

高中物理知識點歸納

學好物理重在理解 (概念、規律的確切含義，能用不同的形式進行表達，理解其適用條件)

A(成功)=X(艱苦的勞動)+Y(正確的方法)+Z(少說空話多幹實事)

(最基礎的概念、公式、定理、定律最重要)；每一題中要弄清楚(物件、條件、狀態、過程)是解題關鍵

物理學習的核心在於思維，只要同學們在平常的複習和做題時注意思考、注意總結、善於歸納整理，對於課堂上老師所講的例題做到觸類旁通，舉一反三，把老師的知識和解題能力變成自己的知識和解題能力，並養成規範答題的習慣，這樣，同學們一定就能笑傲考場，考出理想的成績！

對聯：概念、公式、定理、定律。（學習物理必備基礎知識）

物件、條件、狀態、過程。（解答物理題必須明確的內容）

力學問題中的“過程”、“狀態”的分析和建立及應用物理模型在物理學習中是至關重要的。

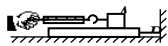
說明：凡向量式中用“+”號都為合成符號，把向量運算轉化為代數運算的前提是先規定正方向。

答題技巧：“基礎題，全做對；一般題，一分不浪費；盡力衝擊較難題，即使做錯不後悔”。

“容易題不丟分，難題不得零分。“該得的分一分不丟，難得的分每分必爭”，“會做⇒做對⇒不扣分”

在學習物理概念和規律時不能只記結論，還須弄清其中的道理，知道物理概念和規律的由來。

I . 力的種類：(13 個性質力) 這些性質力是受力分析不可少的“是受力分析的基礎”

力的種類：(13 個性質力)	有 18 條定律、2 條定理
1 重力： $G = mg$ (g 隨高度、緯度、不同地球上不同)	1 萬有引力定律 B
2 彈力： $F = Kx$	2 胡克定律 B
3 滑動摩擦力： $F_{滑} = \mu N$ 	3 滑動摩擦定律 B
4 靜摩擦力： $0 \leq f_{靜} \leq f_m$ (由運動趨勢和平衡方程去判斷)	4 牛頓第一定律 B
5 浮力： $F_{浮} = \rho g V_{排}$	5 牛頓第二定律 B
6 壓力： $F = PS = \rho g h s$	6 牛頓第三定律 B
7 萬有引力： $F_{引} = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$	7 動量守恆定律 B
8 庫侖力： $F = K \frac{q_1 q_2}{r^2}$ (真空中、點電荷)	8 機械能守恆定律 B
9 電場力： $F_{電} = q E = q \frac{u}{d}$	9 能的轉化守恆定律
10 安培力：磁場對電流的作用力	10 電荷守恆定律
$F = BIL$ (B⊥I) 方向：左手定則	11 真空中的庫侖定律
	12 歐姆定律
	13 電阻定律 B
	14 閉合電路的歐姆定律 B
	15 法拉第電磁感應定律

<p>11 洛倫茲力：磁場對運動電荷的作用力 $f=BqV$ ($B \perp V$) 方向：左手定則</p> <p>12 分子力：分子間的引力和斥力同時存在,都隨距離的增大而減小,隨距離的減小而增大,但斥力變化得快。</p> <p>13 核力：只有相鄰的核子之間才有核力，是一種短程強力。</p> <p>5 種基本運動模型</p> <p>1 靜止或作勻速直線運動（平衡態問題）；</p> <p>2 勻變速直、曲線運動（以下均為非平衡態問題）；</p> <p>3 類平拋運動；</p> <p>4 勻速圓周運動；</p> <p>5 振動。</p>	<p>16 楞次定律 B</p> <p>17 反射定律</p> <p>18 折射定律 B</p> <p>定理：</p> <p>①動量定理 B</p> <p>②動能定理 B 做功跟動能改變的關係</p>
---	--

受力分析入手（即力的大小、方向、力的性質與特徵，力的變化及做功情況等）。

再分析運動過程（即運動狀態及形式，動量變化及能量變化等）。

最後分析做功過程及能量的轉化過程；

然後選擇適當的力學基本規律進行定性或定量的討論。

強調：用能量的觀點、整體的方法(物件整體，過程整體)、等效的方法(如等效重力)等解決

II 運動分類：（各種運動產生的力學和運動學條件及運動規律）是高中物理的重點、難點

高考中常出現多種運動形式的組合 追及(直線和圓)和碰撞、平拋、豎直上拋、勻速圓周運動等

①勻速直線運動 $F_{合}=0$ $a=0$ $V_0 \neq 0$

②勻變速直線運動：初速為零或初速不為零，

③勻變速直、曲線運動(決於 $F_{合}$ 與 V_0 的方向關係) 但 $F_{合}= 恒力$

④只受重力作用下的幾種運動：自由落體，豎直下拋，豎直上拋，平拋，斜拋等

⑤圓周運動：豎直平面內的圓周運動(最低點和最高點)；**勻速圓周運動(關鍵搞清楚是什麼力提供作向心力)**

⑥簡諧運動；單擺運動；

⑦波動及共振；

⑧分子熱運動；(與宏觀的機械運動區別)

⑨類平拋運動；

⑩帶電粒在電場力作用下的運動情況；帶電粒子在 $f_{磁}$ 作用下的勻速圓周運動

III。物理解題的依據：

(1) 力或定義的公式 (2) 各物理量的定義、公式

(3) 各種運動規律的公式 (4) 物理中的定理、定律及數學函數關係或幾何關係

IV 幾類物理基礎知識要點：

①凡是性質力要知：施力物體和受力物體；

②對於位移、速度、加速度、動量、動能要知參照物；

③狀態量要搞清那一個時刻（或那個位置）的物理量；

④過程量要搞清那段時間或那個位移或那個過程發生的；（如衝量、功等）

⑤加速度 a 的正負含義：①不表示加減速；② a 的正負只表示與人為規定正方向比較的結果。

⑥如何判斷物體作直、曲線運動；

- ⑦如何判斷加減速運動；
- ⑧如何判斷超重、失重現象。
- ⑨如何判斷分子力隨分子距離的變化規律
- ⑩根據電荷的正負、電場線的順逆(可判斷電勢的高低) ⇒ 電荷的受力方向；再根據移動方向 ⇒ 其做功情況 ⇒ 電勢能的變化情況

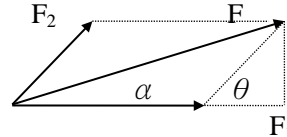
V. 知識分類舉要

1. 力的合成與分解、物體的平衡 | 求 F_1 、 F_2 兩個共點力的合力的公式：

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\theta}$$

合力的方向與 F_1 成 α 角：

$$\text{tg}\alpha = \frac{F_2 \sin\theta}{F_1 + F_2 \cos\theta}$$



注意：(1) 力的合成和分解都均遵從平行四邊行定則。

(2) 兩個力的合力範圍： $|F_1 - F_2| \leq F \leq |F_1 + F_2|$

(3) 合力大小可以大於分力、也可以小於分力、也可以等於分力。

共點力作用下物體的平衡條件：靜止或勻速直線運動的物體，所受合外力為零。

$$\Sigma F = 0 \quad \text{或} \quad \Sigma F_x = 0 \quad \Sigma F_y = 0$$

推論：[1] 非平行的三個力作用于物體而平衡，則這三個力一定共點。按比例可平移為一個封閉的向量三角形

[2] 幾個共點力作用于物體而平衡，其中任意幾個力的合力與剩餘幾個力(一個力)的合力一定等值反向

三力平衡： $F_3 = F_1 + F_2$

摩擦力的公式：

(1) 滑動摩擦力： $f = \mu N$

說明： a 、 N 為接觸面間的彈力，可以大於 G ；也可以等於 G ；也可以小於 G

b 、 μ 為滑動摩擦係數，只與接觸面材料和粗糙程度有關，與接觸面積大小、接觸面相對運動快慢以及正壓力 N 無關。

(2) 靜摩擦力：由物體的平衡條件或牛頓第二定律求解，與正壓力無關。

大小範圍： $0 \leq f_{\text{靜}} \leq f_m$ (f_m 為最大靜摩擦力與正壓力有關)

