力竖直向上：$F=m(g+a)$ ⇒ $\begin{cases} N=F\cos\theta \\ f=F\sin\theta \end{cases}$

2.

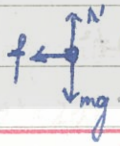


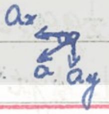
均光滑，相对静止，求a及N.



$a=g\tan\theta$

二、分解a法：





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

三、运动状态变化与a的关系

1.

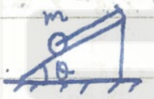
求做下列运动时球的位置：

① 匀速下滑：①处　② $a=\overset{g\sin\theta}{\cancel{g}}$ 匀加速下滑：②处

③ $a=\frac{g}{\sin\theta}$ 匀加速下滑：③处　④ $a=\frac{1}{2}g\sin\theta$：①~②之间

④ $g\sin\theta<a<\frac{g}{\sin\theta}$：②~③之间

2.

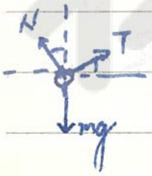


光滑，讨论T、N.（相对静止）

① 匀速：$\begin{cases} N=mg\cos\theta \\ T=mg\sin\theta \end{cases}$　② 向右 $a=g\cot\theta$ 匀加速 ⇒ $\begin{cases} N=0 \\ T=\frac{mg}{\sin\theta} \end{cases}$

③ 向右 $a=2g\cot\theta$ 匀加速　④ 向左 $a=g\tan\theta$ 匀加速 $\begin{cases} T=0 \\ N=\frac{mg}{\cos\theta} \end{cases}$

↑飞起　$\boxed{T^2=(mg)^2+(ma)^2}$



令N=0：$a=g\cot\theta$（临界）

令T=0：$a=g\tan\theta$（临界）

① 

a. $\mu<\tan\theta$：静止(掉下来)

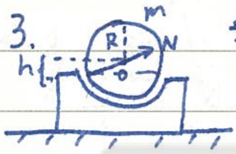
b. $\mu>\tan\theta$：{一直加速(v带大)
先加速后匀速

② 

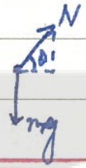
a、一直加速(v带大)

b、先加速后匀速($\mu=\tan\theta$)

c、先加速 后加速($\mu<\tan\theta$) $a_1>a$
$\quad\;\; a_1 \qquad\quad a_2$

3. 

光滑，相对静止，讨论N与a的关系.



$$\begin{cases}N^2=(mg)^2+(ma^2)\\ \tan\theta=\dfrac{g}{a}\end{cases}$$

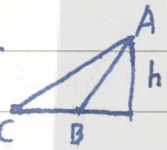
$\tan\theta\geq\dfrac{h}{\sqrt{R^2-h^2}}$

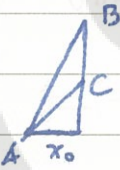
☆4. 土豆问题：

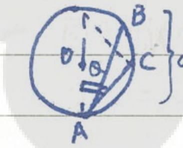
$$\begin{cases}\boxed{F^2=(mg)^2+(ma)^2}\\ \tan\theta=\dfrac{g}{a}\end{cases}$$

四. 运动学(a)与F的关系：{运动学知识
$F=ma$

☆☆1.







均光滑，讨论t.

$x=\dfrac{h}{\sin\theta}=\dfrac{1}{2}g\sin\theta t^2$

$\therefore h=\dfrac{1}{2}g\sin^2\theta t^2$

$\therefore \boxed{t_{AB}<t_{AC}}$

$x=\dfrac{x_0}{\cos\theta}=\dfrac{1}{2}g\sin\theta t^2$

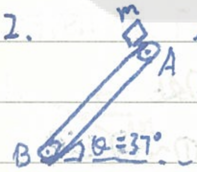
$\therefore x_0=\dfrac{1}{4}g\sin2\theta t^2$

∴当$\boxed{\theta=45°}$时有t_{min}

$x=d\cos\theta=\dfrac{1}{2}g\cos\theta t^2$

$\therefore d=\dfrac{1}{2}gt^2$

∴$\boxed{t\text{均相同}}$

2. 

$\mu=0.5$，$v_{带}=10m/s$，$x_{AB}=16m$，将物轻放于A.

(1) 顺时针：$a_1=g\sin\theta-\mu g\cos\theta=2m/s^2$

$x=\dfrac{1}{2}a_1t^2\Rightarrow t=4s$.

划痕长度：$x_{AB}+v_{带}t=56m$.

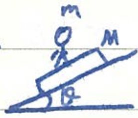
☆(2) 逆时针：$a_2=g\sin\theta+\mu g\cos\theta=10m/s^2$

$\therefore t=1s$后：$v_{物}=v_{带}=10m/s$，$x_1=\dfrac{1}{2}a_2t^2=5m$，$\Delta x=x_{AB}-x_1=11m$.

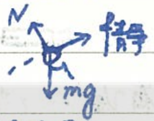
再加速，$v_{物}>v_{带}$，$\boxed{a\text{由}a_2\text{变为}a_1}$.

$\Delta x=10\cdot t_2+\dfrac{1}{2}a_1t_2^2\Rightarrow t_2=1s\Rightarrow t_{总}=2s$

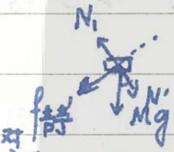
五. 两个或以上的联系体{①靠相互作用力联系
②若a不同则用隔离法
③求出相互作用力

☆1. 

板与斜面光滑，人在板上走动。

①人相对于地面静止：

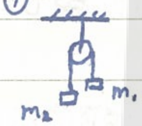
$f_{静}=mg\sin\theta$



$a_{板}=\frac{(M+m)g\sin\theta}{M}$

②板相于地面静止：$f_{静}=Mg\sin\theta \Rightarrow a_{人}=\frac{(M+m)g\sin\theta}{m}$

---

2. ① 

$m_1>m_2$，求a与T. $\overset{\downarrow}{}F_{动}$ $\overset{\downarrow}{}F_{阻}$

整体法：$a=\frac{m_1g-m_2g}{m_1+m_2}$　隔离法：$\begin{cases}m_1g-T=m_1a\\T'-m_2g=m_2a\end{cases}$

② 

斜面粗糙为μ，由静止始，m_2下降h时剪断绳，求m_1上升最大高度。

隔：$\begin{cases}m_2g-T=m_2a\\T'-m_1g\sin\theta-\mu m_1g\cos\theta=m_1a\end{cases}$　整：$m_2g-m_1g\sin\theta-\mu m_1g\cos\theta=(m_1+m_2)a$

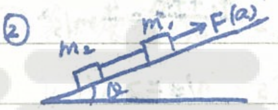
由a知 $v^2=2ah$ ⇒求出v.

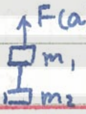
断后：$a_{m_1}'=-g\sin\theta-\mu g\cos\theta$ ⇒由 $x=\frac{v^2}{2a}$ 得出x　} $\boxed{ah=a'x}$

高度：$(h+x)\sin\theta$.

☆3. ① 

求绳拉力T

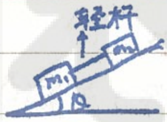
② 

③ 

④ 

$\boxed{T=\frac{m_2}{m_1+m_2}F}$ （先整体后分析m_2）
求a　求T

---

4. 

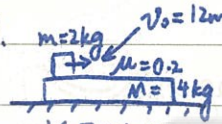
m_1与斜面为μ_1，m_2与斜面为μ_2，讨论杆对m_1的作用力：（一起加速下滑）

① $\mu_1=\mu_2$：无力

② $\mu_1>\mu_2$：支持力向下．分析：去掉杆看a_1，a_2.

③ $\mu_1<\mu_2$：拉力向上

5.



板足够长

① 地面光滑：f  $\overset{a_1}{\cancel{a}}=\mu g=2\cancel{4}m/s^2$

 f' $a_2=\overset{1}{\cancel{2}}m/s^2$

t s 后有 $v_共$：$v_0-a_1t=a_2t \Rightarrow t=4s$

$\therefore v_共=4m/s$

$$\begin{cases} x_1=\frac{v_0+v_共}{2}\times t=32m \\ x_2=\frac{v_共}{2}\times t=8m \end{cases} \Rightarrow \Delta x=24m$$

② 若板长 L=16m：t' s 后掉下：$v_0t'-\frac{1}{2}a_1t'^2-\frac{1}{2}a_2t'^2=L \Rightarrow t=\cdots$

$$\therefore \begin{cases} v_m=\cdots \\ v_M=\cdots \end{cases}$$

方向由 f_1 决定

③ 若 $\mu_地=0.05$：$a_1=2m/s^2$ $\boxed{f_1=4N，f_地=3N}$

$\because f_1>f_地$ ∴ 木板滑动 $a_2=\frac{f_1-f_地}{M}=0.25m/s^2$

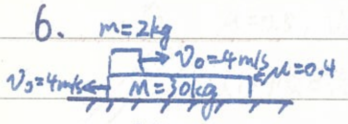
t_1 s 后有 $v_共$：可算出 $t_1=\frac{16}{3}s \Rightarrow \begin{cases} x_{板1}=\cdots \\ x_{块1}=\cdots \end{cases}$

$v_共=\frac{4}{3}m/s$

达到 $v_共$ 后一起匀减速 $a'=\mu_地 g=0.5m/s^2$

$\therefore x_{板2}=\frac{v_共^2}{2a'}$

6.



板足够长

① 地面光滑：$a_1=\mu g=4m/s^2$，$f_1=8N$

$a_2=\frac{4}{15}m/s^2$ $\begin{cases} m：先向右匀减速，再向左匀加速 \\ M：向左匀减速 \end{cases}$

② 若 $\mu_地=0.1$：$a_1=4m/s^2$，$f_地=32N$ 向右 $\Rightarrow a_2=\frac{f_1'+f_地}{M}=\frac{4}{3}m/s^2$

令 t s 后达 $v_共$：$-v_0+a_1t=v_0-a_2t \Rightarrow t=1.5s$，$v_共=2m/s$

(取向左为正) $\begin{cases} m：x_1=\frac{-v_0+v_共}{2}t=-1.5m \\ M：x_2=\frac{v_0+v_共}{2}t=4.5m \end{cases} \Rightarrow \Delta x=6m$

$v_共$ 后一起匀减速：$a_3=\mu_地 g=1m/s^2 \Rightarrow x=\frac{v_共^2}{2a_3}=2m$.

☆☆7. $m_A=6kg$，$m_B=2kg$. $\mu_{AB}=0.2$，$f_{静max}=f_滑=12N$

① 地面光滑：令一起匀加速：$\begin{cases} F-f_静=m_Aa \\ \boxed{f_静=m_Ba} \end{cases} \Rightarrow F=(m_A+m_B)a$

关键步骤

$\because$ 有 $f_{静max}=12N$ $\therefore a_{max}=6m/s^2$，$F_{max}=48N$

即 F ≤ 48 N 时 A、B 共同匀加速，$f_静$ 随 F 自由变化

若F>48N：$\begin{cases} A: F-f_{滑}=m_A a_A & \Rightarrow a_A=8m/s^2 \\ B: f_{滑}=m_B a_B & \Rightarrow a_B=6m/s^2 \end{cases}$ （a_B最大为6不变）

② 若 $\mu_{地}=0.05$：令一起：$\begin{cases} F-f_{静1}=m_A a \\ f_{静1}'-f_{地静}=m_B a \end{cases}$ $f_{静1max}=12N$ $f_{地}=4N$.

要一起运动：临界时 $f_{地}=4N=f_{AB}=F$, $a=0$.

即 $F\le 4N$时静止，$F\geq 4$时能运动.

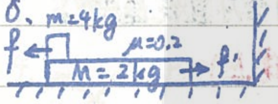
令一起匀加速：$\begin{cases} F-f_{静}=m_A a \\ \boxed{f_{静}'-f_{地}=m_B a} \end{cases}$ $\Rightarrow F-f_{地}=(m_A+m_B)a$

同①可知 $a_{max}=4m/s^2$，$F_{max}=36N$

即 $4N<F\le 36N$时共同匀加速。

---

* 8、



板足够长，地面光滑，一起 $v_0=12m/s$ 向右，板与墙碰时间极短，无能量损失.

① 第一次碰后经 t_1 达共速 v_1，相对位移 Δx_1.

$f=\overset{\mu mg}{}=8N \Rightarrow a_m=2m/s^2$, $a_M=4m/s^2$，以向右为正方向

$v_0-a_m t_1=-v_0+a_M t_1 \Rightarrow t_1=4s$，$v_1=4m/s$

$\begin{cases} x_m=\frac{12+4}{2}\times 4=32m \\ x_M=\frac{-12+4}{2}\times 4=-16m \end{cases} \Rightarrow \Delta x_1=48m$

☆② 第一次碰后M右端距墙 S_{max1}. $S_{m1}=\frac{v_0^2}{2a_M}=\frac{144}{8}=18m$.

③ 第二次碰后……（t_2, v_2, Δx_2）

$v_1-a_m t_2=-v_1+a_M t_2 \Rightarrow t_2=\frac{4}{3}s$，$v_2=\frac{4}{3}m/s$，$\Delta x_2=\frac{48}{9}m$.

④ 求停下后$\Delta x_{总}$：

Δx_1　Δx_2　Δx_3　…　Δx_n

48　$\frac{48}{9}$　$\frac{48}{81}$　- - -　0

$\therefore \Delta x_{总}=\frac{a_1(1-q^n)}{1-q}\xrightarrow[\text{极限}]{\text{近似}}\frac{a_1}{1-q}=\frac{48}{\frac{8}{9}}=54m$.

⑤ 求第n次碰后M右端距墙 S_{mn}：$S_{mn}=\frac{v_{n-1}^2}{2a_M}=\frac{(\frac{12}{3^n})^2}{2a_M}$

⑥ 由动能定理求$\Delta x_{总}$：

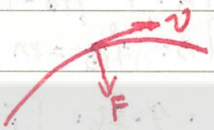
$f\Delta x_{总}=\frac{1}{2}(m+M)v_0^2 \Rightarrow \Delta x_{总}=54m$.

变速：v变化　　匀加速：a不变的加速

匀变速：v均匀变化（a不变）　　变加速：a变化的加速

第四章、曲线运动、圆周运动、万有引力

第一部分、曲线运动



v、F、轨迹知二求㊂.

一、合成与分解

1. 曲线运动的条件：v与$F_合$不在一条直线上。

2. 特点：① 轨迹向$F_合$方向弯曲。$\theta>90°$时减速；$\theta<90°$时加速；

$\theta=90°$时v有最值（或说速率不变）。

3. 说法：① 曲线运动是变速运动。（√）

② 曲线运动$F_合$一定不为0。（√）

③ ～ a一定不为0。（√）

④ ～ v一定变化。（√）

⑤ ～ 速率一定变化。（×）

⑥ ～ a一定变化。（×）

（反例请用：1、平抛 2、匀速圆周）

判断技巧：看$v_合$与$a_合$的方向关系

↓$\Delta v=at$

⑦ 匀变速曲线运动t相同，Δv相同。（√）

⑧ 两个匀速运动的合运动必为匀速。（√）

⑨ 一个匀速、另一个匀变速，合为曲线运动。（√）

⑩ 两个匀变速合为直线运动。（×）

⑪ 两个直线运动合为直线运动。（×）

（均不在一条直线上）

4. 性质：等时性、等效性、独立性、▱定则

如：坚直上抛 = v向上的匀速 + 自由落体

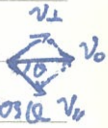
二、v的合成与分解

观点：{$v_合$是物体的实际速度。
　　　 分解需有条件

1.

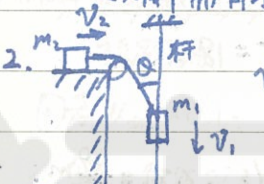
人向左以v_0匀速

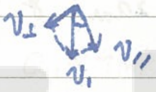
则物（变）加速。



$v_{//}=v_0\cos\theta$

2.





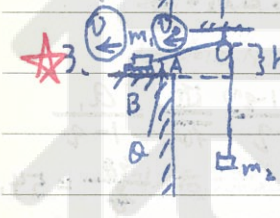
$v_1\cos\theta=v_{//}$

又 $v_{//}=v_2$

$\therefore \frac{v_1}{v_2}=\frac{1}{\cos\theta}$

1. 分清哪个是$v_合$
2. 将$v_合$正交分解

☆3.



滑轮与垂直面在同一竖直线（没画好）；车从A以v_0达B时为v，车的阻力恒为f，求牵引力做功。

$$W-f\cdot\frac{h}{\tan\theta}-m_2g\left(\frac{h}{\sin\theta}-h\right)=\frac{1}{2}m_1(v^2-v_0^2)+\frac{1}{2}m_2[(v\cos\theta)^2-0]$$

关键：沿绳（杆）方向速度分量大小处处相等，方向可以弯折.

第二部分. 平抛运动

一. 基本规律

1. 竖直方向: $\begin{cases} y=\frac{1}{2}gt^2 \\ v_y=gt \end{cases}$ 2. 水平方向: $x=v_0t$

3. 合成与分解: $\begin{cases} v_t^2=v_0^2+v_y^2 \\ s^2=x^2+y^2 \end{cases}$ $\begin{cases} \tan\varphi=\frac{v_y}{v_0}=\frac{gt}{v_0} \text{ (速度夹角)} \\ \tan\theta=\frac{y}{x}=\frac{gt}{2v_0} \text{ (位移夹角)} \end{cases} \Rightarrow \boxed{\tan\varphi=2\tan\theta}$

☆4. 注意: t相同, Δv相同。($\boxed{\Delta v=gt}$)

即匀变速运动中, 任何相同时间t内的Δv都相同。

二. 求t的几种方~~向~~法

1. $y=\frac{1}{2}gt^2$ 2. 已知v_0与落地时v_t: $\sqrt{v_t^2-v_0^2}=gt$

3. 已知v_0、夹角θ: $v_0\tan\theta=gt$

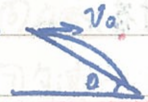
4. 

已知v_0, 垂直打在斜面上: $v_0\cot\theta=gt$

(轨迹切线方向即为v方向) (轨迹与…相切或垂直即v与…相切或垂直)

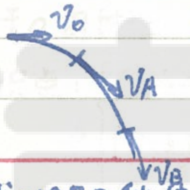
5. 

已知h, θ, v_0: $\begin{cases} x=v_0t \\ y=\frac{1}{2}gt^2 \\ \tan\theta=\frac{h-y}{x} \end{cases} \Rightarrow \frac{1}{2}gt^2+v_0\tan\theta\, t-h=0$

6. 

已知v_0, θ. ① $\tan\theta=\frac{y}{x}=\frac{gt}{2v_0}$

② $v_y=v_0\cdot 2\tan\theta=gt$

7. 

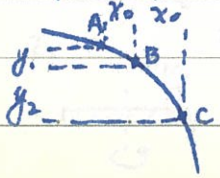
已知v_0, v_A, v_B(大小), 求t_{AB}.

$\boxed{\sqrt{v_B^2-v_0^2}-\sqrt{v_A^2-v_0^2}=gt}$

三. 求v_0的几种情况

1. 知x、y: $\begin{cases} y=\frac{1}{2}gt^2 \\ x=v_0t \end{cases} \Rightarrow v_0=x\sqrt{\frac{g}{2y}}$

2. 实验中:

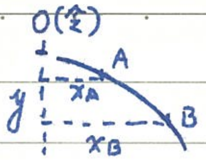


① $y_2-y_1=gt^2$, $v_0=\frac{x_0}{t}$

② 抛点位置: $v_{By}=\frac{y_1+y_2}{2t}=gt_{OB} \Rightarrow t_{OB} \Rightarrow h=\frac{1}{2}gt^2$

③ 求 $v_B^2=v_0^2+v_{By}^2$

3.

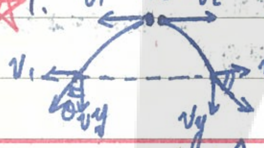


$\begin{cases} y_{OA}=\frac{1}{2}gt_{OA}^2 \\ x_A=v_0t_{OA}. \end{cases}$ $\begin{cases} y_{OB}=\frac{1}{2}gt_{OB}^2 \\ x_B=v_0t_{OB} \end{cases}$ $\Rightarrow y_{OB}-y_{OA}=y$

$\therefore \boxed{v_0^2=\frac{g(x_B^2-x_A^2)}{2y}}$

四.运用

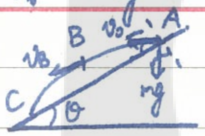
☆1. 求经多长时间两者速度互相垂直？



$\frac{v_1}{v_y}=\frac{v_y}{v_2}=\tan\theta$

$\therefore \boxed{v_y^2=v_1v_2=(gt)^2} \Rightarrow t=\cdots$

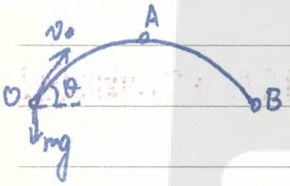
2. 求①经多长时间离斜面最远。②离斜面最远距离。



① $v_0\sin\theta=g\cos\theta t \Rightarrow t=\frac{v_0}{g}\tan\theta$

② $h_{max}=\frac{(v_0\sin\theta)^2}{2g\cos\theta}$ （沿斜面正交分解 v_0 和 g）

五.斜抛运动



1.规律：①水平：$v_0\cos\theta$ 匀速：$x=v_0\cos\theta t$

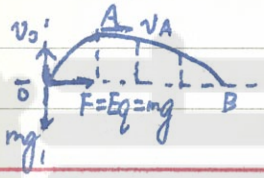
②竖直：$\begin{cases} v_y=v_0\sin\theta-gt \\ y=v_0\sin\theta t-\frac{1}{2}gt^2 \\ v_y^2-(v_0\sin\theta)^2=-2gy \end{cases}$

2.考查：① $H_m=\frac{(v_0\sin\theta)^2}{2g}$ ② $t_上=\frac{v_0\sin\theta}{g}$，$t_全=2t_上$

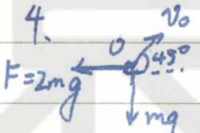
③射程：$x=v_0\cos\theta\frac{2v_0\sin\theta}{g}=\frac{v_0^2\sin2\theta}{g} \Rightarrow$ θ = 45° 时有 x_{max}

3.类比：　$O\to B$：$t=\frac{2v_0}{g}$，$v_A=v_0$，$v_B=\sqrt{5}v_0$

$4H_m=x$



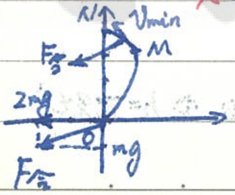
4.



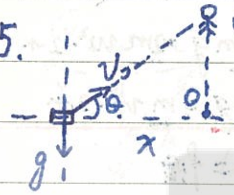
① $t_上=\frac{\sqrt{2}}{2g}v_0$，$t_{回到y轴}=\frac{\sqrt{2}v_0}{2g}$

② 最高点位于：y轴.

☆③ v最小的位置：MN之间 （$v\perp F_合$时）



5.



要在O点击中：$\boxed{\frac{x}{v_0\cos\theta}=\frac{2v_0\sin\theta}{g}}$

第三部分、圆周运动

一、规律

1. 物理量：r、$\underbrace{v、a、F_向}_{矢}$、$\underbrace{w、T、f、n}_{标}$

2、$v=\frac{s}{t}=\frac{2\pi r}{T}=2\pi rf=2\pi rn$

rad/s → $w=\frac{\varphi}{t}=\frac{2\pi}{T}=2\pi f=2\pi n$　　n：3000转/分 = 3000 r/min ⇒ f=50Hz

$\boxed{v=wr}$ （v与w并没有关系）

$\boxed{a=\frac{v^2}{r}=w^2r=\frac{4\pi^2}{T^2}r=4\pi^2f^2r=wv}$

3. 说法：① ～是变速运动。(✓)

② ～必有$F_合\neq0$。(✓)

③ ～$a\neq0$。(✓)

④ ～速度一定变化。(✓)

⑤ ～速率一定变化。(×)

⑥ 匀速～是匀速运动。(×)

⑦ 匀速～速度大小不变。(✓)

⑧ 匀速～w、T、f、n一定不变。(✓)

⑨ 匀速～是匀加速运动。(×)

⑩ 匀速～是变加速运动。(✓)

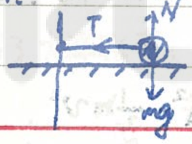
⑪ 匀速～$F_合$指向圆心，大小不变。(✓)

⑫ ～$F_合$不一定指向圆心。(✓)

二、关于a的讨论：

知识点：
- ① 沿半径方向 $\overset{效果力}{F_向}=ma=m\frac{v^2}{r}=mw^2r$
- ② $a_向$的意义：描述v改变方向快慢。
- ③ 切线上的a：改变v大小

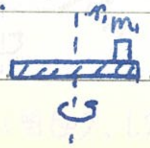
1.



确定圆平面，确定圆心，建x轴。

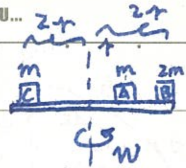
光滑 $F_向=T=mw^2r$

2.



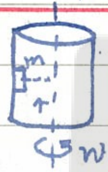
相对静止：$f_静=m_1w^2r$，

临界问题：①接触 or 脱离：$N=0$
②相对滑动：$f_{max静}$
③绳断：T_{max}；绳松弛：$T=0$

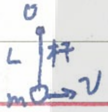
3. 

当 w 逐渐↑：B、C同时先滑动 $\begin{cases}\mu\cdot \underline{2m}g=\underline{2m}w^2\cdot 2r\\ \mu\cdot \underline{m}g=\underline{m}w^2\cdot 2r\end{cases}$

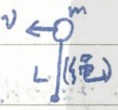
$(f_{静max}=f_{滑})$

4. 

相对静止：$\begin{cases}N=mw^2r\\ f_{静}=mg\end{cases}$ 若设 μ 且 $f_{静max}=f_{滑}$ $w_{min}=\sqrt{\frac{g}{\mu r}}$

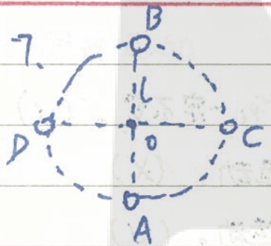
5. 

$T-mg=m\frac{v^2}{L}$

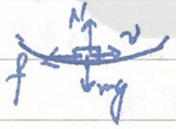
6. 

①绳：$v_{min}=\sqrt{gL}$
最低点：$v_{min}=\sqrt{5gL}$
任意情况：$\boxed{T_下-T_上=6mg}$

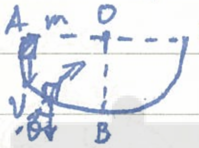
②杆：$\begin{cases}v=\sqrt{gL}：无作用力\\ v>\sqrt{gL}：拉力，向下\\ v<\sqrt{gL}：支持力，向上\end{cases}$

7. 

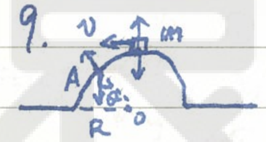
轻杆，竖直平面内匀速圆周。
A：$F_A-mg=mw^2L$
B：$mg+F_B=mw^2L$ ($F_B=0$ or $F_B>0$ or $F_B<0$)
C：$\boxed{F_C^2=(mg)^2+(mw^2L)^2}$，方向：左上方

8. ①


$\begin{cases}N-mg=mw^2R\\ f=\mu N.\end{cases}$

☆② 

A→B速率不变
a. $F_合=F_向=m\frac{v^2}{R}$ 大小不变
b. $N-mg\cos\theta=m\frac{v^2}{R}$，$N\uparrow$
c. $f_滑=mg\sin\theta$，$f\downarrow$
d. $f_滑=\mu N$，$\boxed{\mu\downarrow}$ (B点光滑)

9. 

①安全速度：$v<\sqrt{gR}$
②当 $v=\sqrt{gR}$ 作平抛：$x=vt=\sqrt{gR}\cdot\sqrt{\frac{2R}{g}}=\sqrt{2}R>R$.
③当 $v=\frac{1}{2}\sqrt{gR}$ 时：$\begin{cases}mg\cos\theta=m\frac{v_A^2}{R}\\ mgR(1-\cos\theta)=\frac{1}{2}mv_A^2-\frac{1}{2}mv^2\end{cases}$

圆锥摆：当θ↑，摆得更高时：$a\uparrow$ $(g\tan\theta)$，$\omega\uparrow$ $\left(\sqrt{\frac{g}{L\cos\theta}}\right)$，$v\uparrow$ $\left(\sin\sqrt{\frac{gL}{\cos\theta}}\right)$，$T\downarrow$ $\left(2\pi\sqrt{\frac{L\cos\theta}{g}}\right)$　记忆：与天体运动相反

10. ①

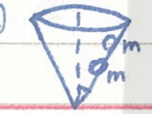
光滑杆

① 说法一：A、B两球均为m．(×) 不可能 $mg\cot\theta = m\frac{v^2}{\textcircled{R}} = m\omega^2 R$

② 说法二：球m在A时为ω_1，在B时为ω_2．(√)

$$\begin{cases} N_A = N_B = \frac{mg}{\sin\theta} \\ a_A = a_B = g\cot\theta \end{cases} \Rightarrow \boxed{\omega_A > \omega_B}$$

☆ ②



光滑，两个球．~~ω相同，~~ [illegible] ~~a，N相同，m、r不同~~

m、a、N相同，ω、r不同

11、圆锥摆：① 知m.g.l.

$mg\tan\theta = m\omega^2 l\sin\theta \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{g}{l\cos\theta}} \Rightarrow \omega\uparrow$，则$\theta\uparrow$

$T\cos\theta = mg$ ⇒

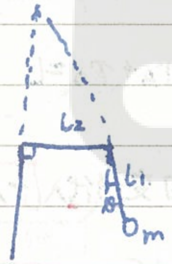
$T^2 = (mg)^2 + (ma_{向})^2$

② 知m.g.l.ω：$mg\tan\alpha = m\omega^2 l\sin\alpha \Rightarrow \frac{g}{\cos\alpha} = \omega^2 l \Rightarrow \cos\alpha = —$.

$T\cos\alpha = mg \Rightarrow T = \cdots$

不能用$T^2 = (mg)^2 + (ma_{向})^2$，因为不知道r.

③



知m.g.l_1.l_2.θ.

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{\left(l_1 + \frac{l_2}{\sin\theta}\right)\cos\theta}}$$

12.

光滑　① 当$\omega = \sqrt{\frac{g}{l\cos\theta}}$：$N = 0$，$T = \frac{mg}{\cos\theta}$.