說明：a、摩擦力可以與運動方向相同，也可以與運動方向相反，還可以與運動方向成一定夾角。

b、摩擦力可以作正功，也可以作負功，還可以不作功。

c、摩擦力的方向與物體間相對運動的方向或相對運動趨勢的方向相反。

d、靜止的物體可以受滑動摩擦力的作用，運動的物體也可以受靜摩擦力的作用。

力的獨立作用和運動的獨立性

當物體受到幾個力的作用時，每個力各自獨立地使物體產生一個加速度，就象其它力不存在一樣，這個性質叫做力的獨立作用原理。

一個物體同時參與兩個或兩個以上的運動時，其中任何一個運動不因其它運動的存在而受影響，這叫運動的獨立性原理。物體所做的合運動等於這些相互獨立的分運動的疊加。

根據力的獨立作用原理和運動的獨立性原理，可以分解速度和加速度，在各個方向上建立牛頓第二定律的分量式，常常能解決一些較複雜的問題。

VI.幾種典型的運動模型：追及和碰撞、平拋、豎直上拋、勻速圓周運動等及類似的運動

2. 勻變速直線運動：

兩個基本公式(規律)： $V_t = V_0 + at$ $S = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$ 及幾個重要推論：

(1) 推論： $V_t^2 - V_0^2 = 2as$ (勻加速直線運動： a 為正值 勻減速直線運動： a 為正值)

(2) AB段中間時刻的即時速度： $V_{t/2} = \frac{V_0 + V_t}{2} = \frac{s}{t}$ (若為勻變速運動)等於這段平均速度

(3) AB段位移中點的即時速度： $V_{s/2} = \sqrt{\frac{v_0^2 + v_t^2}{2}}$ $\left\{ \begin{array}{l} x = \bar{v}t \quad \text{①} \\ \bar{v} = \frac{v_0 + v_t}{2} \quad \text{②} \\ v_t = v_0 + at \quad \text{③} \\ x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 \quad \text{④} \\ v_t^2 - v_0^2 = 2ax \quad \text{⑤} \end{array} \right.$

$$V_{t/2} = \bar{V} = \frac{V_0 + V_t}{2} = \frac{s}{t} = \frac{S_{N+1} + S_N}{2T} = V_N \leq V_{s/2} = \sqrt{\frac{v_0^2 + v_t^2}{2}}$$

勻速： $V_{t/2} = V_{s/2}$; 勻加速或勻減速直線運動： $V_{t/2} < V_{s/2}$

(4) $S_{第t秒} = St - S_{(t-1)} = (v_0 t + \frac{1}{2}at^2) - [v_0(t-1) + \frac{1}{2}a(t-1)^2] = v_0 + a(t - \frac{1}{2})$

(5) 初速為零的勻加速直線運動規律

①在1s末、2s末、3s末……ns末的速度比為1:2:3……n;

②在1s、2s、3s……ns內的位移之比為1²:2²:3²……n²;

③在第1s內、第2s內、第3s內……第ns內的位移之比為1:3:5……(2n-1);

④從靜止開始通過連續相等位移所用時間之比為1:($\sqrt{2}-1$):($\sqrt{3}-\sqrt{2}$)……($\sqrt{n}-\sqrt{n-1}$)

⑤通過連續相等位移末速度比為1: $\sqrt{2}$: $\sqrt{3}$ …… \sqrt{n}

(6)勻減速直線運動至停可等效認為反方向初速為零的勻加速直線運動(先考慮減速至停的時間)。“剎車陷井”

實驗規律：

(7) 通過打點計時器在紙帶上打點(或頻閃照像法記錄在底片上)來研究物體的運動規律：此方法稱留跡法。

初速無論是否為零,只要是勻變速直線運動的質點,就具有下面兩個很重要的特點：

在連續相鄰相等時間間隔內的位移之差為一常數； $\Delta s = aT^2$ (判斷物體是否作勻變速運動的依據)。
中時刻的即時速度等於這段平均速度 (運用 \bar{V} 可快速求位移)

(1)是判斷物體是否作勻變速直線運動的方法。 $\Delta s = aT^2$

(2)求的方法 $V_N = \bar{V} = \frac{s}{t} = \frac{S_{N+1} + S_N}{2T}$ $v_{t/2} = v_{平} = \frac{v_0 + v_t}{2} = \frac{s}{t} = \frac{S_{n+1} + S_n}{2T}$

(3)求a方法： ① $\Delta s = aT^2$ ② $S_{N+3} - S_N = 3aT^2$ ③ $S_m - S_n = (m-n)aT^2$

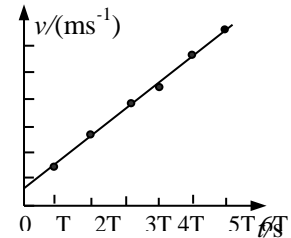
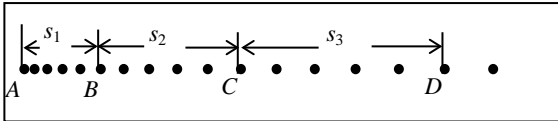
④畫出圖線根據各計數點的速度,圖線的斜率等於a;

識圖方法:一軸、二線、三斜率、四面積、五截距、六交點

探究勻變速直線運動實驗：

下圖為打點計時器打下的紙帶。選點跡清楚的一條，舍掉開始比較密集的点跡，從便於測量的地方取一個開始點 O ，然後每 5 個點取一個計數點 $A、B、C、D \dots$ 。（或相鄰兩計數點間

有四個點未畫出）測出相鄰計數點間的距離 $s_1、s_2、s_3 \dots$



利用打下的紙帶可以：

(1) 求任一計數點對應的即時速度 v ：如 $v_c = \frac{s_2 + s_3}{2T}$ (其中記數週期： $T=5 \times 0.02s=0.1s$)

(2) 利用上圖中任意相鄰的兩段位移求 a ：如 $a = \frac{s_3 - s_2}{T^2}$

(3) 利用“逐差法”求 a ： $a = \frac{(s_4 + s_5 + s_6) - (s_1 + s_2 + s_3)}{9T^2}$

(4) 利用 $v-t$ 圖像求 a ：求出 $A、B、C、D、E、F$ 各點的即時速度，畫出如圖的 $v-t$ 圖線，圖線的斜率就是加速度 a 。

注意：點 a. 打點計時器打的點還是人為選取的計數點
 距離 b. 紙帶的記錄方式，相鄰記數間的距離還是各點距第一個記數點的距離。
 紙帶上選定的各點分別對應的米尺上的刻度值，
 週期 c. 時間間隔與選計數點的方式有關
 (50Hz, 打點週期 0.02s, 常以打點的 5 個間隔作為一個記時單位) 即區分打點週期和記數週期。
 d. 注意單位。一般為 cm

試通過計算推導出的剎車距離 s 的運算式：說明公路旁書寫“嚴禁超載、超速及酒後駕車”以及“雨天路滑車輛減速行駛”的原理。

解：(1)、設在反應時間內，汽車勻速行駛的位移大小為 s_1 ；剎車後汽車做勻減速直線運動的位移大小為 s_2 ，加速度大小為 a 。由牛頓第二定律及運動學公式有：

$$\left\{ \begin{array}{l} s_1 = v_0 t_0 \dots\dots\dots < 1 > \\ a = \frac{F + \mu mg}{m} \dots\dots\dots < 2 > \\ v_0^2 = 2as_2 \dots\dots\dots < 3 > \\ s = s_1 + s_2 \dots\dots\dots < 4 > \end{array} \right.$$

由以上四式可得出：
$$s = v_0 t_0 + \frac{v_0^2}{2(\frac{F}{m} + \mu g)} \dots\dots\dots < 5 >$$

①超載 (即 m 增大)，車的慣性大，由 $< 5 >$ 式，在其他物理量不變的情況下剎車距離就會增長，遇緊急情況不能及時剎車、停車，危險性就會增加；

②同理超速 (v_0 增大)、酒後駕車 (t_0 變長) 也會使剎車距離就越長，容易發生事故；

③雨天道路較滑，動摩擦因數 μ 將減小，由<五>式，在其他物理量不變的情況下剎車距離就越長，汽車較難停下來。

因此為了提醒司機朋友在公路上行車安全，在公路旁設置“嚴禁超載、超速及酒後駕車”以及“雨天路滑車輛減速行駛”的警示牌是非常有必要的。

思維方法篇

1· 平均速度的求解及其方法應用

① 用定義式： $\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ 普遍適用於各種運動；② $\bar{v} = \frac{V_0 + V_t}{2}$ 只適用於加速度恒定的勻變速直線運動