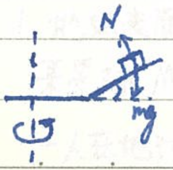
② 当$\omega_2 = \sqrt{\frac{g}{2l\cos\theta}}$：$\begin{cases} T\cos\theta + N\sin\theta = mg \\ T\sin\theta - N\cos\theta = m\cancel{g}\omega_2^2 l\sin\theta \end{cases}$

☆ ③ 当$\omega_3 = 2\sqrt{\frac{g}{l\cos\theta}}$：

设α：$\begin{cases} mg\tan\alpha = m\omega_3^2 l\sin\alpha \\ T\cos\alpha = mg \end{cases} \Rightarrow \boxed{T = m\omega_3^2 l}$ (可直接使用)

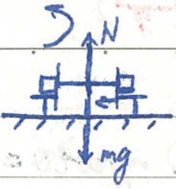
13. 火车转弯：

①

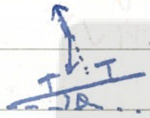


光滑　$mg\tan\theta = m\omega^2 r \Rightarrow a_{向}$恒定，ω、r互相变化

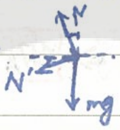
圆锥摆：当θ↑，L↑但球高h不变时：$mg\tan\theta = m\omega^2 h\tan\theta \Rightarrow \omega$不变．
(T不变)

② 

$N=m\omega^2r$ 外轮轮缘挤压外轨对内的支持力

③ 

当v_0时恰好无N. $mg\tan\theta=m\frac{v_0^2}{r}$ ⇒ $v_0=\sqrt{gr\tan\theta}$ 恒定

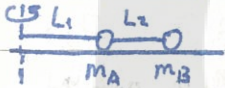
若$v>v_0$: 

∵θ很小 ∴N竖直向上，N'水平（近似）

$mg\tan\theta+N'=m\frac{v^2}{r}$ （近似）

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

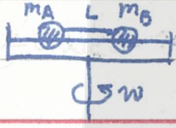
三、多个物体相互作用做圆周运动

1. 

光滑，$L_1=L_2$，$m_A=m_B$.

$$\begin{cases}B: T_2=m\omega^2(L_1+L_2)\\A: T_1-T_2=m\omega^2L_1\end{cases}\Rightarrow\frac{T_1}{T_2}=\frac{3}{2}$$

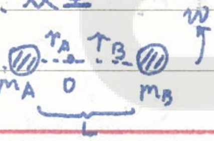
2. "类双星" 光滑 $T=m_A\omega^2r_A=m_B\omega^2r_B$ $(r_A+r_B=L)$



$v=\omega r$ ⇒ $\frac{r_A}{r_B}=\frac{m_B}{m_A}$，$\frac{v_A}{v_B}=\frac{m_B}{m_A}$

3. 双星 $F=\frac{Gm_Am_B}{L^2}=m_A\omega^2r_A=m_B\omega^2r_B$，$r_A+r_B=L$

①②

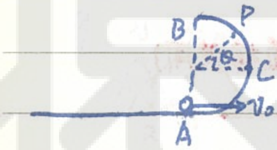


①求ω ②求$M_总$ ⇒均是以①②变形代入$\boxed{r_A+r_B=L}$

4. ①三星: ②四星: ③六星:

四. 圆周运动中过程的讨论

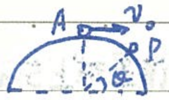
1. ① 光滑，当$v_0=\sqrt{4gR}$时在轨道上上升的最大高度:



$\sqrt{4gR}>\sqrt{2gR}$ 在C以上，设θ.

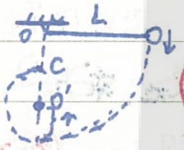
$$\begin{cases}mg\sin\theta=m\frac{v_P^2}{R}\\mgR(1+\sin\theta)=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}mv_P^2\end{cases}$$

若$v_0=\sqrt{gR}$: $mgh=\frac{1}{2}mv_0^2-0$ ⇒ $h=\frac{1}{2}R$.

② 

当$v_0=\sqrt{\frac{gR}{2}}$时，何处离开轨道？

$$\begin{cases} mg\sin\theta=m\frac{v_P^2}{R} \\ mgR(1-\sin\theta)=\frac{1}{2}mv_P^2-\frac{1}{2}mv_0^2 \end{cases}$$

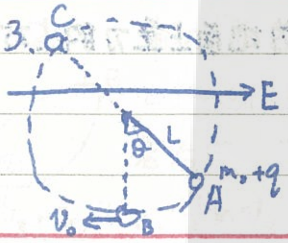
2. 

O'处有钉子，碰钉子前后：

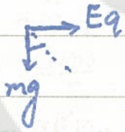
v不变，$w=\frac{v}{r}\uparrow$，$a=\frac{v^2}{r}\uparrow$，$T=mg+ma\uparrow$

若刚好过C点：设r.

$v_c=\sqrt{g\cancel{R}r}$，A→C：$mg(L-2r)=\frac{1}{2}mv_c^2-0$

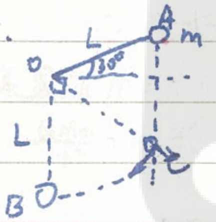
3. 

静止在A点，$\theta=37°$；现从B以v_0运动，恰好能匀速圆周，求v_0.



$F_合=\frac{5}{4}mg$ ⇒ C为"最高点".

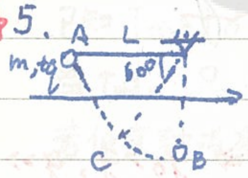
$$\begin{cases} \frac{5}{4}mg=m\frac{v_c^2}{R} \\ C\to B：\frac{5}{4}mgL(1+\cos\theta)=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}mv_c^2 \end{cases}$$

4. 

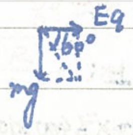
A→C：自由落体：$v_c^2=2gL$

突变：$v_c'=\frac{\sqrt{3}}{2}v_c=\frac{\sqrt{6gL}}{2}$

C→B：圆周运动：$\begin{cases} mgL(1-\cos60°)=\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{1}{2}mv_c'^2 \\ T-mg=m\frac{v_c'}{L} \end{cases}$

☆5. 

$E=\frac{\sqrt{3}mg}{3q}$



A→C：$v_c^2=2aL=2\cdot\frac{2}{\sqrt{3}}g\cdot L$

突变：$\boxed{v_c'=v_c\cos30°}$

第四部分.万有引力

一、基本知识：$F=G\frac{m_1m_2}{r^2}$：①任何两物体间都有。②适用于质点。

③$\boxed{G=6.67\times10^{-11}N\cdot m^2/kg^2}$，卡文迪许实验测定。④预言了未知天体。

二、m所在位置的g.

1. 地球表面：$\boxed{g_地=\frac{GM}{R_地^2}}=9.8m/s^2$

某星球$M'=\frac{1}{10}M_地$，$R'=\frac{1}{2}R_地$ ⇒ $g'=\frac{2}{5}g_地$

一人在地球上跳2m，在该星球上跳：$h=\frac{v_0^2}{2g}=\frac{5}{2}\times2=5m$.

2. 在地球上5m高以v_0平抛一物体，落地位移为$5\sqrt{2}m$；在该星球上5m高以v_0平抛则落地位移_____。

注：位移$5\sqrt{2}m$，$x=5m$，$h=5m$.

3. 距地球表面h处的$g'=\frac{GM}{(R+h)^2}=\frac{g_{地}R^2}{(R+h)^2}$

①一摆钟在地面n次全振动为t_1，在高山上为t_2，已知$R_{地}$，求h.

$$\begin{cases}\frac{t_1}{n}=2\pi\sqrt{\frac{L}{g_{地}}}\\ \frac{t_2}{n}=2\pi\sqrt{\frac{L}{g'}}\end{cases}\Rightarrow\frac{g_{地}}{g'}=\left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2\Rightarrow 又\because g'(R+h)^2=g_{地}R^2\Rightarrow\cdots\quad(t_2>t_1)$$

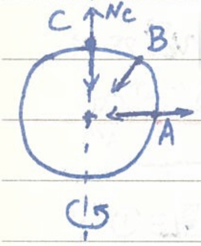
②火箭升空，在某一高度，火箭内平台上的m受支持力为地面上重力的1.25倍，此时$a=g$向上。设地球半径R_0，求h.

$1.25mg-mg'=mg$

$\therefore g'=\frac{1}{4}g$ 由$g'(R_{地}+h)^2=gR^2\Rightarrow h=R$

4. 卫星：匀速圆周运动$\Rightarrow g'=a_{引}=a_{向}=\frac{GM}{r^2}\Rightarrow r\uparrow, a_{向}\downarrow$

5. 地球上的m随地球自转而运动（$T=24\times3600s$）



C：$N_c=F_{引}=\frac{GMm}{R^2}=mg_0\Rightarrow g_0=\frac{GM}{R^2}$

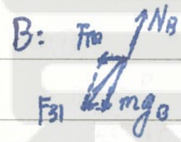
A：$\begin{cases}F_{引}-N_A=m\omega^2R=F_{向}\\ N_A=mg\end{cases}$ ☆将$F_{引}$拆分为$F_{向}+mg$.

一个50kg的物体站在赤道上：

$$\begin{cases}F_{向}=m\frac{4\pi^2}{T^2}R=50\times\frac{40}{(24\times3600)^2}\times6400\times10^3\approx1.7N\\ F_{引}=\frac{GMm}{R^2}=\frac{6.67\times10^{-11}\times6\times10^{24}\times50}{(6400\times10^3)^2}\approx500N\end{cases}\Rightarrow g_0>g, g>>a_{向}$$

$\therefore mg_0-mg=F_{向}$

B：



$g_0>g_B>g$.

例：赤道上的物体向心加速度为$\overset{F\ 0.034}{a_1}$，贴地卫星为a_2，同步卫星为$\overset{F\ 0.2}{a_3}$，则：

$a_2>a_3>>a_1$

$$\begin{cases}a_2与a_3：用a=\frac{GM}{r^2}：a_2>a_3\\ a_2\approx g, a_2、a_3全提供a_{向}, \overset{\frac{GM}{R^2}（赤道上的）}{a_1}大部分提供g.\\ a_1与a_3：用a=\omega^2r：a_3>a_1\end{cases}$$

$$\begin{cases}\frac{GMm}{R^2}=ma_2\approx mg\\ \frac{GMm}{R^2}=mg+ma_1\end{cases}$$

6.赤道上m：$\frac{GMm}{R^2}-N=m\omega^2R$

若地球自转加快：$N\downarrow$ $\Rightarrow$ 当$N=0$，飞起来：$\frac{GM}{R^2}=\frac{4\pi^2}{T^2}R$ $\Rightarrow T\approx\overset{(5024s)}{83.7min}$

此时$a_{向}=\frac{GM}{R^2}=g$.

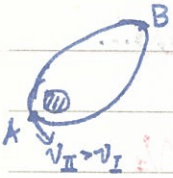
三.卫星的知识：

1.$\frac{GMm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$ $\Rightarrow v=\sqrt{\frac{GM}{r}}=\sqrt{g'r}$ $\Rightarrow$ $r\uparrow, v\downarrow$

当$r_{min}=R$：$v_{max}=\sqrt{\frac{GM}{R}}=\sqrt{gR}=\boxed{7.9km/s}$（地球的第一宇宙速度）

（最小发射速度、最大环绕速度）

2.　机械能$E_A=E_B$（只有$F_{引}$做功）



∴ $E_{kA}+E_{pA}=E_{kB}+E_{pB}$

若给定：$E_p=-\frac{GMm}{r}$，r为到地心的距高

∴ $\frac{1}{2}mv_{II}^2+(-\frac{GMm}{R})=0+0$　（B为极远处，$v_B=0$，$r\to\infty$，$E_p=0$）

∴ $v_{II}=\sqrt{2}\sqrt{\frac{GM}{R}}=\sqrt{2}v_I=1.414\times7.9\approx\boxed{11.2km/s}$（地球的第二宇宙速度）

例：某星球$M=\frac{1}{10}M_{地}$，$R=\frac{1}{2}R_{地}$，该星球的第一宇宙速度：$v_I'=\frac{\sqrt{5}}{5}v_{I地}$

3.$\frac{GMm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$ $\Rightarrow$ $\begin{cases}T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{g'}}\Rightarrow r\uparrow, T\uparrow\\ \frac{r^3}{T^2}=\frac{GM}{4\pi^2}=K\end{cases}$　$k=\frac{r^3}{T^2}$

已知$T_{地}=1d$，$T_{月}=30d$，则$\frac{r_{地}}{r_{月}}=\frac{1}{\sqrt[3]{900}}$

当$r_{min}=R$：$T_{min}=2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}=2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}=5024s=83.7min$

若低空轨道有稀薄空气，则卫星将：向心运动，$\boxed{r\downarrow, v\uparrow, T\downarrow}$

4.地球的同步卫星：r一定，与赤道面重合，自西向东。

四、求天体质量M.

1.知g、G、R：$g=\frac{GM}{R^2}$

2.知：G、v、r：$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$ 〕卫星

3.知：G、T、r：$T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ 〕卫星

4.知：G、v、T：$v=\frac{2\pi \textcircled{R}}{T}$ ←r

五.求天体密度ρ.

1.知g、G、R：M可知，$V=\frac{4}{3}\pi R^3$

2.知G、v、r、Ⓡ.　3.知G、T、r、Ⓡ　4.知G、v、T、Ⓡ

★5.贴地卫星：知G.T $\begin{cases}\boxed{M=\frac{4\pi^2R^3}{GT^2}} \\ V=\frac{4}{3}\pi R^3\end{cases} \Rightarrow \boxed{\rho=\frac{M}{V}=\frac{3\pi}{GT^2}}$ 不需知R.

六、双星：m_1、m_2、L、w

1. $m_1r_1=m_2r_2$ ，$r_1+r_2=L$

2. 知G、T、L，求 $\boxed{M=\frac{4\pi^2L^3}{GT^2}}$

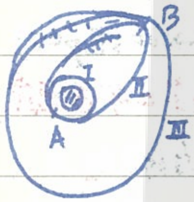
七、同一天体两个卫星不同轨道的运动：知G、M、r_A、r_B

$\frac{GM}{r^2}=w^2r \Rightarrow w=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$

1. 经多少时间第一次相距最远：$w_At-w_Bt=\pi$

2. 经多少时间相距最近：$w_At-w_Bt=2n\pi$，$n=1,2,3...$

八、变轨：1. 在I上的$\overset{a}{A}$与II上的$\overset{a}{A}$：$a_{AI}=a_{AII}$



2. 在I上的V_I与III上的V_{III}：$V_I>V_{III}$ $V_{BII}<V_I$

3. 在I上的V_{AI}与II上的V_{AII}：$V_{AI}<V_{AII}$ $\therefore V_{BII}<V_{BIII}<V_I$

4. 在II上的V_{BII}与III上的V_{BIII}：$V_{BII}<V_{BIII}$

5. $V_{AII}>V_{BII}$ （开普勒第二定律）

6. 机械能：$E_I<E_{II}<E_{III}$ （点火加速）

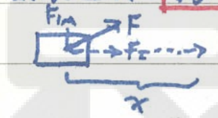
第五章、机械能

第一单元、动功、功率

一、功：

1. 两个要素：力、力方向上的位移x.