2· 巧選參考系求解運動學問題

3· 追及和相遇或避免碰撞的問題的求解方法：

兩個關係和一個條件：1 兩個關係：時間關係和位移關係；2 一個條件：兩者速度相等，往往是物體間能否追上，或兩者距離最大、最小的臨界條件，是分析判斷的切入點。

關鍵：在於掌握兩個物體的位置座標及相對速度的特殊關係。

基本思路：分別對兩個物體研究，畫出運動過程示意圖，列出方程，找出時間、速度、位移的關係。解出結果，必要時進行討論。

追及條件：追者和被追者 v 相等是能否追上、兩者間的距離有極值、能否避免碰撞的臨界條件。

討論：

1. 勻減速運動物體追勻速直線運動物體。

① 兩者 v 相等時， $S_{\text{追}} < S_{\text{被追}}$ 永遠追不上，但此時兩者的距離有最小值

② 若 $S_{\text{追}} < S_{\text{被追}}$ 、 $V_{\text{追}} = V_{\text{被追}}$ 恰好追上，也是恰好避免碰撞的臨界條件。 $S_{\text{追}} = S_{\text{被追}}$

③ 若位移相等時， $V_{\text{追}} > V_{\text{被追}}$ 則還有一次被追上的機會，其間速度相等時，兩者距離有一個極大值

2. 初速為零勻加速直線運動物體追同向勻速直線運動物體

① 兩者速度相等時有最大的間距 ② 位移相等時即被追上

3. 勻速圓周運動物體：同向轉動： $\omega_A t_A = \omega_B t_B + n2\pi$ ；反向轉動： $\omega_A t_A + \omega_B t_B = 2\pi$

4· 利用運動的對稱性解題

5· 逆向思維法解題

6· 應用運動學圖像解題

7· 用比例法解題

8· 巧用勻變速直線運動的推論解題

① 某段時間內的平均速度 = 這段時間中時刻的即時速度

② 連續相等時間間隔內的位移差為一個恒量

③ 位移 = 平均速度 × 時間

解題常規方法：公式法(包括數學推導)、圖像法、比例法、極值法、逆向轉變法

3· 豎直上拋運動：(速度和時間的對稱)

分過程：上升過程勻減速直線運動，下落過程初速為 0 的勻加速直線運動。

全過程：是初速度為 V_0 加速度為 $-g$ 的勻減速直線運動。

(1) 上升最大高度： $H = \frac{V_0^2}{2g}$ (2) 上升的時間： $t = \frac{V_0}{g}$ (3) 從拋出到落回原位置的時間： $t = 2 \frac{V_0}{g}$

(4)上升、下落經過同一位置時的加速度相同，而速度等值反向

(5)上升、下落經過同一段位移的時間相等。

(6)勻變速運動適用全過程 $S = V_0 t - \frac{1}{2} g t^2$; $V_t = V_0 - g t$; $V_t^2 - V_0^2 = -2gS$ ($S \cdot V_t$ 的正、負號的理解)

4.勻速圓周運動

線速度: $V = \frac{s}{t} = \frac{2\pi R}{T} = \omega R = 2\pi f R$ 角速度: $\omega = \frac{\theta}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$

向心加速度: $a = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = \frac{4\pi^2}{T^2} R = 4\pi^2 f^2 R = \omega \times v$

向心力: $F = ma = m \frac{v^2}{R} = m \omega^2 R = m \frac{4\pi^2}{T^2} R = 4m\pi^2 n^2 R$

追及(相遇)相距最近的問題: 同向轉動: $\omega_A t_A = \omega_B t_B + n2\pi$; 反向轉動: $\omega_A t_A + \omega_B t_B = 2\pi$

注意: (1)勻速圓周運動的物體的向心力就是物體所受的合外力，總是指向圓心。

(2)衛星繞地球、行星繞太陽作勻速圓周運動的向心力由萬有引力提供。

(3)氫原子核外電子繞原子核作勻速圓周運動的向心力由原子核對核外電子的庫侖力提供。

5.平拋運動: 勻速直線運動和初速度為零的勻加速直線運動的合運動

(1)運動特點: a、只受重力; b、初速度與重力垂直。儘管其速度大小和方向時刻在改變，但其運動的加速度卻恒為重力加速度 g ，因而平拋運動是一個勻變速曲線運動。在任意相等時間內速度變化相等。

(2)平拋運動的處理方法: 平拋運動可分解為水平方向的勻速直線運動和豎直方向的自由落體運動。

水平方向和豎直方向的兩個分運動既具有獨立性又具有等時性。

(3)平拋運動的規律:

證明: 做平拋運動的物體，任意時刻速度的反向延長線一定經過此時沿拋出方向水平總位移的中點。

證: 平拋運動示意如圖

設初速度為 V_0 ，某時刻運動到A點，位置座標為 (x, y) ，所用時間為 t 。

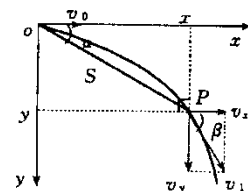
此時速度與水平方向的夾角為 β ，速度的反向延長線與水平軸的交點為 x' ，

位移與水平方向夾角為 α 。以物體的出發點為原點，沿水平和豎直方向建立座標。

依平拋規律有:

$$\text{速度: } \begin{cases} V_x = V_0 \\ V_y = gt \\ v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \end{cases}$$

$$\tan\beta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{gt}{V_0} = \frac{y}{x - x'} \quad \text{①}$$



$$\text{位移: } \begin{cases} S_x = V_0 t \\ S_y = \frac{1}{2} g t^2 \end{cases}$$

$$s = \sqrt{s_x^2 + s_y^2} \quad \tan \alpha = \frac{y}{x} = \frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0 t} = \frac{1}{2} \frac{gt}{v_0} \quad (2)$$

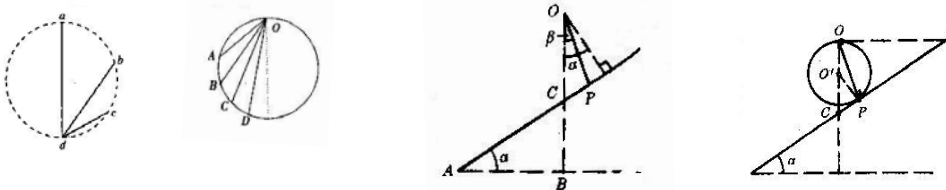
$$\text{由①②得：} \quad \tan \alpha = \frac{1}{2} \tan \beta \quad \text{即} \quad \frac{y}{x} = \frac{1}{2} \frac{y}{(x-x')} \quad (3)$$

$$\text{所以：} \quad x' = \frac{1}{2} x \quad (4)$$

④式說明：做平拋運動的物體，任意時刻速度的反向延長線一定經過此時沿拋出方向水總位移的中點。

“在豎直平面內的圓周，物體從頂點開始無初速地沿不同弦滑到圓周上所用時間都相等。”

一質點自傾角為 α 的斜面上方定點 O 沿光滑斜槽 OP 從靜止開始下滑，如圖所示。為了使質點在最短時間內從 O 點到達斜面，則斜槽與豎直方面的夾角 β 等於多少？



7.牛頓第二定律： $F_{\text{合}} = ma$ （是向量式） 或者 $\Sigma F_x = m a_x$ $\Sigma F_y = m a_y$

理解：(1)向量子 (2)暫態性 (3)獨立性 (4)同體性 (5)同系性 (6)同單位制

●力和運動的關係

- ①物體受合外力為零時，物體處於靜止或勻速直線運動狀態；
- ②物體所受合外力不為零時，產生加速度，物體做變速運動。
- ③若合外力恒定，則加速度大小、方向都保持不變，物體做勻變速運動，勻變速運動的軌跡可以是直線，也可以是曲線。
- ④物體所受恒力與速度方向處於同一直線時，物體做勻變速直線運動。
- ⑤根據力與速度同向或反向，可以進一步判定物體是做勻加速直線運動或勻減速直線運動；
- ⑥若物體所受恒力與速度方向成角度，物體做勻變速曲線運動。
- ⑦物體受到一個大小不變，方向始終與速度方向垂直的外力作用時，物體做勻速圓周運動。此時，外力僅改變速度的方向，不改變速度的大小。
- ⑧物體受到一個與位移方向相反的週期性外力作用時，物體做機械振動。