2. 表达式：$\boxed{W=Fx\cos\theta}$

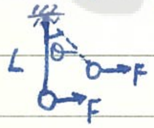


$W_F=W_{F_1}+W_{F_2}=0+Fx\cos\theta=Fx\cos\theta$

合力的功＝各分力的功的代数和.

3. 变力做功：用动能定理或功能关系.

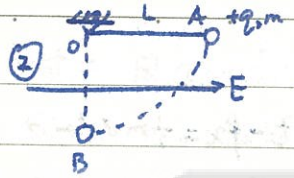
①



用水平力F缓慢拉动，求W_F.

动能定理：$-mgL(1-\cos\theta)+W_F=0-0$

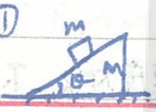
功能关系：$W_F=mgL(1-\cos\theta)+0+0-0$

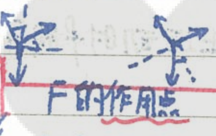
②


A→B: $\begin{cases} W_{mg}=mgL, \Delta E_p=-mgL \\ W_{电}=-EqL, \Delta E_{p电}=\overset{Eq}{\cancel{mg}}L \\ W_{合}=mgL-EqL, \Delta E_k=mgL-EqL. \\ W_{电}=-EqL, \Delta E=-EqL \end{cases}$

4、功的计算：

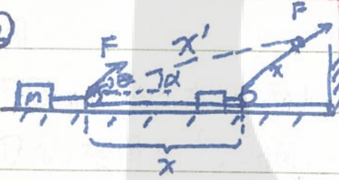
① 相对静止，一起向右匀速 x. m: $\begin{cases} W_N=-mg\cos\theta\sin\theta x \\ W_f=mg\cos\theta\sin\theta x. \end{cases}$





∴ M对 m做功为0.

☆② F的作用点的真正位移为 x'

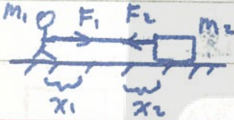


↓水平　　　↓竖直

$\therefore W_F=F\cos\theta(x+x\cos\theta)+F\sin\theta \times -x\sin\theta$

$=Fx+Fx\cos\theta$

★③ 人做的功：$W=F_1x_1+F_2x_2$.



5、相互作用力做功的关系：

①都可不做功，都可同时做正功或负功。

②可一个做功，一个不做功：物体在桌上滑动。

③一个做正功，一个做负功，大小不相等。

二、功率：1、定义：力做的功与所用时间的比值。$P=\frac{W}{t}$

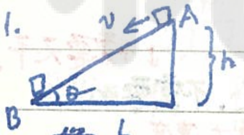
2、物理意义：表征做功快慢。

3、$\boxed{P=\frac{W}{t}=\frac{Fx}{t}=Fv}$ $\begin{cases} P_{瞬}=Fv_{瞬} \\ \bar{P}=F\bar{v} \end{cases}$

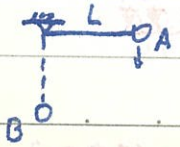
4、讨论：

1. 光滑. ①由A→B过程静止下滑：$\bar{P}_1=mg\cdot\frac{\sqrt{2gh}}{2}\sin\theta$

②　$P_B=mg\sqrt{2gh}\cdot\sin\theta$

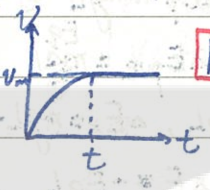


☆2. $P_A=0$，$P_B=0$，A→B: P先↑后↓，有一个P_{max}.



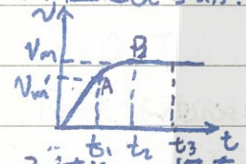
三. 机车启动问题

1. 恒定P启动：



$\boxed{P=Fv}$，$\boxed{F-f=ma}$，$Pt-fx=\frac{1}{2}mv_m^2-0$

2. 恒定a启动：



A：$P_{额}=Fv_m'$，$F-f=ma$

B：$P_{额}=fv_m$，$a=0$.

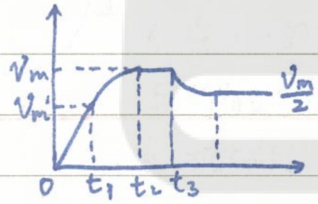
3. 讨论：一汽车在斜面和水平面上运动时f相等，上坡最大速度为v_1，下坡为v_2，则水平面上最大速度为______。

上坡：$P_m=(f+mg\sin\theta)v_1$
下坡：$P_m=(f-mg\sin\theta)v_2$
水平：$P_m=fv_3$

$\Rightarrow \frac{P}{v_1}+\frac{P}{v_2}=2f$ $\longrightarrow$ $P=(\frac{P}{2v_1}+\frac{P}{2v_2})v_3 \Rightarrow v_3=\cdots$

4. 在2.中：t_3时$P_{额}$变为$\frac{P}{2}$且不变，则：$F_{牵}<f$

a↓的减~~小的加~~速



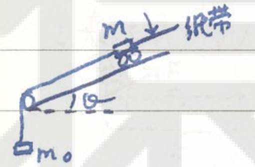
$\frac{v_m}{2}$与v_m'大小无关.

第二单元. 动能定理

一、动能定理

1. 内容：合外力做的功等于物体动能的变化：$W_{合}=\Delta E_k$

2. 实验：探究动能定理



$W_{合}$：
① 有传感器：$W=Fx$
② 无传感器：$W=m_0gx$，$m\gg m_0$　↓条件：平衡f
③ 既无传感器也无$m\gg m_0$：$m_0gx=\frac{1}{2}(m+m_0)(v_2^2-v_1^2)$

ΔE_k：m：天平；v：光电门、打点计时器（刻度尺）

规格相同↓　　↓不需要天平.

方式一：用橡皮条（Δx都相同）：$W=\frac{1}{2}mv_t^2$，v_t为匀速时的速度，不需要m

↑加速的最大速度

只需 $W\propto v^2$ 即可.（过原点的直线）

↑不需求具体值

PS：$Fx=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2 \xRightarrow[形]{变} v_2^2-v_1^2=2\cdot\frac{F}{m}\cdot x$ 故不能用这两个式子"证明动能定理"。

方式二：用 $a \propto \frac{F}{m}$ 的装置：小车 m，砂与桶 m_0 去

① $m \gg m_0$，证明：$m_0 g x_{AB} = \frac{1}{2}m(v_B^2 - v_A^2)$

② 有拉力感应器：不需 $m \gg m_0$；$F x_{AB} = \frac{1}{2}m(v_B^2 - v_A^2)$

③ 万能证明：$m_0 g x_{AB} = \frac{1}{2}(m+m_0)(v_B^2 - v_A^2)$

} 都要平衡 f

3. 求合力的 W 的方法：

① $F_合$ 为恒力：$\begin{cases} W = \Sigma W_1 + W_2 + \cdots \\ W = F_合 x \cos\alpha \end{cases}$ ② $F_合$ 为变力：$W = W_1 + W_2 + —$

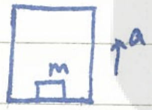
二、运用

1、两物 m_1、m_2 在水平面上运动：

① v_0 相同：$\begin{cases} \mu 相同：-\mu mgx = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2 \Rightarrow \frac{x_1}{x_2} = 1 \\ f 相同：-fx = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2 \Rightarrow \frac{x_1}{x_2} = \frac{m_1}{m_2} \end{cases}$

② E_{k0} 相同：$\begin{cases} \mu 相同：-\mu mgx = 0 - E_{k0} \Rightarrow \frac{x_1}{x_2} = \frac{m_2}{m_1} \\ f 相同：-fx = 0 - E_{k0} \Rightarrow \frac{x_1}{x_2} = 1 \end{cases}$

2.

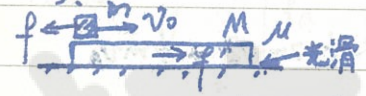


从静止匀加速，上升 h，达 v.

$\begin{cases} W_G = -mgh，\Delta E_p = mgh \\ W_合 = \frac{1}{2}mv^2 - 0 = (N-mg)h \\ W_N = \Delta E = mgh + \frac{1}{2}mv^2 \end{cases}$（N做功等于机械能变化）

3.

设能达 $v_共$.



① f 做功 = m 动能变化：$W_f = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = -fx_1$

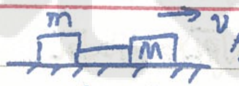
② f' 做功 = M 动能变化：$W_{f'} = \frac{1}{2}mv^2 - 0 = -fx_2$

$\because x_1 > x_2 \quad \therefore fx_1 > f'x_2 \Rightarrow |W_{f'}| < |W_f|$

③ 系统：ΔE（减少）$= \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}(m+M)v^2$

$= fx_1 - fx_2 = fx_{相} = Q$

4、

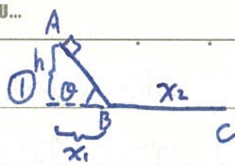


匀速；某时刻两者分离，M 行驶过 L 后司机才发现，立即关闭发动机，$f_m = kmg$，$f_M = kMg$，两者静止时相距多少？

$k(M+m)g \cdot L = kMgx \Leftarrow \begin{cases} m：-kmgx_1 = 0 - \frac{1}{2}mv^2 \\ M：k(M+m)gL - kMgx_2 = 0 - \frac{1}{2}Mv^2 \\ \Delta x = x_2 - x_1 \end{cases}$

↑ $F_牵$ 多做的功　↑ ~~分离后f做功~~ Δx 内 f 多做的功

$\therefore \Delta x = \frac{M+m}{M} \cdot L$

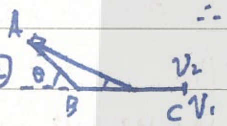
5、①


均为μ，由A→C停止，AC水平距离为S．证明$\mu=\frac{h}{S}$．

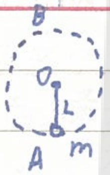
$mgh-\mu mg\cos\theta\cdot\frac{h}{\sin\theta}-\mu mgx_2=0$

$\therefore mgh-\mu mg(h\cot\theta-x_2)=0$

$\therefore mgh-\mu mgS=0 \Rightarrow \mu=\frac{h}{S}$

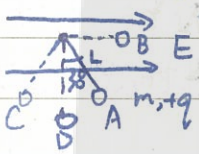
②


由两不同斜面滑下至C分别为v_1，v_2，则：$v_1=v_2$

6.


绳子，在竖直平面内圆周运动，证明$T_A-T_B=6mg$．

$$\begin{cases}T_A-mg=m\frac{v_A^2}{R}\\ T_B+mg=m\frac{v_B^2}{R}\\ 2mgR=\frac{1}{2}mv_A^2-\frac{1}{2}mv_B^2\end{cases}\Rightarrow T_A-T_B=2mg+\frac{mv_A^2}{R}\cancel{+}-\frac{mv_B^2}{R}=6mg.$$

7.


带电小球能静止在A点，拉至B处静止释放．

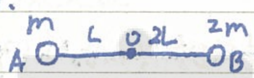
① 求v_m. ⇒ 在A点：$mgL\cos\theta-EqL(1-\sin\theta)=\frac{1}{2}mv_A^2-0$

② 求向左的α(C点)：$mgL\cos\cancel{\alpha}-EqL(1+\sin\alpha)=0-0$

③ 最低点D的T_D：$\begin{cases}mgL-EqL=\frac{1}{2}mv_D^2-0\\ T_D-mg=m\frac{v_D^2}{L}\end{cases}$

④ 若恰能圆周：$\begin{cases}“最低高点”：\frac{2}{\sqrt3}mg=m\frac{v_{min}^2}{L}\\ “最低点”：\frac{2}{\sqrt3}mg\cdot 2L=\frac{1}{2}mv_A^2-\frac{1}{2}mv_{min}^2\end{cases}\Rightarrow T_A-T_B=6\cdot\frac{2}{\sqrt3}mg$

8. 轻杆，静止释放．



① B达最低点时v_B：$\begin{cases}2mg\cdot 2L-mgL=\frac{1}{2}\cdot 2mv_B^2+\frac{1}{2}mv_A^2\\ \omega_A=\omega_B\Rightarrow v_B=2v_A\end{cases}$

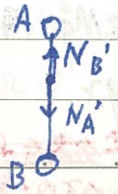
② 在①中：B的机械能：减少：$\Delta E_B=\Delta E_A=mgL+\frac{1}{2}mv_A^2$

杆对B做：负功．

③ 在①中：当杆对O点的作用力与大小？

~~太~~在①中解得$v_A=\sqrt{\frac{2}{3}gL}$，$v_B=2\sqrt{\frac{2}{3}gL}\Rightarrow v_A<\sqrt{gL}$，$v_B>\sqrt{gL}$

$\therefore\begin{cases}mg-N_A=m\frac{v_A^2}{L}\Rightarrow N_A=\frac{1}{3}mg 向上\\ mg+N_B=m\frac{v_B^2}{L}\Rightarrow N_B=\frac{14}{3}mg 向上\end{cases}$

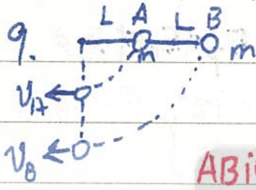


杆受到球：$N=5mg$ 向下

杆受到O：$N_1=5mg$ 向上

O受到杆：$N_1'=5mg$ 向下

$$\begin{cases} f\text{对物体做功}: W = f x_{\text{物}}\ (\text{对地面}) \\ f\text{生热}: Q = f x_{\text{相}} \end{cases}$$
（不一定相等）

9.


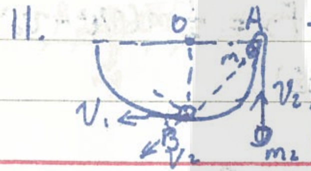
$$\begin{cases} mgL + mg\cdot 2L = \frac{1}{2}mv_A^2 + \frac{1}{2}mv_B^2 \\ v_B = 2v_A \end{cases} \Rightarrow \begin{matrix} v_A = \sqrt{\frac{6}{5}gL} < \sqrt{2gL} \\ v_B = 2\sqrt{\frac{6}{5}gL} > \sqrt{2gL} \end{matrix}$$

AB间的杆对A做负功，对B做正功

注：不用合质心的方法，因为杆做了功.

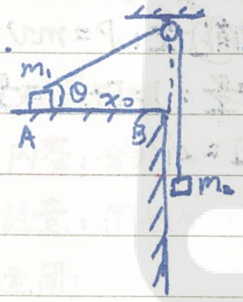
10.


$$\begin{cases} m_2gh - m_1gh\sin\theta - \mu m_1gh\cos\theta = \frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2 - 0 \\ -m_1g\sin\theta x - \mu mg\cos\theta x = 0 - \frac{1}{2}mv^2 \\ h_{max} = (h+x)\sin\theta \end{cases}$$

11.


光滑，绳足够长；m_1达B点时两者的速度？

$$\begin{cases} m_1gR - \sqrt{2}m_2gR = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 \\ v_2 = v_1\cos 45^\circ \end{cases}$$

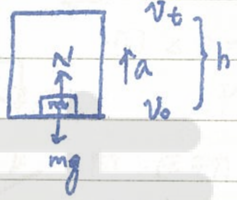
12.


不计一切摩擦，m_1到A时m_1的速度为v_0，求m_1到B时两者速度。

$$m_2g\left(\frac{x_0}{\cos\theta} - x_0\tan\theta\right) = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + 0 - \frac{1}{2}m_1v_0^2 - \frac{1}{2}m_2(v_0\cos\theta)^2$$

$\llcorner m_2$末速为0.