表 1 給出了幾種典型的運動形式的力學和運動學特徵。

表 1 几种典型的运动形式的力学和运动学特征

力的特征		运动学特征		运动形式	典型运动
合力 F	F 与 v ₀ 的夹角	加速度	速度		
为零		为零	保持不变	平衡状态	静止或匀速直线运动
恒力	0°	恒定	方向不变, 增加	匀速直线运动	匀加速直线运动
	180°	恒定	方向不变, 减少		匀减速直线运动
	90°	恒定	方向改变, 增加	匀变速曲线运动	平抛运动
	任意	恒定	大小, 方向都变		斜抛运动
变力	大小不变, 方向与 v 垂直	大小不变, 方向改变	大小不变, 方向改变	变速曲线运动	匀速圆周运动
	F=kx, x 为位移	周期性变化	周期性变化	变速直线运动	弹簧振子
				变速曲线运动	单摆

綜上所述: 判斷一個物體做什麼運動, 一看受什麼樣的力, 二看初速度與合外力方向的關係。力與運動的關係是基礎, 在此基礎上, 還要從功和能、衝量和動量的角度, 進一步討論運動規律。

8. 萬有引力及應用: 與牛二及運動學公式

1 思路和方法: ① 衛星或天體的運動看成勻速圓周運動, ② $F_{\text{心}} = F_{\text{萬}}$ (類似原子模型)

2 公式: $G \frac{Mm}{r^2} = ma_n$, 又 $a_n = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r$, 則 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$, $T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$

3 求中心天體的質量 M 和密度 ρ

$$\text{由 } G \frac{Mm}{r^2} = m\omega^2 r = m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r \Rightarrow M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2} \quad \left(\frac{r^3}{T^2} = \text{恒量}\right)$$

$$\rho = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{3\pi r^3}{GR^3 T^2} \quad (\text{當 } r=R \text{ 即近地衛星繞中心天體運行時}) \Rightarrow \rho = \frac{3\pi}{GT^2} \quad \rho = \frac{3\pi}{GT_{\text{近}}^2} = \frac{3\pi}{GT_{\text{遠}}^2} \left(\frac{R+h}{R}\right)^3$$

$$(M = \rho V_{\text{球}} = \rho \frac{4}{3}\pi r^3) \quad S_{\text{球面}} = 4\pi r^2 \quad s = \pi r^2 \quad (\text{光的垂直有效面接收, 球體推進輻射}) \quad S_{\text{球冠}} = 2\pi Rh$$

軌道上正常轉: $F_{\text{引}} = G \frac{Mm}{r^2} = F_{\text{心}} = m\mathbf{a}_{\text{心}} = m \frac{v^2}{R} = m\omega^2 R = m \frac{4\pi^2}{T^2} R = m4\pi^2 n^2 R$

地面附近: $G \frac{Mm}{R^2} = mg \Rightarrow GM = gR^2$ (黃金代換式) $mg = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow v = \sqrt{gR} = v_{\text{第一宇宙}} = 7.9 \text{ km/s}$

題目中常隱含: (地球表面重力加速度為 g); 這時可能要用到上式與其它方程聯立來求解。

軌道上正常轉: $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$

【討論】(v或 E_K)與r關係， $r_{\text{最小}}$ 時為地球半徑時， $v_{\text{第一宇宙}}=7.9\text{km/s}$ (最大的運行速度、最小的發射速度)；

$T_{\text{最小}}=84.8\text{min}=1.4\text{h}$

①沿圓軌道運動的衛星的幾個結論： $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$ ， $\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$ ， $T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$

②理解近地衛星：來歷、意義 萬有引力 \approx 重力=向心力、 $r_{\text{最小}}$ 時為地球半徑、

最大的運行速度= $v_{\text{第一宇宙}}=7.9\text{km/s}$ (最小的發射速度)； $T_{\text{最小}}=84.8\text{min}=1.4\text{h}$

③同步衛星幾個一定：三顆可實現全球通訊(南北極仍有盲區)

軌道為赤道平面... $T=24\text{h}=86400\text{s}$... 離地高 $h=3.56 \times 10^4\text{km}$ (為地球半徑的 5.6 倍)...

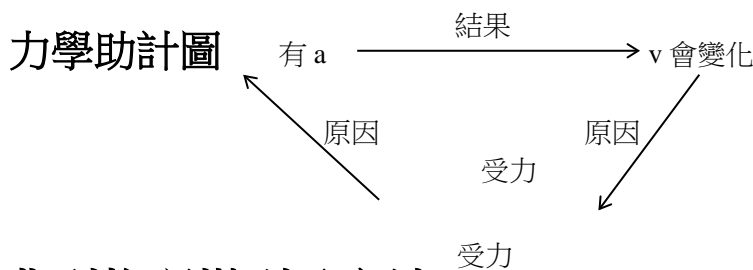
$v_{\text{同步}}=3.08\text{km/s} < v_{\text{第一宇宙}}=7.9\text{km/s}$... $\omega=15^\circ/\text{h}$ (地理上時區) $a=0.23\text{m/s}^2$

④運行速度與發射速度、變軌速度的區別

⑤衛星的能量： $r \uparrow \Rightarrow v \text{ 減小 } (E_K \text{ 減小 } < E_p \text{ 增加})$ ，所以 $E_{\text{總}} \text{ 增加}$ ；需克服引力做功越多，地面上需要的發射速度越大

⑦衛星在軌道上正常運行時處於完全失重狀態，與重力有關的實驗不能進行

⑥應該熟記常識：地球公轉週期 1 年，自轉週期 1 天=24 小時=86400s，地球表面半徑 $6.4 \times 10^3\text{km}$ 表面重力加速度 $g=9.8 \text{m/s}^2$ 月球公轉週期 30 天



● 典型物理模型及方法

◆1. 連接體模型：是指運動中幾個物體或疊放在一起、或並排擠放在一起、或用細繩、細杆聯繫在一起的物體組。解決這類問題的基本方法是整體法和隔離法。

整體法是指連接體內的物體間無相對運動時，可以把物體組作為整體，對整體用牛二定律列方程

隔離法是指在需要求連接體內各部分間的相互作用(如求相互間的壓力或相互間的摩擦力等)時，把某物體從連接體中隔離出來進行分析的方法。

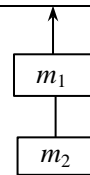
連接體的圓周運動：兩球有相同的角速度；兩球構成的系統機械能守恆(單個球機械能不守恆)

與運動方向和有無摩擦(μ 相同)無關，及與兩物體放置的方式都無關。

平面、斜面、豎直都一樣。只要兩物體保持相對靜止

記住： $N = \frac{m_2 F_1 + m_1 F_2}{m_1 + m_2}$ (N 為兩物體間相互作用力)，

一起加速運動的物體的分子 $m_1 F_2$ 和 $m_2 F_1$ 兩項的規律並能應用 $\Rightarrow N = \frac{m_2}{m_1 + m_2} F$

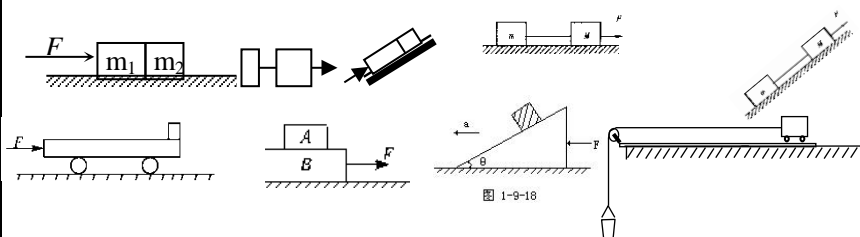


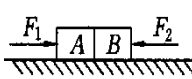
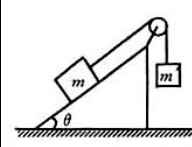
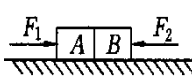
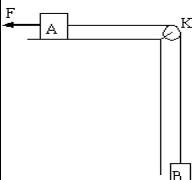
討論：① $F_1 \neq 0$ ； $F_2 = 0$