第三单元. 功与能

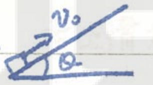
1. 认识：


$W_{mg} = -mgh$, $\Delta E_p = mgh \Rightarrow W_{mg} = -\Delta E_p$

$W_{合} = (N-mg)h = mah = \frac{1}{2}mv_t^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$

$W_N = Nh = (mg+ma)h = mgh + \frac{1}{2}mv_t^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = \Delta E_p + \Delta E_k$

∴除重力以外的外力做功 = 机械能的变化量

2.


一物从斜面底端以$E_{k0} = 100$J冲上斜面，当E_k减少80J时，机械能减少20J，则返回底端时的$E_k = ?$.

$\Delta E_k = 80J \begin{cases} \to 20J\ 摩\ W_f \\ \to 60J\ W_G \end{cases}$ 剩20J动能 $\begin{cases} \to 5J\ W_f \\ \to 15J\ W_G \end{cases}$ ∴上升：$W_f = 25J$

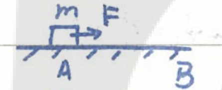
∴下降：$W_f = 25J$ ∴ $E_k = 100 - 2\times 25 = 50J$.

3、一物从地面以v_0竖直上抛，阻力不计，设地面为零势面，当$E_p=E_k$时：

$$\begin{cases} h=\frac{v_0^2}{4g} \\ v=\frac{\sqrt{2}}{2}v_0 \end{cases} \Leftarrow \begin{cases} \frac{1}{2}mv_0^2=mgh+\frac{1}{2}mv^2 \\ mgh=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{4}mv_0^2 \end{cases}$$

第一节、动量、冲量

一、分析：



v_0　x　v_t

$\boxed{v_0 \quad t \quad v_t}$

① $F=ma$

$v_t^2-v_0^2=2ax$

$\therefore v_t^2-v_0^2=2\cdot\frac{F}{m}x \Rightarrow Fx=\frac{1}{2}m(v_t^2-v_0^2)$

∴定义：$E_k=\frac{1}{2}mv^2$（动能）

∴有：$W=\Delta E_k$

② $F=ma$

$v_t=v_0+at$

$\therefore Ft=mv_t-mv_0 \Rightarrow F、v_t、v_0$均为矢量

定义：动~~能~~量：$P=mv$（矢量）

冲量：$I=Ft$（矢量）

$\therefore I=\Delta P$

二、动量P（状态量）　$P=\sqrt{2E_km}$ 或 $E_k=\frac{P^2}{2m}$

1.表达式：$P=mv$（单位：kg·m/s）

2.矢量，P与v同向

3. 若v变化：P一定变化，但E_k不一定变化
　若E_k变化：v、P一定变化

4、m_1、m_2在粗糙面上运动，求$\frac{x_1}{x_2}$：

若μ、v_0相同：$-\mu mgx=0-\frac{1}{2}mv_0^2 \Rightarrow x_1=x_2$

若μ、E_{k0}相同：$-\mu mgx=0-E_{k0} \Rightarrow \frac{x_1}{x_2}=\frac{m_2}{m_1}$（$x\propto\frac{1}{m}$）

若μ、P_0相同：$-\mu mgx=0-\frac{P_0^2}{2m} \Rightarrow x\propto\frac{1}{m^2}$

若f、v_0相同：$-fx=0-\frac{1}{2}mv_0^2 \Rightarrow x\propto m$

若f、E_{k0}相同：$-fx=0-E_{k0} \Rightarrow x_1=x_2$

若f、P_0相同：$-fx=0-\frac{P_0^2}{2m} \Rightarrow x\propto\frac{1}{m}$

三、冲量I（过程量）

1.表达式：$I=Ft$（条件：F为恒力）（单位：N·s）

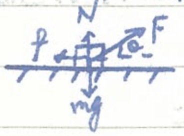
2. 矢量：I与F同向

四. ΔP的计算：$\begin{cases} \Delta P = m\cdot\Delta v \text{（矢量）} \\ \overrightarrow{\Delta v} = \vec{v_t} - \vec{v_0} \end{cases}$

例：一球 $m=1kg$，以 $v_0=10m/s$ 向右水平碰墙，经 $\Delta t=0.001s$ 反弹 $v=8m/s$。

取向右为正方向. $\Delta P = m\Delta v = 1\times(-8-10) = -18\ kg\cdot m/s$ （∵F向左 ∴ΔP为负）

五. I的计算：$\begin{cases} F\text{为恒力：} I=Ft \\ F\text{为变力：} F-t\text{图求S} \end{cases}$



运动x：$\begin{cases} W_N=0,\ I_N=Nt;\ W_{mg}=0,\ I_{mg}=mgt;\ W_f=-fx,\ I_f=-ft \\ W_F=F\cos\theta x,\ I_F=Ft \\ I_{合}=(F\cos\theta-f)t = I_{F\cos\theta} \cancel{+} - I_f \end{cases}$ （有方向）

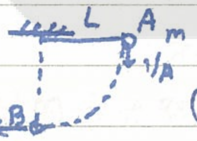
第二节：动量定理：$\Delta I_{合} = \Delta P$

一、内容：合外力的冲量等于物体动量的变化。

二、注意：①先受力分析。②若为直线运动，先建正方向。

三、运用：

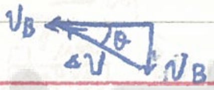
1. 求$I_{合}$：



$v_A=\sqrt{gL}$，A→B.

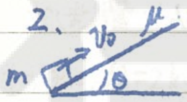
①动能定理：$mgL=\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{1}{2}mv_A^2 \Rightarrow v_B=\sqrt{3gL}$

② $\Delta v = 2\sqrt{gL}$



$\therefore \Delta P = m\Delta v = 2m\sqrt{gL} = I_{合}$，$\tan\theta = \frac{\sqrt{3}}{3}$

2.



向上运动t. 选沿斜面向上为正方向.

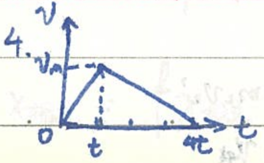
$I_{合} = -(mg\sin\theta + \mu mg\cos\theta)t$

若上滑为I_1，下滑为I_2，则 $I_1 > I_2$. $\begin{cases} I_1 = 0 - mv_0 \\ I_2 = -mv_t - 0 \end{cases} \Rightarrow$ 大小：$v_0 > v_t$，$I_1 > I_2$

3. 求ΔP：一物m平抛经t，$\Delta P = mgt$，方向：竖直向下

（任意抛体运动在相同时间内动量变化相等）

4.



① $a_1=3a_2 \Rightarrow \begin{cases} F-f=ma_1 \\ f=ma_2 \end{cases} \Rightarrow \frac{F}{f}=\frac{4}{1}$

②动能定理：$Fx_1 - f\underset{(x_1+x_2)}{\cancel{x_2}} = 0-0$，$x_1:x_2=1:3 \Rightarrow \frac{F}{f}=\frac{4}{1}$

③动量定理：$Ft - f\cdot4t = 0-0 \Rightarrow \frac{F}{f}=\frac{4}{1}$

5. 物m距地面某高处先自由落体t_1，落$\overset{地}{后}$进入泥土，$\overset{又}{经}$ t_2后停止，求$\bar{f}$.

建向下为正方向：$mg(t_1+t_2)-\bar{f}t_2=0-0$ $\therefore \bar{f}=\frac{mg(t_1+t_2)}{t_2}$

6. 一个人$m=50kg$，从$H=5m$高自由落体，与地面接触$t=0.01s$停下，求$\bar{f}$.

$H=\frac{1}{2}gt_1^2 \Rightarrow t_1=1s$，$v=10m/s$，建向下为正方向：

$mgt-\bar{f}t=0-mv \Rightarrow \bar{f}=50500N$.

当$\Delta t\uparrow$：$\bar{f}\downarrow$ $(mg-\bar{f})$是负的

7. $m=50kg$，从$H_1=5m$自由落体，与地面接触反弹$H_2=3.2m$，与地面接触$\Delta t=0.01s$，求$\bar{f}$.

① $v_0=\sqrt{\cancel{2g}2gH_1}=10m/s$，向下 ② $v_t=\sqrt{2gH_2}=8m/s$，向上

③建向下为正方向：$mg\Delta t-\bar{f}\Delta t=-mv_t-mv_0$

$5\cancel{0000}-0.01\bar{f}=-50\times(\cancel{+}18)=\cancel{100}-900$

$\therefore \bar{f}=90500N$

全过程：$mg(t_1+t_2+t_3)-\bar{f}t_2=0-0$.

$\therefore 500\times(1+0.8+0.01)=\bar{f}\times0.01$

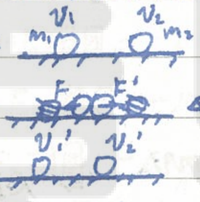
$500\times181=\bar{f}=90500N$.

第三节. 动量守恒定律

一、理论分析

1. m_1、m_2在光滑水平面上相互作用。

作用前：
作用时：
作用后：



Δt.

对m_1：$F\Delta t=m_1v_1'-m_1v_1$

对m_2：$F'\Delta t=m_2v_2'-m_2v_2$

又 $F=F'$（牛三定律）

$\therefore m_1v_1+m_2v_2=m_1v_1'+m_2v_2'$

2. 动量守恒定律： （自带方向）

(1)内容：一个系统$F_合=0$，则系统总动量保持不变。

(2)表达式：a. $m_1v_1+m_2v_2=m_1v_1'+m_2v_2'$

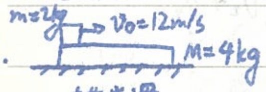
b. $I_1=-I_2$，$\Delta P_1=-\Delta P_2$

c. m_1以v_1碰静止m_2：$m_1v_1=\begin{cases}m_1v_1'+m_2v_2'\\(m_1+m_2)v_共\end{cases}$

d. m_1与m_2反向(相向)运动：$m_1v_1+m_2v_2=\begin{cases}m_1v_1'+m_2v_2'\\(m_1+m_2)v_共\end{cases}$

(3)条件：系统受到$F_合=0$.

二、运用

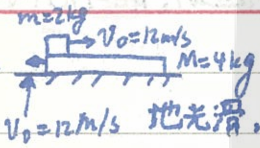
1. 

$\mu=0.2$，M原静止　①板M足够长：$mv_0=mv_共+Mv_共$　$\therefore v_共=4m/s$

$$Q=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}(M+m)v_共^2$$
$$=96J.$$
$$x_相=\frac{Q}{f}=\frac{96}{\mu mg}=24m.$$

达$v_共$用时：$f't=Mv_共-0$　$\Rightarrow t=4s$

②若$L=16m$，求v_1'、v_2'、t.　$\begin{cases}mv_0=mv_1'+Mv_2'\\\mu mgL=\frac{1}{2}mv_0^2-(\frac{1}{2}mv_1'^2+\frac{1}{2}Mv_2'^2)\\M: f't=Mv_2'-0\end{cases}$

2. 

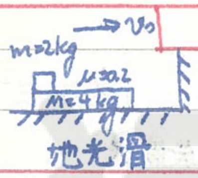
地光滑，$\mu=0.2$

①板M足够长：设向左为正方向：　(只带数值了)

$$-mv_0+Mv_0=(M+m)v_共\Rightarrow v_共=4m/s$$
$$Q=\frac{1}{2}(m+M)v_0^2-\frac{1}{2}(m+M)v_共^2$$
$$x_相=\frac{Q}{f}=\frac{Q}{\mu mg}$$

m向右运动的最大距离x_m：$v_0^2=2a_1x_m$

or $\mu mgx_m=\frac{1}{2}mv_0^2$

3. 

一起以$v_0=12m/s$匀速，撞击时间极短，无能量损失 ⇒ 变为2.题

4、将3中：$M=2kg$，$m=4kg$：取向右为正方向

第1次碰后：$mv_0-Mv_0=(M+m)v_1$　$\Rightarrow v_1=\frac{m-M}{M+m}$

$$fx_{相1}=\frac{1}{2}(m+M)v_0^2-\frac{1}{2}(m+M)v_1^2$$

第2次碰后：$mv_1-Mv_1=(m+M)v_2$　$\Rightarrow v_2=\frac{m-M}{m+M}v_1=(\frac{m-M}{m+M})^2v_0$

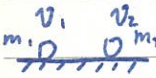
$$fx_{相2}=\frac{1}{2}(m+M)v_1^2-\frac{1}{2}(m+M)v_2^2$$

…

求$x_{相总}$：$fx_{相总}=\frac{1}{2}(m+M)v_0^2$

5. 碰撞问题：

↓弹性碰撞



①若碰撞无E损失：$\begin{cases} m_1v_1+m_2v_2=m_1v_1'+m_2v_2' \text{ (方向)} \\ \frac{1}{2}m_1v_1^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2=\frac{1}{2}m_1v_1'^2+\frac{1}{2}m_2v_2'^2 \end{cases}$

$$\therefore \begin{cases} m_1(v_1-v_1')=m_2(v_2'-v_2) \\ m_1(v_1^2-v_1'^2)=m_2(v_2'^2-v_2^2) \end{cases} \xrightarrow[\text{除}]{\text{相}} v_1+v_1'=v_2+v_2'$$

②若 $v_2=0$：同①解得：$v_1+v_1'=v_2'$

$$\therefore m_1v_1=m_1v_1'+m_2(v_1+v_1') \Rightarrow v_1'=\frac{m_1-m_2}{m_1+m_2}v_1$$

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

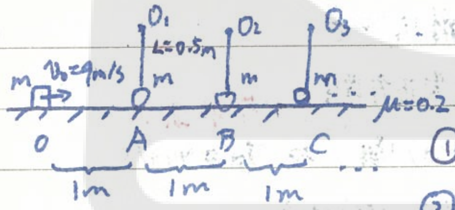
（使用条件：
①动量守恒
②机械能守恒
③碰一个静止的）

当 $m_1=m_2$ 时：$v_1'=0$，$v_2'=v_1$（交换速度）

当 $m_1>m_2$：$v_1'>0$ 且 $v_1'<v_2'$（若 v_1' 不小于 v_2'，还会继续碰，不合实际）

当 $m_1<m_2$：$v_1'<0$（反向）

例：



弹性碰撞，要使小球能圆周运动，能与几个小球相碰？（碰撞时间极短）

①最后一球：$v_{低}=\sqrt{5gL}=5m/s$

②由 $\begin{cases} mv_0=mv_1'+mv_2' \\ \frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_1'^2+\frac{1}{2}mv_2'^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{matrix} v_1'=0 \\ v_2'=v_0 \end{matrix}$

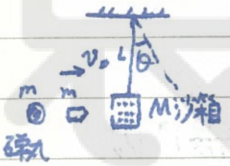
$\therefore$ 全过程即匀减速：$v_0^2-v_{低}^2=2ax \Rightarrow x=14m \Rightarrow$ 14个小球

③若碰撞后粘在一起（完全非弹性碰撞）

$$\begin{cases} m_1v_1+m_2v_2=(m_1+m_2)v_{共} \\ \frac{1}{2}m_1v_1^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2-\frac{1}{2}(m_1+m_2)v_{共}^2=\Delta E_{max} \text{ (机械能损失最大)} \end{cases}$$

---

6. 一个分组实验：求 v_0



①$mv_0=(m+M)v_{共}$（击中）

②单摆：$-(m+M)gL(1-\cos\theta)=0-\frac{1}{2}(m+M)v_{共}^2$

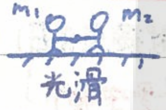
③：
①过程动量守恒，动能 机械能不守恒
②过程 p零不守恒，E守恒
全过程 P、E均不守恒

7. 反冲运动

(1) 

光滑，原静止，弹簧有E_p. 现剪断绳子，求分离时速度。

$$\begin{cases} 0 = m_1 v_1 + m_2 v_2 \\ E_p = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 \end{cases}$$

(2) 

① 原静止：用力"推"：$0 = m_1 v_1 + m_2 v_2$ （E不守恒）

② 原一起向右v_0匀速，用力"推"：$(m_1+m_2)v_0 = m_1 v_1 + m_2 v_2$

($v_0 < v_2$，v_1任意)

(3) 大炮 

炮弹m以v_1飞出，作用时间极短（地面f冲量不计），求大炮后退距离。

$$\begin{cases} 0 = m v_1 + M v_2 \\ M: -\mu M g x = 0 - \frac{1}{2} M v_2^2 \end{cases}$$

(4) 飞船变轨：突变速度

设向右为正：① $M v_1 = (M-m) v_1' - m v_2'$ ($v_1' > v_1$) (变高轨)

② 向前喷气：$M v_1 = (M \mp m) v_1' + m v_2'$ ($v_2' > v_1'$)

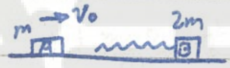
($v_1' < v_1$)

(5) 人在船上走，船在水中游（人向右匀加速，某时刻为v_1、v_2）

阻力不计 $0 = m v_1 - M v_2$

又 $\begin{cases} x_1 = \frac{v_1}{2} t \\ x_2 = \frac{v_2}{2} t \end{cases} \Rightarrow \begin{matrix} 0 = m x_1 - M x_2 \\ x_1 + x_2 = L \end{matrix}$

三. 运用：

1. 