$F = (m_1 + m_2)a$ $N =$

$N = m_2 a$

$\frac{m_2}{m_1 + m_2} F$



② $F_1 \neq 0; F_2 \neq 0$ $N = \frac{m_2 F_1 + m_1 F_2}{m_1 + m_2}$ ($F_2 = 0$ 就是上面的情況) 	$F = \frac{m_1(m_2 g) + m_2(m_1 g)}{m_1 + m_2}$	
	$F = \frac{m_1(m_2 g) + m_2(m_1 g \sin \theta)}{m_1 + m_2}$	
	$F = \frac{m_A(m_B g) + m_B F}{m_1 + m_2}$	

$F_1 > F_2$ $m_1 > m_2$ $N_1 < N_2$ (為什麼)

$N_{5 \text{ 對 } 6} = \frac{m}{M} F$ (m 為第 6 個以後的質量) 第 12 對 13 的作用力 $N_{12 \text{ 對 } 13} = \frac{(n-12)m}{nm} F$

◆2. 水流星模型(豎直平面內的圓周運動——是典型的變速圓周運動)

研究物體通過最高點和最低點的情況，並且經常出現臨界狀態。(圓周運動實例)

- ① 火車轉彎
- ② 汽車過拱橋、凹橋。
- ③ 飛機做俯衝運動時，飛行員對座位的壓力。
- ④ 物體在水平面內的圓周運動(汽車在水平公路轉彎，水平轉盤上的物體，繩拴著的物體在光滑水平面上繞繩的一端旋轉)和物體在豎直平面內的圓周運動(翻滾過山車、水流星、雜技節目中的飛車走壁等)。
- ⑤ 萬有引力——衛星的運動、庫侖力——電子繞核旋轉、洛侖茲力——帶電粒子在勻強磁場中的偏轉、重力與彈力的合力——錐擺、(關鍵要搞清楚向心力怎樣提供的)

(1) 火車轉彎：設火車彎道處內外軌高度差為 h ，內外軌間距 L ，轉彎半徑 R 。由於外軌略高於內軌，使得火車所受重力和支援力的合力 $F_{\text{合}}$ 提供向心力。

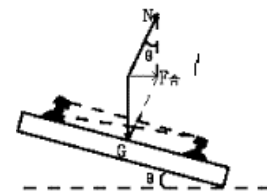
由 $F_{\text{合}} = mg \tan \theta \approx mg \sin \theta = mg \frac{h}{L} = m \frac{v_0^2}{R}$ 得 $v_0 = \sqrt{\frac{Rgh}{L}}$ (v_0 為轉彎時規定速度) $v_0 = \sqrt{g \tan \theta \times R}$

(是內外軌對火車都無摩擦力的臨界條件)

① 當火車行駛速率 V 等於 V_0 時， $F_{\text{合}} = F_{\text{向}}$ ，內外軌道對輪緣都沒有側壓力

② 當火車行駛 V 大於 V_0 時， $F_{\text{合}} < F_{\text{向}}$ ，外軌道對輪緣有側壓力， $F_{\text{合}} + N = m \frac{v^2}{R}$

③ 當火車行駛速率 V 小於 V_0 時， $F_{\text{合}} > F_{\text{向}}$ ，內軌道對輪緣有側壓力， $F_{\text{合}} - N' = m \frac{v^2}{R}$



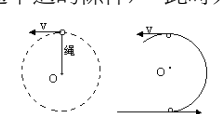
即當火車轉彎時行駛速率不等於 V_0 時，其向心力的變化可由內外軌道對輪緣側壓力自行調節，但調節程度不宜過大，以免損壞軌道。火車提速靠增大軌道半徑或傾角來實現

(2) 無支承的小球，在豎直平面內作圓周運動過最高點情況：

受力：由 $mg + T = mv^2/L$ 知，小球速度越小，繩拉力或環壓力 T 越小，但 T 的最小值只能為零，此時小球以重力提供作向心力。

結論：通過最高點時繩子(或軌道)對小球沒有力的作用(可理解為恰好通過或恰好通不過的條件)，此時只有重力提供作向心力。注意討論：繩系小球從最高點拋出做圓周還是平拋運動。

能過最高點條件： $V \geq V_{\text{臨}}$ (當 $V \geq V_{\text{臨}}$ 時，繩、軌道對球分別產生拉力、壓力)



不能過最高點條件： $v < v_{臨}$ (實際上球還未到最高點就脫離了軌道)

討論：① 恰能通過最高點時： $mg = m \frac{v_{臨}^2}{R}$ ，臨界速度 $v_{臨} = \sqrt{gR}$ ；

可認為距此點 $h = \frac{R}{2}$ (或距圓的最低點) $h = \frac{5R}{2}$ 處落下的物體。



☆此時最低點需要的速度為 $v_{低臨} = \sqrt{5gR}$ ☆最低點拉力大於最高點拉力 $\Delta F = 6mg$

② 最高點狀態： $mg + T_1 = m \frac{v_{高}^2}{L}$ (臨界條件 $T_1 = 0$ ，臨界速度 $v_{臨} = \sqrt{gR}$ ， $v \geq v_{臨}$ 才能通過)

最低點狀態： $T_2 - mg = m \frac{v_{低}^2}{L}$ 高到低過程機械能守恆： $\frac{1}{2} m v_{低}^2 = \frac{1}{2} m v_{高}^2 + mg2L$

$T_2 - T_1 = 6mg$ (g可看為等效加速度)

② 半圓：過程 $mgR = \frac{1}{2} m v^2$ 最低點 $T - mg = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow$ 繩上拉力 $T = 3mg$ ；過最低點的速度為 $v_{低} = \sqrt{2gR}$

小球在與懸點等高處靜止釋放運動到最低點，最低點時的向心加速度 $a = 2g$

③ 與豎直方向成 θ 角下擺時，過最低點的速度為 $v_{低} = \sqrt{2gR(1 - \cos\theta)}$ ，

此時繩子拉力 $T = mg(3 - 2\cos\theta)$

(3) 有支承的小球，在豎直平面作圓周運動過最高點情況：

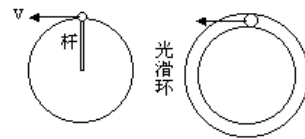
① 臨界條件：杆和環對小球有支持力的作用 (由 $mg - N = m \frac{U^2}{R}$ 知)

當 $v = 0$ 時， $N = mg$ (可理解為小球恰好轉過或恰好轉不過最高點)

② 當 $0 < v < \sqrt{gR}$ 時，支持力 N 向上且隨 v 增大而減小，且 $mg > N > 0$

③ 當 $v = \sqrt{gR}$ 時， $N = 0$

④ 當 $v > \sqrt{gR}$ 時， N 向下 (即拉力) 隨 v 增大而增大，方向指向圓心。



當小球運動到最高點時，速度 $v < \sqrt{gR}$ 時，受到杆的作用力 N (支持) 但 $N < mg$ ，(力的大小用有向線段長短表示)

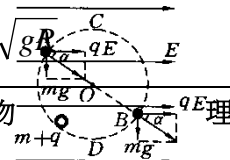
當小球運動到最高點時，速度 $v = \sqrt{gR}$ 時，杆對小球無作用力 $N = 0$

當小球運動到最高點時，速度 $v > \sqrt{gR}$ 時，小球受到杆的拉力 N 作用

恰好過最高點時，此時從高到低過程 $mg2R = \frac{1}{2} m v^2$

低點： $T - mg = m v^2 / R \Rightarrow T = 5mg$ ；恰好過最高點時，此時最低點速度： $v_{低} = 2\sqrt{gR}$

注意物理圓與幾何圓的最高點、最低點的區別：(以上規律適用於物圓，但最高點，最低點，g 都應看成等效的情況)



2. 解決勻速圓周運動問題的一般方法

(1) 明確研究物件，必要時將它從轉動系統中隔離出來。

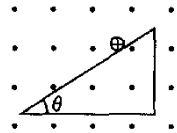
(2) 找出物體圓周運動的軌道平面，從中找出圓心和半徑。

- (3) 分析物體受力情況，千萬別臆想出一個向心力來。
 (4) 建立直角坐標系（以指向圓心方向為 x 軸正方向）將力正交分解。

(5) 建立方程組
$$\begin{cases} \Sigma F_x = m \frac{v^2}{R} = m \omega^2 R = m \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 R \\ \Sigma F_y = 0 \end{cases}$$