光滑，B、弹簧静止，A以v_0向右，求：① E_{pmax} ② A、弹簧分离时的v_A'、v_B'.

① 设有$v_共$时相距最近：$\begin{cases} m v_0 = 3 m v \Rightarrow v = \frac{v_0}{3} \\ \frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{1}{2} \cdot 3 m v^2 + E_{pm} \Rightarrow E_{pm} \end{cases}$

② 恢复（分离）时：$\begin{cases} m v_0 = m v_A' + 2 m v_B' \\ \frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{1}{2} m v_A'^2 + \frac{1}{2} \cdot 2 m v_B'^2 \end{cases}$

由左页：背答案：$\begin{cases} v_A' = \frac{m-2m}{m+2m} v_0 = -\frac{1}{3} v_0 \\ v_B' = \frac{2m}{m+2m} = \frac{2}{3} v_0 \end{cases}$

2. 

光滑，B、C弹簧相连且静止，A以 v_0 向右，A、B碰后时间极短，碰后粘在一起，求：① E_{pm} ② 弹簧为原长时三者速度

① A、B相碰有 v_1：$mv_0=2mv_1 \Rightarrow v_1=\frac{1}{2}v_0$

AB与C作用有 v_2：$2mv_1=3mv_2$ 即 $mv_0=3mv_2$

$\cancel{2\frac{1}{2}mv_1}$ $\frac{1}{2}2mv_1^2=\frac{1}{2}3mv_2^2+E_{pm}$ （碰撞时损失了E）

② 恢复时：$\boxed{mv_0}=2mv_{AB}'+mv_c'$ （任意时刻动量守恒）

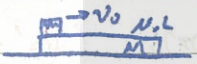
$\frac{1}{2}\cdot 2mv_1^2=\frac{1}{2}3mv_{AB}'^2+\frac{1}{2}mv_c^2$

结论背：$\begin{cases} v_{AB}'=\frac{2m-m}{2m+m}=\frac{1}{3}v_{④} \leftarrow 注意 \\ v_c'=\frac{4m}{2m+m}=\frac{4}{3}v_1 \end{cases}$

3. 

牛顿定律分析：$\begin{cases} B: 先a\uparrow的加速至v_共，再a\downarrow的加速至原长 \\ A: 先a\uparrow的减速至v_共，再a\downarrow的减速至0，再a\downarrow的向左加速 \end{cases}$

（∵ m<2m）

4.(1) 

地光滑 ① 板足够长：$\begin{cases} mv_0=(m+M)v_共 \\ \frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}(m+M)v_共^2+\mu mgx_相 \end{cases}$

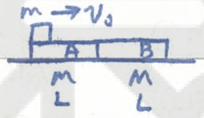
② 能冲下去：$\begin{cases} mv_0=mv_1'+Mv_2' \\ \frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_1'^2+\frac{1}{2}Mv_2'^2+\mu mgL \end{cases}$ （只能强行解）

(2) 

地光滑. ① 板足够长：$\begin{cases} m_0v_0=(m_0+m+M)v_共 \\ m_0v_0=(m_0+m)v_1 \\ \frac{1}{2}(m_0+m)v_1^2=\frac{1}{2}(m_0+m+M)v_共^2+\mu(m_0+m)gx_相 \end{cases}$

② 能冲下去：$m_0v_0=(m_0+m)v_1'+Mv_2'$

$\frac{1}{2}(m_0+m)v_1^2=\frac{1}{2}(m_0+m)v_1'^2+\frac{1}{2}Mv_2'^2+\mu(m_0+m)gL$

(3) 

地光滑，A、B不粘连，m、M间有μ，m最后"停在"B上面。

① m在A上滑：设m冲过A时为 v_1，A为 v_2.

$\begin{cases} mv_0=mv_1+2Mv_2 \\ \frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}\cdot 2Mv_2^2+\mu mgL \end{cases}$ ①

② 冲上B：m与B达 $v_共$. $mv_1+Mv_2=(m+M)v_共$ ②

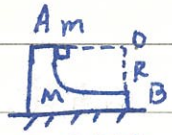
①+② 知：$mv_0=Mv_2+(m+M)v_共$. （全过程动量守恒）

水平方向动量守恒: ~~mv_0~~

$0=(m+M)v_共$

↑

水平方向

5. 

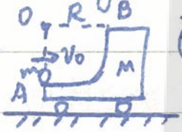
均光滑, m静止释放.

①M固定: $\begin{cases} mgR=\frac{1}{2}mv_B^2 \Rightarrow v_B=\sqrt{2gR} \\ N_B-mg= \text{~~[illegible]~~}\, m\frac{v_B^2}{R} \Rightarrow N_B=3mg. \end{cases}$ (动量不守恒)

②M不固定: m受到的N做负功. M向左运动: 水平方向上动量守恒.

(但总动量不守恒)

$\begin{cases} 0=mv_1'+Mv_2' \\ mgR=\frac{1}{2}mv_1'^2+\frac{1}{2}Mv_2'^2 \end{cases}$

6. 

$\overset{\text{均}}{\text{地}}$光滑, m以$v_0$冲上.

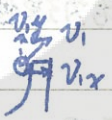
③A→B→A: 全过程相当于弹性碰撞

①若m不能冲上B, 求m达最高处.

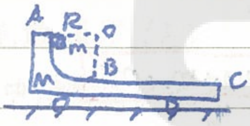
即M, m速度相同(大小、方向): $\begin{cases} mv_0=(m+M)v_共 \\ \frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}(m+M)v_共^2+mgh_{max} \end{cases}$

②若m冲出了B: 求冲出时m的v_1 ~~v_{min}~~和M的v_2.

$\begin{cases} 水平方向动量守恒: mv_0=mv_{1x}+Mv_2 \\ \frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}mv_2^2+mgR \end{cases}$



$\therefore \boxed{v_{1x}=v_2}$

7. 

AB, 地光滑, BC为μ.

①若m恰好不冲出C: 求x_{BC}.

在C处达$v_共$: $0=(m+M)v_共 \quad \therefore v_共=0.$

$\therefore mgR=\mu mgx_{BC} \Rightarrow x_{BC}=\frac{R}{\mu}.$

②若BC=L, m冲出C点, 求冲出时v_m与v_M.

$\begin{cases} 0=mv_1'+Mv_2' \text{(自带方向)} \\ mgR=\frac{1}{2}mv_1'^2+\frac{1}{2}Mv_2'^2+\mu mgL \end{cases}$

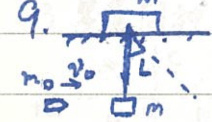
8. 

地光滑, m击中M, 击中时间极短.

①击中: $mv_0=(m+M)v_共$

②压缩: $E_{pm}=\frac{1}{2}(m+M)v_共^2$

②中墙对系统的冲量大小: $I=\Delta P=mv_0$

9. 

地光滑, m_0击中m, 击中时间极短. 求单摆最大倾角 ($\theta<90°$)

①击中: $m_0v_0=(m_0+m)v_1$

②有θ_{max}时系统共速, 水平方向动量守恒: $(m_0+m)v_1=(m_0+m+M)v_共$

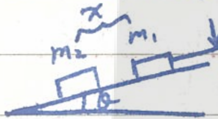
$\frac{1}{2}(m_0+m)v_1^2=\frac{1}{2}(m_0+m+M)v_共^2+(m_0+m)gL(1-\cos\theta)$

四、实验：验证动量守恒

法一：气垫导轨，不需平衡f；用光电门。

m₁碰撞静止的m₂且粘在一起：$\begin{cases} m_1v_1 \overset{?}{=} (m_1+m_2)v_{共} \\ v=\frac{d}{\Delta t} \end{cases}$（遮光条）也可用打点计时器

法二：长木板、打点计时器

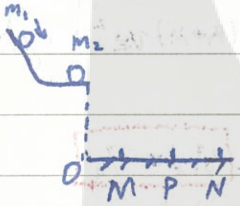


平衡f ①m₁碰撞静止的m₂且粘在一起

②x略大一点

③证明 $m_1v_0=(m_1+m_2)v_{共}$

法三：用斜槽轨道



m₁碰静止的m₂，碰后均向同一方向运动（即$v_2'>v_1'$）

若为弹性碰撞：$\begin{cases} v_1'=\frac{m_1-m_2}{m_1+m_2}v_0>0 \\ v_2'=\frac{2m_1}{m_1+m_2}v_0 \end{cases} \Rightarrow \boxed{m_1>m_2\ ,\ r_1=r_2}$（对心正碰）

斜槽、天平、直尺、复写纸、白纸、圆规、铅垂线

证明：$m_1v_0=$ ~~知~~ $m_1v_1'+m_2v_2'$

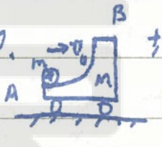
$\begin{cases} v_0=\frac{OP}{t} \text{（平抛）} \\ v_1'=\frac{OM}{t} \\ v_2'=\frac{ON}{t} \end{cases} \Rightarrow \boxed{m_1\cdot OP=m_1\cdot OM+m_2\cdot ON}$

①第一步：静止释放m₁落至P.（多次释放）

②第二步：斜槽末端放m₂，同一位置释放m₁撞m₂.

注意事项：①斜槽末端切线水平。②入射小球m₁从斜槽同一高度静止释放。

（接上页）10.



均光滑，m未冲出B点：

①若m=M：$\begin{cases} mv_0=(m+M)v_{共} \\ \frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}(m+M)v_{共}^2+mgh_{max} \end{cases} \Rightarrow h_{max}=\cdots$

当小球回到A点：$\begin{cases} mv_0=mv_1'+Mv_2' \\ \frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_1'^2+\frac{1}{2}Mv_2'^2 \end{cases}$（类似弹性碰撞

$\therefore v_1'=0,\ v_2'=v_0$

∴小球自由落体：

第六章、静电场

第一单元、电场力的性质

一、电荷

1.元电荷(电量)：$e=1.60\times10^{-19}C$ ⇒ 电子、质子电量的数值

实验测得 ⇒ 密立根油滴实验

2.起电的方式：①摩擦起电 ②感应起电 ⇒ 本质：电荷(电子)的转移

3.电荷守恒定律

4.库仑定律：$\begin{cases}\text{点电荷}\\\text{真空}\end{cases}$ ⇒ $F=\frac{kQq}{r^2}$，$k=9.0\times10^9 N\cdot m^2/C^2$

5.电场：①电荷周围的空间 → 电场

②可与其它物体共存一个空间。

③一种特殊物质，具有能量。

二、电场强度(E)

1.电场的基本性质：对放入的物体有力的作用。

2.定义式：$E=\frac{F}{q}$ ⇒ 与F、q无关；适用于任何电场

3.决定式：$E=\frac{kQ}{r^2}$ ⇒ 真空、静止、点电荷

三、几种电场分布：(法拉第引入了电场、电场线)

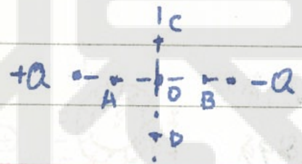
1.点电荷：

$\begin{cases}E_A>E_B\\\varphi_A>\varphi_B\end{cases}$

AB = BC

$\begin{cases}\varphi_A>\varphi_B>\varphi_C\\U_{BC}>U_{AB}\end{cases}$

2.等量异种电荷：



①$E_A=E_B$，$E_C=E_D$ (相同) $\varphi_0=0$

②中垂线上：$E_o>E_c$

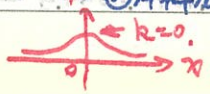
($E_A>E_o$)

③A处静止释放一个+q向右：先a↓的v↑，再a↑的v↑

3.等量同种电荷：①$E_A=E_B$ (方向相反)，$E_C=E_D$ (方向相反)，$E_o=0$ 但 $\varphi_0\neq0$

②$\varphi_A>\varphi_o$ (方法：A→O→D)；A→O→B：E先↓后↑；O→C→∞：E先↑后↓

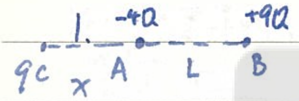
③A释放+q：$\overset{AB}{\text{往复运动}}$；C释放−q：CD往复运动



$\varphi_0>\varphi_F$ ($\varphi_0=0$，$\varphi_F<0$)

∵令它为0则为0.

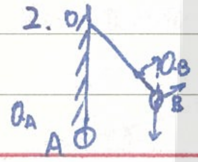
四.运用

1.


放入第三个电荷C，A、B、C均平衡：

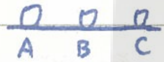
$$\begin{cases}\frac{4kQ}{x^2}=\frac{9kQ}{(L+x)^2} & \text{(分析C)}\\ \frac{kq_c}{x^2}=\frac{9kQ}{L^2} & \text{(分析A)}\end{cases}$$

$\begin{cases}+-+ \text{ or } -+- \\ \text{靠近小的：A左侧}\end{cases}$

2.


OA=OB，A固定，由于漏电，B缓慢下移：T不变，$F_库\downarrow$

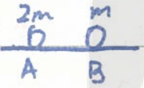
(相似)

3.


光滑. ① $m_A=m_B=m_C$，某时刻 $a_A=2m/s^2$，$a_B=3m/s^2$，则 $a_C=\underline{-5m/s^2}$.

$$\begin{cases}F_{合A}=m_Aa_A\\ F_{合B}=m_Ba_B\\ F_{合C}=m_Ca_C\end{cases} \Rightarrow \text{又}\because F_{合A}+F_{合B}+F_{合C}=0 \quad \therefore m_Aa_A+m_Ba_B+m_Ca_C=0$$

② 若 $m_A=2m_B=2m_C$，$a_A=-2m/s^2$，$a_B=3m/s^2$，则 $a_C=\underline{1m/s^2}$.