3 · 離心運動

在向心力公式 $F_n = mv^2/R$ 中， F_n 是物體所受合外力所能提供的向心力， mv^2/R 是物體作圓周運動所需要的向心力。當提供的向心力等於所需要的向心力時，物體將作圓周運動；若提供的向心力消失或小於所需要的向心力時，物體將做逐漸遠離圓心的運動，即離心運動。其中提供的向心力消失時，物體將沿切線飛去，離圓心越來越遠；提供的向心力小於所需要的向心力時，物體不會沿切線飛去，但沿切線和圓周之間的某條曲線運動，逐漸遠離圓心。

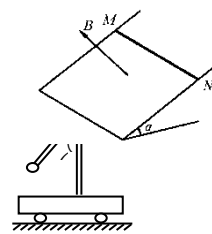
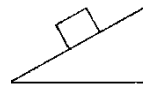


◆3 斜面模型（理清物體對斜面壓力為零的臨界條件）

斜面固定：物體在斜面上情況由傾角和摩擦因素決定

$\mu = \tan \theta$ 物體沿斜面勻速下滑或靜止 $\mu > \tan \theta$ 物體靜止於斜面

$\mu < \tan \theta$ 物體沿斜面加速下滑 $a = g(\sin \theta - \mu \cos \theta)$

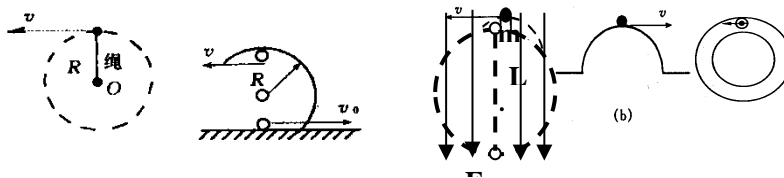


◆4 · 輕繩、杆模型

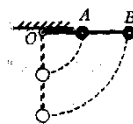
繩只能受拉力，杆能沿杆方向的拉、壓、橫向及任意方向的力。

如圖：杆對球的作用力由運動情況決定只有 $\theta = \arctan(\frac{a}{g})$ 時才沿杆方向

最高點時杆對球的作用力；最低點時的速度？，杆的拉力？ 若小球帶電呢？

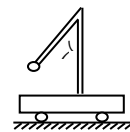


假設單B下擺，最低點的速度 $V_B = \sqrt{2gR} \leftarrow mgR = \frac{1}{2}mv_B^2$



整體下擺 $2mgR = mg \frac{R}{2} + \frac{1}{2}mv_A^2 + \frac{1}{2}mv_B^2$

$V_B' = 2V_A' \Rightarrow V_A' = \sqrt{\frac{3}{5}gR} ; V_B' = 2V_A' = \sqrt{\frac{6}{5}2gR} > V_B = \sqrt{2gR}$



所以 AB 杆對 B 做正功，AB 杆對 A 做負功

◆ · 通過輕繩連接的物體

① 在沿繩連接方向(可直可曲)，具有共同的 v 和 a 。

特別注意：兩物體不在沿繩連接方向運動時，先應把兩物體的 v 和 a 在沿繩方向分解，求出兩物體的 v 和 a 的關係式，

② 被拉直瞬間，沿繩方向的速度突然消失，此瞬間過程存在能量的損失。

討論：若作圓周運動最高點速度 $V_0 < \sqrt{gR}$ ，運動情況為先平拋，繩拉直時沿繩方向的速度消失

即是有能量損失，繩拉緊後沿圓周下落機械能守恆。而不能夠整個過程用機械能守恆。

求水平初速及最低點時繩的拉力？

換為繩時：先自由落體，在繩瞬間拉緊(沿繩方向的速度消失)有能量損失(即 v_1 突然消失)，再 v_2 下擺機械能守恆

例：擺球的質量為 m ，從偏離水平方向 30° 的位置由靜釋放，設繩子為理想輕繩，求：小球運動到最低點 A 時繩子受到的拉力是多少？

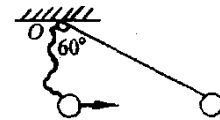
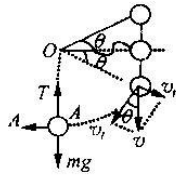
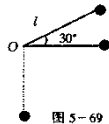
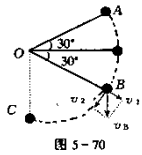


圖 4-1

◆5. 超重失重模型

系統的重心在豎直方向上有向上或向下的加速度(或此方向的分量 a_y)

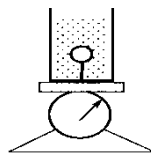
向上超重(加速向上或減速向下) $F=m(g+a)$ ；向下失重(加速向下或減速上升) $F=m(g-a)$

難點：一個物體的運動導致系統重心的運動

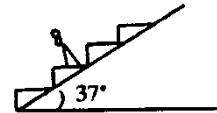
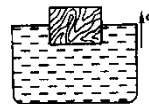
1 到 2 到 3 過程中

(1、3 除外)超重狀態

繩剪斷後台稱示數
系統重心向下加速



鐵木球的運動
用同體積的水去補充



斜面對地面的壓力？
地面對斜面摩擦力？
導致系統重心如何運動？

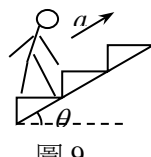
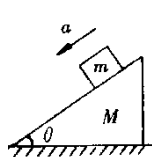
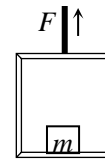
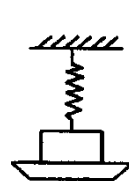


圖 9



◆6. 碰撞模型：

兩個相當重要典型的物理模型，後面的動量守恆中專題講解

◆7. 子彈打擊木塊模型：

◆8. 人船模型：

一個原來處於靜止狀態的系統，在系統內發生相對運動的過程中，

在此方向遵從①動量守恆方程： $mv=MV$ ； $ms=MS$ ；②位移關係方程 $s+S=d \Rightarrow s=\frac{M}{m+M}d$ $M/m=L_n/L_u$

載人氣球原靜止于高 h 的高空，氣球質量為 M ，人的質量為 m 。若人沿繩梯滑至地面，則繩梯至少為多長？

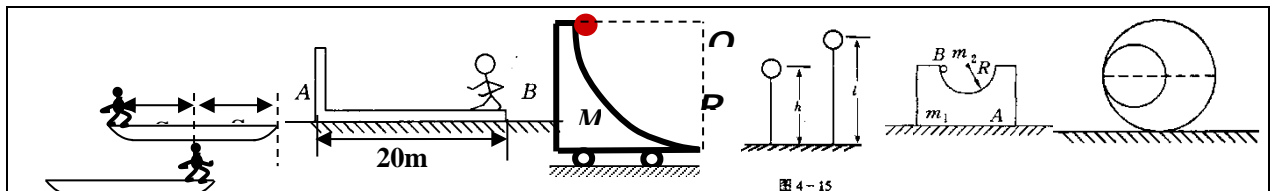


圖 4-15

◆9. 彈簧振子模型： $F=-Kx$ (X 、 F 、 a 、 v 、 A 、 T 、 f 、 E_k 、 E_p 等量的變化規律) 水平型或豎直型

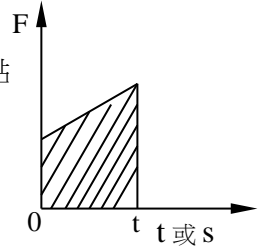
◆10. 單擺模型： $T=2\pi\sqrt{l/g}$ (類單擺) 利用單擺測重力加速度

◆11. 波動模型：特點：傳播的是振動形式和能量，介質中各質點只在平衡位置附近振動並不隨波遷移。

- ①各質點都作受迫振動，
- ②起振方向與振源的起振方向相同，
- ③離源近的点先振動，
- ④沒波傳播方向上兩点的起振時間差=波在這段距離內傳播的時間
- ⑤波源振幾個週期波就向外傳幾個波長。
- ⑥波從一種介質傳播到另一種介質，頻率不改變，波速 $v=s/t=\lambda/T=\lambda f$