4.


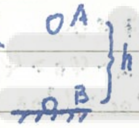
光滑，$m_A=2m_B=2m$，静止释放，$a_A=a$，相距为L.

某时刻 $a_B'=a$，$v_B=v$，则此时：① 相距：$\sqrt{2}L$.

② $v_A=-\frac{v}{2}$ (动量守恒)

$$\begin{cases}\text{开始：}F=F'=\frac{kQ_AQ_B}{L^2}=m_Aa_A=m_Ba_B \Rightarrow a_B=2a\\ \text{现：}a_B'=a \Rightarrow F_现=\frac{1}{2}F \Rightarrow L'=\sqrt{2}L.\end{cases}$$

③ 电势能减少量：$\Delta E_{p电}=\frac{1}{2}2m\cdot(\frac{v}{2})^2+\frac{1}{2}\cdot mv^2$

5.


B固定，A下落，空气阻力不计，A、B等大，碰撞无E损失；反弹高度为h'

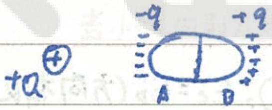
① 等量同种电荷：$h'=h$　② 等量异种电荷：$h'>h$

③ 不等量同种电荷：$h'>h$　④ 不等量异种电荷：$h'>h$

五.静电感应、静电平衡

1.知识点：原子=原子核+核外电子；只有电子才能移动。

2.静电感应：



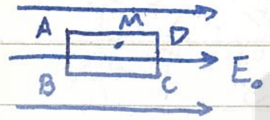
① 近异远同 $(Q>q)$

② A、B分开：A负B正

③ 先移走Q，再分开A、B：A、B不带电

④ 摸一下A后松开，再拿走Q：A、B带负电

3. 理论分析：静电平衡



① 开始放入ABCD：只M处场强为E_0 ⇒ M处电子向左移动 ⇒ AB带负电 ⇒ CD带正电

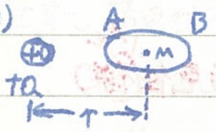
② M处还有感应电荷的场强E'.

③ 当$E_0=E'$时：$E_{M合}=0$

4. 处于静电平衡的导体特点：① 导体内部合场强为0

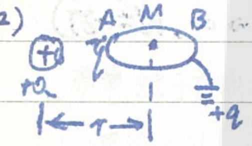
② 导体是一个等势体，表面是一个等势面 ⇒ 表面上的电场线与表面垂直。

5. 运用：

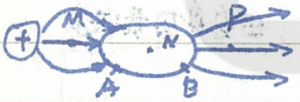
(1)


① +Q在M的场强：$E=\frac{kQ}{r^2}$ ② 感应电荷在M场强：$E'=-\frac{kQ}{r^2}$

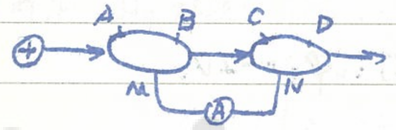
③ M点合场强： $E=0$.

(2)


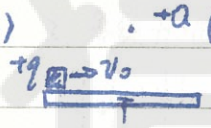
−q在M点的场强：$E=-\frac{kQ}{r^2}$ （∵+q太远了）

(3)


$\varphi_M>\varphi_N=\varphi_A=\varphi_B>\varphi_P$.

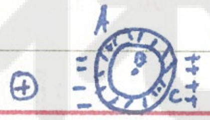
(4)


连上Ⓐ一瞬间，I：M→Ⓐ→N.

(5)


绝缘光滑金属板

物块以v_0冲上板，作匀速直线运动。

(6)


球壳，A、C在壳"上"，B在壳腔内：静电屏蔽

A、B、C均为 $E=0$.（开几个小孔：仍可屏蔽）

(7)


只有B的 $E=0$

点电荷在壳外"进不去"
点电荷在壳内"出得来"

①$v-t$图：v变化、a变化(斜率)⇒F方向、大小变化 ⇒ $E=\frac{F}{q}$；E_p变化；φ变化

②$\varphi-x$图：$E=\frac{\Delta\varphi}{\Delta x}$(斜率)，$W=-\Delta E_p=\frac{\Delta\varphi}{q}$，根据$\varphi$大小确定$E$方向

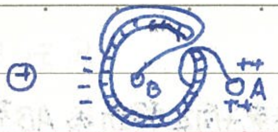
③ $E-x$图：$E>0$：沿x轴正向；$E<0$：沿x轴负向；$S=Ex=\Delta\varphi=U$

④E_p-x：可得E_k

$\frac{E_p}{x}=\left|\frac{W}{x}\right|=Eq$

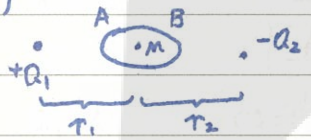
可得F.E.a.

(8)



A球带正电，B球不带电

(9)



感应电荷在M处：$E'=\frac{kQ_1}{r_1^2}+\frac{kQ_2}{r_2^2}$

第二单元、电场能的性质

一、电场力做功与电势能变化关系

1.类比：$W_{电AB}=E_{pA}-E_{pB}=-(E_{pB}-E_{pA})=-\Delta E_p$

2、电荷在电场中由$A\to\infty$处(零电势)，$W_{A\infty}=-(0-E_A)=E_A$.(与电性~~有~~无关)

①一个正电荷从$A\to\infty$，电场力做2J正功：$E_A=2J$.

②一个正电荷从$\infty\to B$，电场力做2J正功：$E_B=-2J$.(从$B\to\infty$，$W=-2J$)

③一个负电荷从$C\to\infty$，克服电场力2J功：$E_C=-2J$.

二、电势(φ)

1.定义式：$\varphi=\frac{E_p}{q}$(带正负) 单位：1V=1J/C，标量↓有正负，由自身因素决定

2.$U_{AB}=\varphi_A-\varphi_B$ ⇒ $U_{AB}=-U_{BA}$

3.$W_{AB}=U_{AB}q$(带正负)

例. $q=-1C$的电荷从$\infty\to A$处，克服电场力做功为2J：$\varphi_A=-2V$.

三.几个说法：

1.沿E的方向$\varphi\downarrow$。(✓)

2.$\varphi\downarrow$的方向不一定沿E的方向。(✓)

3.$\varphi\downarrow$最快的方向沿E的方向。(✓)

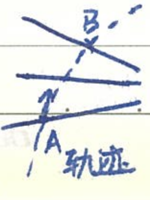
4.电场线与等势面垂直。(✓)

5.等势面上移动电荷，电场力不做功。(✓)

6.A→B，电场力不做功，不一定沿等势面移动。(✓)

四.运用

1.

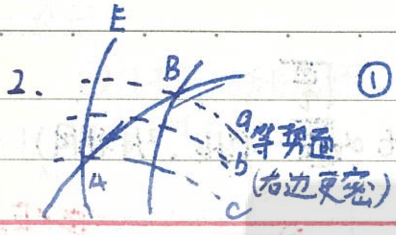


①粒子电性、E的方向不能确定。②$E_B>E_A$.

③$a_B>a_A$ ④φ_A、φ_B大小不知 ⑤$v_B>v_A$

⑥F_A、F_B的方向知道。⑦$E_{pA}>E_{pB}$

2.

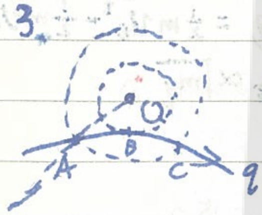


① 电性、E方向未知　② $E_B>E_A$　③ $a_B>a_A$

④ φ_A、φ_B未知　⑤ $v_A>v_B$　⑥ F_A、F_B方向已知

⑦ $E_B>E_A$

3.



①Q、q为同种电荷.

② $A\to B: v\downarrow$，$B\to C: v\uparrow$

③ $v_A=v_C$.

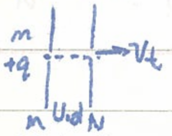
第三单元、带电粒子在电场中的运动（质子 ^1_1H，α粒子 ^4_2He，电子 $^0_{-1}e$）（均不计重力）

一、匀速圆周运动（行星模型）

$$\frac{kQq}{r^2}=m\frac{v^2}{r} \Rightarrow v=\sqrt{\frac{kQq}{mr}},\ E_k=\frac{kQq}{2r}.$$

二、带电粒子在电场中的加速：获得高能粒子

1. 理论（$v_0=0$）：

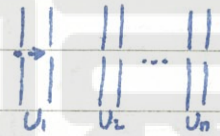


$$W=Uq=\frac{1}{2}mv_t^2-0 \Rightarrow v_t=\sqrt{\frac{2Uq}{m}}$$

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

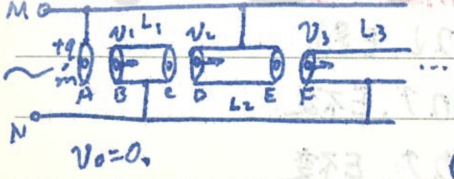
例：对 ^1_1H、^4_2He 加速：
$$\begin{cases} E_{kH}:E_{kHe}=1:2 \\ v_H:v_{He}=\sqrt{2}:1 \\ t_H:t_{He}=1:\sqrt{2} \end{cases}$$

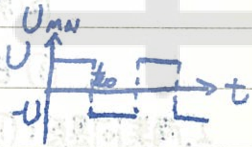
2. 多级加速：



$$(U_1+U_2+\cdots U_n)q=\frac{1}{2}mv_t^2-0$$

实际图：　n个"漂移筒"　筒内形成静电屏蔽（匀速运动）





$$\therefore t_0=\frac{L_1}{v_1}=\frac{L_2}{v_2}=\cdots=\frac{L_n}{v_n}=\frac{T}{2}$$

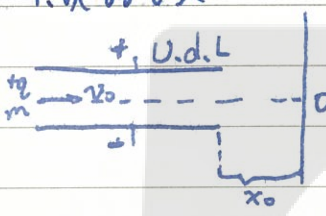
① $nUq=\frac{1}{2}mv_n^2-0 \Rightarrow E_{k\max}=nUq$

② $T=2t_0=\frac{2L_1}{\sqrt{2Uq}}=\frac{2L_3}{\sqrt{6Uq}}$

③ 若加速电场为d，求在加速电场中运动总时间：$nd=\frac{1}{2}\cdot\frac{Uq}{md}\cdot t^2$

三.带电粒子在电场中的偏转

1、以v_0飞入



①不飞出: $\begin{cases}\frac{d}{2}=\frac{1}{2}\frac{Uq}{md}t^2 \\ x=v_0t\end{cases}$ ⇒ $t\propto\sqrt{\frac{m}{q}}$ （^4_2He、^2_1H相同）

$W_电=Eq\cdot\frac{d}{2}=\frac{U}{d}\cdot q\cdot\frac{d}{2}=\frac{1}{2}Uq=\frac{1}{2}mv_t^2-\frac{1}{2}mv_0^2$ ↳ ΔE_K

$I_合=Eq\cdot t=\frac{U}{d}\cdot q\cdot t$ ⇒ $I_合\propto\sqrt{mq}$ ↳ ΔP.

②若飞出: $\begin{cases}L=v_0t \Rightarrow t=\frac{L}{v_0} \\ y=\frac{1}{2}\cdot\frac{Uq}{md}\cdot t^2=\frac{UqL^2}{2mdv_0^2} \\ v_y=\frac{Uq}{md}\cdot t=\frac{UqL}{mdv_0} \\ \tan\varphi=\frac{v_y}{v_0}=\frac{UqL}{mdv_0^2}=2\cdot\frac{y}{L}=2\tan\theta.\end{cases}$

↳速度夹角 ↳位移夹角

↓只能这样写

$$\begin{cases}W_电=Eqy=\frac{U}{\cancel{2}d}\cdot q\cdot y=\Delta E_K=\frac{1}{2}mv_t^2-\frac{1}{2}mv_0^2 \\ I_合=\Delta P=Eqt=\frac{U}{d}\cdot q\cdot\frac{L}{v_0} \\ Y=\frac{x_0+\frac{L}{2}}{\frac{L}{2}}\cdot y\ (相似)=(\frac{L}{2}+x_0)\tan\varphi \\ \quad =y+v_y\cdot\frac{x_0}{v_0}\end{cases}$$

2.先以U_1加速，再以U_2偏转:

加速: $U_1q=\frac{1}{2}mv_0^2$ ⇒ $\begin{cases}y=\frac{U_2L^2}{4U_1d} \\ \tan\varphi=\frac{U_2L}{2U_1d}\end{cases}$ ⇒打在屏上同一点

灵敏度: $\frac{y}{U_2}=\frac{L^2}{4U_1d}$ （改变L、U_1、d可改变灵敏度，但不改变U_2）.

单位: m/V

四、电容器相关问题

1.知识点: ①定义式: $C=\frac{Q}{U}$ $1F=10^6\mu F=10^{12}pF$

②决定式: $C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$ ε: 电介质，绝缘体，ε≥1；真空$\varepsilon_0=1$

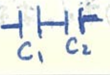
③ $E=\frac{U}{d}$

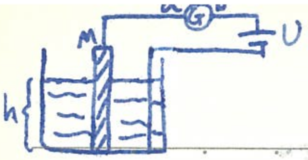
↓反比例曲线 

2.两类问题: ① U不变（与电源相连）: d↑ ⇒ C↓, Q↓, E↓

S↑ ⇒ C↑, Q↑, E不变

ε↑ ⇒ C↑, Q↑, E不变

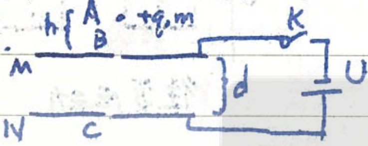
在中间插一金属板: d↓  ⇒  ⇒ $\frac{1}{C_总}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}$



金属棒M上有一层膜(绝缘)；金属棒与电解液构成电容器两个"极板"，d是膜的厚度，h相当于S：$C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$ 当h↑，C↑，Q↑，电流b→a.

②Q不变(断开电源)：d↑⇒C↓，U↑，E不变.

例1.



从A静止下落；恰好能到C.

动能定理：① $mg(h+d)-Uq=0-0$

② $mg(h+d)-Eqd=0-0$

a. K闭合，M板上移，仍从A下落：用①式，仍刚达C.

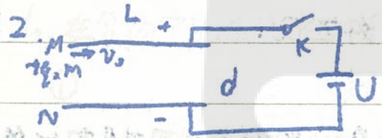
K闭合，M板下移：仍刚达C.

K闭合，N板上移：用①式，不能达C

K闭合，N板下移：用①式，穿过C

b. K断开：(用②式)
- M板上移：不能达C.
- M板下移：穿过C
- N板上移：穿过C
- N板下移：不能达C.

例2.



重力不计，从N右边缘飞出.

① K合上，当以$\frac{v_0}{2}$飞入，要使仍从N右边缘飞出：

原：$\begin{cases}L=v_0t\\ d=\frac{1}{2}\frac{Uq}{md}\cdot\frac{L^2}{v_0^2}\end{cases}\Rightarrow d^2=\frac{UqL^2}{2mv_0^2}\Rightarrow$ 右侧 $v_0\Rightarrow\frac{v_0}{2}$ 左侧 $d\Rightarrow 2d$.