波速與振動速度的區別 波動與振動的區別：波的傳播方向 \leftrightarrow 質點的振動方向（同側法）

知波速和波形畫經過 Δt 後的波形（特殊點畫法和去整留零法）



◆12. 圖像模型：識圖方法：一軸、二線、三斜率、四面積、五截距、六交點

明確：點、線、面積、斜率、截距、交點的含義

中學物理中重要的圖像

- (1)運動學中的 $s-t$ 圖、 $v-t$ 圖、振動圖像 $x-t$ 圖以及波動圖像 $y-x$ 圖等。
- (2)電學中的電場線分佈圖、磁感線分佈圖、等勢面分佈圖、交流電圖像、電磁振盪 $i-t$ 圖等。
- (3)實驗中的圖像：如驗證牛頓第二定律時要用到 $a-F$ 圖像、 $F-1/m$ 圖像；用“伏安法”測電阻時要畫 $I-U$ 圖像；測電源電動勢和內電阻時要畫 $U-I$ 圖；用單擺測重力加速度時要畫的圖等。
- (4)在各類習題中出現的圖像：如力學中的 $F-t$ 圖、電磁振盪中的 $q-t$ 圖、電學中的 $P-R$ 圖、電磁感應中的 $\Phi-t$ 圖、 $E-t$ 圖等。

●模型法常常有下面三種情況

(1)“物件模型”：即把研究的物件的本身理想化，用來代替由具體物質組成的、代表研究物件的實體系統，稱為物件模型（也可稱為概念模型），

實際物體在某種條件下的近似與抽象，如質點、光滑平面、理想氣體、理想電錶等；

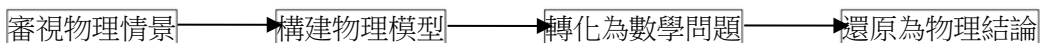
常見的如“力學”中有質點、點電荷、輕繩或杆、輕質彈簧、單擺、彈簧振子、彈性體、絕熱物質等；

(2)條件模型：把研究物件所處的外部條件理想化，排除外部條件中干擾研究物件運動變化的次要因素，突出外部條件的本質特徵或最主要的方面，從而建立的物理模型稱為條件模型。

(3)過程模型：把具體過程純粹化、理想化後抽象出來的一種物理過程，稱過程模型。理想化了的物理現象或過程，如勻速直線運動、自由落體運動、豎直上拋運動、平拋運動、勻速圓周運動、簡諧運動等。

有些題目所設物理模型是不清晰的，不宜直接處理，但只要抓住問題的主要因素，忽略次要因素，恰當的將複雜的物件或過程向隱含的理想化模型轉化，就能使問題得以解決。

解決物理問題的一般方法可歸納為以下幾個環節：



原始的物理模型可分為如下兩類：

- 物件模型（質點、輕杆、輕繩、彈簧振子、單擺、理想氣體、點電荷、理想電錶、理想變壓器、勻強電場、勻強磁場、點光源、光線、原子模型等）
- 過程模型（勻速直線運動、勻變速直線運動、勻速圓周運動、平拋運動、簡諧運動、等速法、理想磁棒、向上拋體運動、豎直上拋運動等）

物理解題方法：如整體法、假設法、極限法、逆向思維法、物理模型法、等效法、物理圖像法等。

● 知識分類舉要

1. 力的三種效應

- 力的暫態性 (產生 a) $F=ma$ 、 \Rightarrow 運動狀態發生變化 \Rightarrow 牛頓第二定律
- 時間積累效應(衝量) $I=Ft$ 、 \Rightarrow 動量發生變化 \Rightarrow 動量定理
- 空間積累效應(做功) $w=Fs$ \Rightarrow 動能發生變化 \Rightarrow 動能定理

2. 動量觀點：動量(狀態量)： $p=mv=\sqrt{2mE_K}$ 衝量(過程量)： $I=Ft$

動量定理：內容：物體所受合外力的衝量等於它的動量的變化。

公式： $F_{\text{合}}t = mv' - mv$ (解題時受力分析和正方向的規定是關鍵)

$$I = F_{\text{合}}t = F_1t_1 + F_2t_2 + \dots = \Delta p = P_{\text{末}} - P_{\text{初}} = mv_{\text{末}} - mv_{\text{初}}$$

動量守恆定律：內容、守恆條件、不同的運算式及含義： $p = p'$ ； $\Delta p = 0$ ； $\Delta p_1 = -\Delta p_2$

內容：相互作用的物體系統，如果不受外力，或它們所受的外力之和為零，它們的總動量保持不變。

(研究物件：相互作用的兩個物體或多個物體所組成的系統)

守恆條件：①系統不受外力作用。(理想化條件)

②系統受外力作用，但合外力為零。

③系統受外力作用，合外力也不為零，但合外力遠小於物體間的相互作用力。

④系統在某一個方向的合外力為零，在這個方向的動量守恆。

⑤全過程的某一階段系統受合外力為零，該階段系統動量守恆。

即：原來連在一起的系統勻速或靜止(受合外力為零)，分開後整體在某階段受合外力仍為零，可用動量守恆。

例：火車在某一恒定牽引力作用下拖著拖車勻速前進，拖車在脫勾後至停止運動前的過程中(受合外力為零)動量守恆

“動量守恆定律”、“動量定理”不僅適用於短時間的作用，也適用於長時間的作用。

不同的運算式及含義(各種運算式的中文含義)：

$$P = P' \quad \text{或} \quad P_1 + P_2 = P_1' + P_2' \quad \text{或} \quad m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2'$$

(系統相互作用前的總動量 P 等於相互作用後的總動量 P')

$$\Delta P = 0 \quad (\text{系統總動量變化為 } 0)$$

$$\Delta P = -\Delta P' \quad (\text{兩物體動量變化大小相等、方向相反})$$

如果相互作用的系統由兩個物體構成，動量守恆的實際應用中的具體運算式為

$$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2' ; \quad 0 = m_1v_1 + m_2v_2 \quad m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)v_{\text{共}}$$

原來以動量(P)運動的物體，若其獲得大小相等、方向相反的動量($-P$)，是導致物體靜止或反向運動的臨界條件。即： $P + (-P) = 0$

注意理解四性：系統性、向量性、同時性、相對性

系統性：研究物件是某個系統、研究的是某個過程

向量性：對一維情況，先選定某一方向為正方向，速度方向與正方向相同的速度取正，反之取負，

再把向量運算簡化為代數運算。引入正負號轉化為代數運算。不注意正方向的設定，往往得出錯誤結果。一旦方向搞錯，問題不得其解

相對性：所有速度必須是相對同一慣性參照系。

同時性： v_1 、 v_2 是相互作用前同一時刻的速度， v_1' 、 v_2' 是相互作用後同一時刻的速度。

解題步驟：選物件，劃過程，受力分析。所選物件和過程符合什麼規律？用何種形式列方程（先要規定正方向）求解並討論結果。

動量定理說的是物體動量的變化量跟總衝量的向量相等關係：

動量守恆定律說的是存在內部相互作用的物體系統在作用前後或作用過程中各物體動量的向量和保持不變的關係。

◆7·碰撞模型和◆8子彈打擊木塊模型專題：

碰撞特點①動量守恆 ②碰後的動能不可能比碰前大 ③對追及碰撞，碰後面物體的速度不可能大於前面物體的速度。

◆彈性碰撞：彈性碰撞應同時滿足：

$$\begin{cases} m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2' & (1) \\ \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2 & (2) \end{cases} \quad \begin{cases} \sqrt{2m_1 E_{k1}} + \sqrt{2m_2 E_{k2}} = \sqrt{2m_1 E_{k1}'} + \sqrt{2m_2 E_{k2}'} \\ \frac{p_1^2}{2m_1} + \frac{p_2^2}{2m_2} = \frac{p_1'^2}{2m_1} + \frac{p_2'^2}{2m_2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} v_1' = \frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2 v_2}{m_1 + m_2} \\ v_2' = \frac{(m_2 - m_1)v_2 + 2m_1 v_1}{m_1 + m_2} \end{cases} \quad \text{當 } m_2 v_2 = 0 \text{ 時} \quad \begin{cases} v_1' = \frac{(m_1 - m_2)v_1}{m_1 + m_2} \\ v_2' = \frac{2m_1 v_1}{m_1 + m_2} \end{cases}$$