∴将N向下移d.

② 断开K，以$\frac{v}{2}$飞入：原：$\begin{cases}L=v_0t\\ d=\frac{1}{2}\cdot\frac{Eq}{m}\frac{L^2}{v_0^2}\end{cases}\Rightarrow d=\frac{EqL^2}{2mv_0^2}\Rightarrow$ 右侧 $v_0\Rightarrow\frac{v_0}{2}$ 左侧 $d\Rightarrow 4d$

∴将N下移3d.

例3.

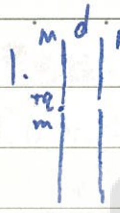
P处有一负电荷(固定)，K闭合；当M上移：

① E↓ ② φ_P↓ ∵ $U_{PN}=Ed_{PN}$↓，而$\varphi_N=0$

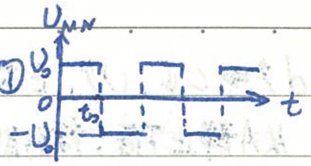
③ $E_{p电}=\varphi_P\cdot(-q)$↑

五、带电粒子偏转的运用（下页）

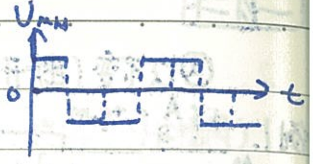
1.



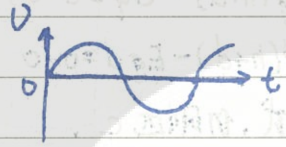
重力不计，$v_0=0$.

①


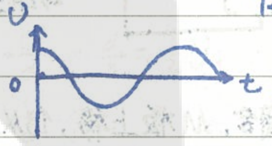
一直向右

②


往复运动

③


一直向右

④


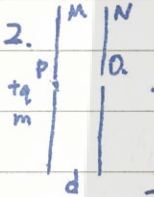
往复运动

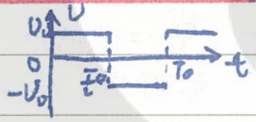
若有①图，要使达N时有v_{max}，则f的____值是____。v_{max}=____。

$U_0q=\frac{1}{2}mv_{max}^2 \Rightarrow v_{max}=\sqrt{\frac{2U_0q}{m}}$

$d=\frac{1}{2}\cdot\frac{U_0q}{md}t^2 \Rightarrow t=\sqrt{\frac{2md^2}{U_0q}}\le\frac{T}{2}$　∴ $T_{min}=2\sqrt{\frac{2md^2}{U_0q}} \Rightarrow f_{max}=\frac{1}{T}$

2.





知：$+q$, m, U_0, d. 从P处连续不断沿PQ射入粒子，$v_0=0$. ①若每个T_0内只有$0\sim\frac{T_0}{4}$内释放出的粒子才能达Q，求d满足的条件.

即$\frac{T_0}{4}$时刻进入的粒子加速$\frac{T}{4}$，减速$\frac{T}{4}$刚好达Q.

$\therefore d=2\times\frac{1}{2}\frac{U_0q}{md}\cdot(\frac{T}{4})^2$

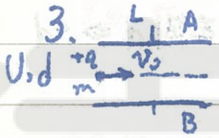
②若在①情况下，求每个周期内从Q点有粒子射出的时间与周期的比值

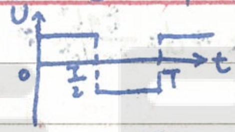
从$\frac{T_0}{4}$时进入的粒子在$\frac{3}{4}T_0$恰以$v=0$出Q.

从$t=0$时进入的粒子：$d=\frac{1}{2}\cdot\frac{U_0q}{md}\cdot t_0^2 \Rightarrow t_0=\frac{\sqrt{2}}{4}T_0$　经$\frac{\sqrt{2}}{4}T_0$出Q

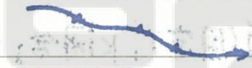
∴有粒子：$\Delta t=\frac{3-\sqrt{2}}{4}T_0$　∴比值：$(3-\sqrt{2}):4$

3.





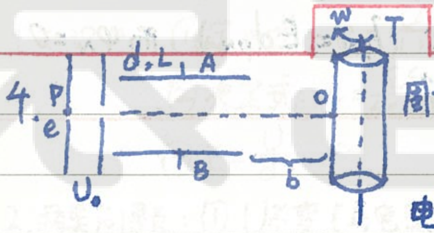
重力不计，恰好平行于极板飞出，求f，U_0取值。

轨迹：


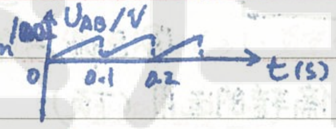
$\therefore t=\frac{L}{v_0}=nT\ (n=1,2,3\cdots)$

$\frac{d}{2}=2\times\frac{1}{2}\frac{U_0q}{md}(\frac{T}{2})^2\times n$

4.



周长S=0.20m



电子e从P进入$U_0=10^3V$，$v_0=0$．偏转电场为U_{AB}.

$L=0.20m$，$d=0.02m$，$b=0.15m$，$T=0.20s$．电子在U_0、U_{AB}运动时间极短，可认为一个e在两场中运动时U_0，U_{AB}不变。从$t=0$时连续有e进入.

解：加速：$U_0 e = \frac{1}{2} m v_0^2$

偏转：$L = v_0 t$

$y = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_{AB}e}{md} t^2 \leq \frac{d}{2} \Rightarrow U_{AB\max} = 20V.$

$\therefore y = \frac{U_{AB}L^2}{4U_0 d} \Rightarrow \quad = \frac{1}{5} U_0$

$v_y = \frac{U_{AB}e}{md} t$

$\therefore \tan\varphi = \frac{v_y}{v_0} = \frac{U_{AB}L}{2U_0 d}$

$\therefore Y = (\frac{L}{2} + b) \tan\varphi = \cdots = 2.5cm.$

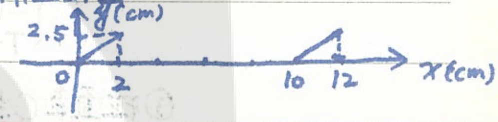
$\therefore$ 0~0.1s 内能飞出偏转电场的 e

在 0~0.02 s 内.

而 $S = 0.2m$, $T = 0.2s$

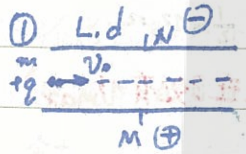
$\therefore x_{屏} = \frac{S}{10} = 0.02m = 2cm.$

屏上的图：



5. 重力要计的偏转电场

①



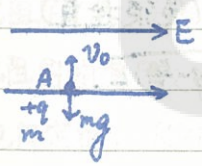
不加U时击中下板中间，要使它能飞出，求 U_{MN} 的取值.

若无U：$\begin{cases} \frac{d}{2} = \frac{1}{2} g t_1^2 \\ \frac{L}{2} = v_0 t_1 \end{cases}$ 有U：(从上板) $\begin{cases} L = v_0 t_2 \\ \frac{d}{2} = \frac{1}{2} (\frac{Uq}{md} - g) t_2^2 \end{cases}$

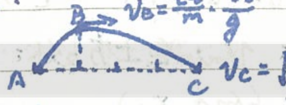
$\because t_2 = 2t_1 \Rightarrow \frac{Uq}{md} - g = \frac{1}{4} g \Rightarrow \frac{Uq}{md} = \frac{5}{4} g.$

6. 在匀场中的曲线运动（分运动）

①



轨迹：

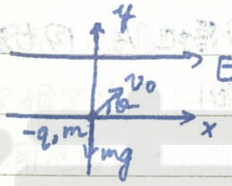


$v_B = \frac{Eq}{m} \cdot \frac{v_0}{g}$

$v_C = \sqrt{v_0^2 + (\frac{Eq}{m} \cdot \frac{2v_0}{g})^2}$

$x = \frac{1}{2} \cdot \frac{Uq}{md} \cdot (\frac{2v_0}{g})^2$

②

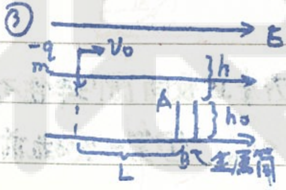


已知运动至最高点时速率为 v_0. 求最高点的坐标.

$\begin{cases} x = \frac{v_0\cos\theta - v_0}{2} \cdot \frac{v_0 \sin\theta}{g} \\ y = \frac{(v_0 \sin\theta)^2}{2g} \end{cases}$

求运动至最右端时的速度：$v_y = v_0 \sin\theta - g \cdot \frac{v_0\cos\theta}{\frac{Eq}{m}}$

③



恰好竖直通过筒

$\begin{cases} h = \frac{1}{2} g t^2 \\ 0 = v_0 - \frac{Eq}{m} t \\ L = \frac{v_0}{2} t \end{cases} \Rightarrow$ h、E、L 知一求二

$v_B = \sqrt{2g(h + h_0)}$

7.

已知：静止于B点；q、mg、$\theta=30^\circ$、L.

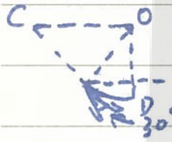
① $Eq = mg\tan30^\circ$

② 拉直至A点释放，求v_{max}与最低点的T.

$A\to B$：$mgL\cos\theta - EqL(1-\sin\theta) = \frac{1}{2}mv_m^2 - 0$

$A\to D$：$\begin{cases} mgL - EqL = \frac{1}{2}mv_D^2 - 0 \\ T - mg = m\frac{v_D^2}{L} \end{cases}$

③ 拉直至C点释放，求最低点的T.



$\begin{cases} 先匀加速：v_P = \sqrt{2\cdot\frac{2\sqrt{3}}{3}gL} \quad F_合 = \frac{2\sqrt{3}}{3}mg. \\ 再摆：\begin{cases} mgL(1-\cos30^\circ) + EqL\sin30^\circ = \frac{1}{2}mv_D^2 - \frac{1}{2}mv_P'^2 \\ v_P' = v_P\cos30^\circ \end{cases} \end{cases}$

（仍是在B处有v_{max}）

④ 在B点给一v_B使恰好做圆周运动：

$v_{B\min} = \sqrt{5\cdot\frac{2\sqrt{3}}{3}gL}$.

8.

L为绳，知：$-q$、m、g、E、L.

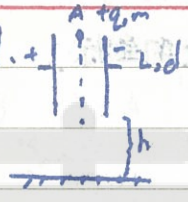
① $mg = Eq$：$v>0$即可，$T = m\frac{v^2}{L}$大小恒定（绳须拉直）

② 若$mg > Eq$：v_{min}在上方b处：$v_{min} = \sqrt{(g-\frac{Eq}{m})L}$.

$|T_a - T_b| = 6(mg - Eq)$

③ 若$mg < Eq$：v_{min}在a处.

9.



由A静止释放，恰从极板边缘飞出，求：① 落地v_t；② $t_总$.

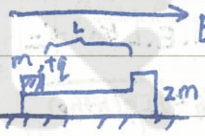
场中：匀加速直线运动：$\frac{mg}{L} = \frac{Eq}{\frac{d}{2}}$（相似）

出场：落地：$mg(L+h) + Eq\frac{d}{2} = \frac{1}{2}mv_t^2 - 0$.

$v_y^2 = 2g(L+h)$

$t_总 = \sqrt{\frac{2(L+h)}{g}}$

10.



原均静止，均光滑，m第一次碰后v变为$\frac{1}{3}$且反向（即弹性碰撞）碰撞时间极短，求 ① 第二次碰前v_m. ② 第二次碰前$W_电$

m匀加速：$v_1^2 = 2\frac{Eq}{m}L \Rightarrow v_1 = \sqrt{\frac{2EqL}{m}}$.

撞：$mv_1 = -\frac{1}{3}mv_1 + 2mv_2 \quad v_2 = \frac{2}{3}v_1$.

令t再相撞：$-\frac{1}{3}v_1t + \frac{1}{2}\cdot\frac{Eq}{m}t^2 - \frac{2}{3}v_1t = 0. \Rightarrow v_m = -\frac{1}{3}v_1 + \frac{Eq}{m}t$.

也可：$v_2 = \frac{-\frac{1}{3}v_1 + v_m}{2}$（平均速度相同）

第七章、恒定电流

第一部分、电流、电阻定律、欧姆定律

一、电流：

1. 形成条件：{ 导体内有自由移动的电荷
   导体两端有电势的差（电压）

2. 定义：单位时间内通过横截面的电量：$I=\frac{Q}{t}$（$1A=1C/s$）；标量，正负表流向

国际基本单位：kg、m、s、A、mol、K、cd（坎德拉，光强度单位）

3. 注意：电解质（$CuSO_4$）中：$I=\frac{|Q_1|}{t_1}+\frac{|Q_2|}{t_2}$

4. 环形电流：一个电荷在磁场匀速圆周：$I=\frac{q}{T}$.

↓由导体性质决定

5. 电流的微观表达：① q—电量；v—定向移动速度；n—单位体积内电荷数（个/m^3）

令t：$I=\frac{Q}{t}=\frac{vt\cdot S\cdot n\cdot q}{t}=nqSv$.　　S—导体的横截面积

② 若只给q、v、n（单位长度内自由电荷的数目）：$I=nqv$.

二、电阻电定律、欧姆定律

1. 电阻定义式：$R=\frac{U}{I}$

电阻的物理意义：表征导体对电流的阻碍作用。

2. 电阻定律：$R=\rho\frac{L}{S}$（ρ单位：$\Omega\cdot m$）

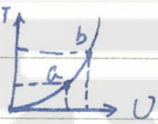
① 电阻率ρ：表征材料对电流的阻碍作用。

② ρ与T：金属：T↗，ρ↗；半导体：T↗，ρ↓ ⇒ 热敏电阻、光敏电阻

3. 欧姆定律：$I=\frac{U}{R}$（I与U成正比，I与R成反比）

适用范围：纯电阻电路、金属导体和电解液

4. 注：

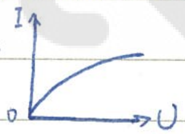


$R_a=\frac{U_a}{I_a}$ 不是用斜率　（不满足欧姆定律，但可用$R=\frac{U}{I}$算）

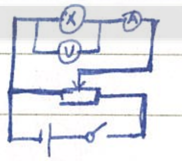
$R_b=\frac{U_b}{I_b}$

三、导体的伏安特性曲线

I-U图：



电路图：



四、电功和电热

1、电功：电场力对自由电荷做的功：$W_{电}=Uq=UIt$，$P_{电}=UI$

物理意义：表征把电能转化为其他形式的能。

2、电热（热功率）：产生的内能：$\begin{cases} Q=I^2Rt \\ P_{热}=I^2R \end{cases}$（适用：任何用电器）

3、$W_{电}$与Q的关系：①纯电阻电路：$W_{电}=Q \Rightarrow UIt=I^2Rt \Rightarrow U=IR$.

$(P=\frac{U^2}{R}$ 可用)　　↕U不变，I↓

②非纯电阻（电动机）：$P_{电}=UI=I^2R+P_{机} \Rightarrow IU>I^2R \Rightarrow U>IR$ $(\frac{U}{R}>I)$

$(P=\frac{U^2}{R}$ 不可用)

关键量：确定电动机 U_m、I_m；从纯电阻部分入手用欧姆定律，再根据闭合电路 U、I 关系求得 U_m、I_m.