（這個結論最好背下來，以後經常要用到。）

討論：①一動一靜且二球質量相等時的彈性正碰：**速度交換**

②大碰小一起向前；質量相等，速度交換；小碰大，向後返。

③原來以動量(P)運動的物體，若其獲得等大反向的動量時，是導致物體靜止或反向運動的臨界條件。

◆“一動一靜”彈性碰撞規律：即 $m_2 v_2 = 0$ ； $\frac{1}{2} m_2 v_2^2 = 0$ 代入(1)、(2)式

$$\text{解得：} v_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1 \quad (\text{主動球速度下限}) \quad v_2' = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1 \quad (\text{被碰球速度上限})$$

討論(1)：

當 $m_1 > m_2$ 時， $v_1' > 0$ ， $v_2' > 0$ v_1' 與 v_1 方向一致；當 $m_1 \gg m_2$ 時， $v_1' \approx v_1$ ， $v_2' \approx 2v_1$ （高射炮打蚊子）

當 $m_1 = m_2$ 時， $v_1' = 0$ ， $v_2' = v_1$ 即 m_1 與 m_2 交換速度

當 $m_1 < m_2$ 時， $v_1' < 0$ （反彈）， $v_2' > 0$ v_2' 與 v_1 同向；當 $m_1 \ll m_2$ 時， $v_1' \approx -v_1$ ， $v_2' \approx 0$ （乒乓球撞鉛球）

討論(2)：被碰球2獲最大速度、最大動量、最大動能的條件為

A. 初速度 v_1 一定，當 $m_1 \gg m_2$ 時， $v_2' \approx 2v_1$

B. 初動量 p_1 一定，由 $p_2' = m_2 v_2' = \frac{2m_1 m_2 v_1}{m_1 + m_2} = \frac{2m_1 v_1}{\frac{m_1}{m_2} + 1}$ ，可見，當 $m_1 \ll m_2$ 時， $p_2' \approx 2m_1 v_1 = 2p_1$

C. 初動能 E_{k1} 一定，當 $m_1 = m_2$ 時， $E_{k2}' = E_{k1}$

◆完全非彈性碰撞應滿足：

$$\begin{cases} m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v' \\ v' = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} \end{cases}$$

$$E_{\text{損}} = \frac{1}{2}m_1v_1 + \frac{1}{2}m_2v_2 - \frac{1}{2}(m_1+m_2)v'^2 = \frac{1}{2} \frac{m_1m_2(v_1-v_2)^2}{m_1+m_2}$$

◆一動一靜的完全非彈性碰撞（子彈打擊木塊模型）是高中物理的重點。

特點：碰後有共同速度，或兩者的距離最大(最小)或系統的勢能最大等等多種說法。

$$m_1v_1 + 0 = (m_1 + m_2)v' \quad v' = \frac{m_1v_1}{m_1 + m_2} \quad (\text{主動球速度上限, 被碰球速度下限})$$

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2 + 0 = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v'^2 + E_{\text{損}}$$

$$E_{\text{損}} = \frac{1}{2}m_1v_1^2 - \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v'^2 = \frac{m_1m_2v_1^2}{2(m_1 + m_2)} = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \frac{1}{2}m_1v_1^2 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} E_{k1}$$

討論：

① $E_{\text{損}}$ 可用於克服相對運動時的摩擦力做功轉化為內能

$$E_{\text{損}} = f d_{\text{相}} = \mu mg d_{\text{相}} = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}(m+M)v^2 = \frac{mMv_0^2}{2(m+M)} \Rightarrow d_{\text{相}} = \frac{mMv_0^2}{2(m+M)f} = \frac{mMv_0^2}{2\mu g(m+M)}$$

② 也可轉化為彈性勢能；

③ 轉化為電勢能、電能發熱等等；（通過電場力或安培力做功）

由上可討論主動球、被碰球的速度取值範圍

$$\frac{(m_1 - m_2)v_1}{m_1 + m_2} < v_{\text{主}} < \frac{m_1v_0}{m_1 + m_2} \quad \frac{m_1v_0}{m_1 + m_2} < v_{\text{被}} < \frac{2m_1v_1}{m_1 + m_2}$$

“碰撞過程”中四個有用推論

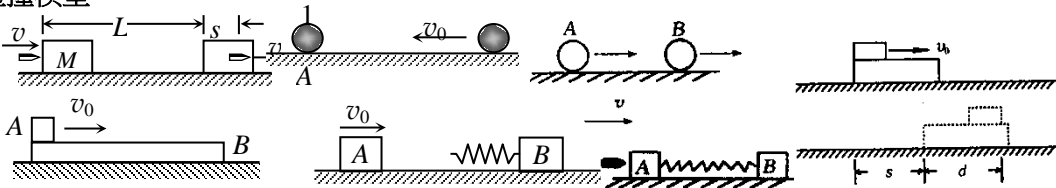
推論一：彈性碰撞前、後，雙方的相對速度大小相等，即： $u_2 - u_1 = v_1 - v_2$

推論二：當質量相等的兩物體發生彈性正碰時，速度互換。

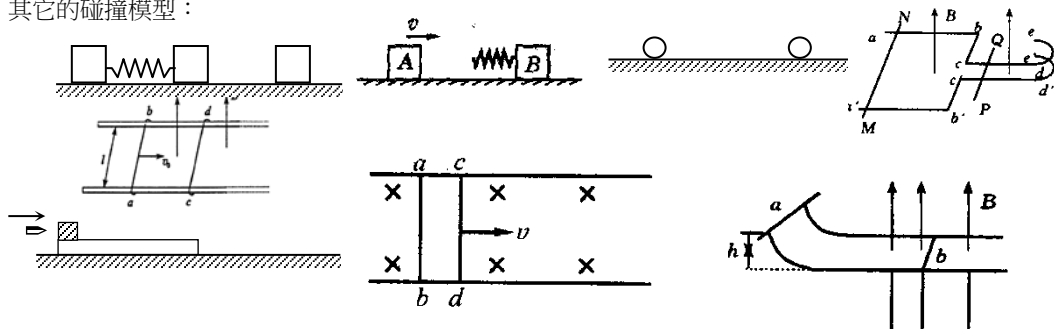
推論三：完全非彈性碰撞碰後的速度相等

推論四：碰撞過程受(動量守恆)(能量不會增加)和(運動的合理性)三個條件的制約。

碰撞模型



其它的碰撞模型：



證明：完全非彈性碰撞過程中機械能損失最大。

證明：碰撞過程中機械能損失表為：
$$\Delta E = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 - \frac{1}{2} m_1 u_1^2 - \frac{1}{2} m_2 u_2^2$$

由動量守恆的運算式中得：
$$u_2 = \frac{1}{m_2} (m_1 v_1 + m_2 v_2 - m_1 u_1)$$

代入上式可將機械能的損失 ΔE 表為 u_1 的函數為：

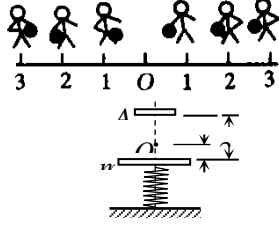
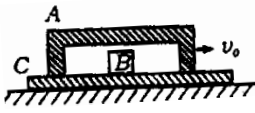
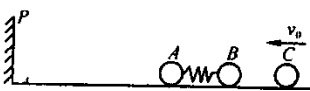
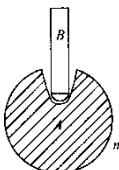
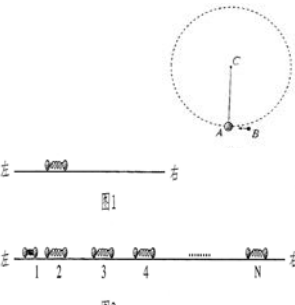
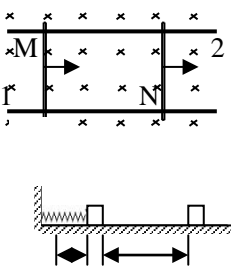
$$\Delta E = -\frac{m_1(m_1+m_2)}{2m_2} u_1^2 - \frac{m_1(m_1 v_1 + m_2 v_2)}{m_2} u_1 + \left[\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 - \frac{1}{2m_2} (m_1 v_1 + m_2 v_2)^2 \right]$$

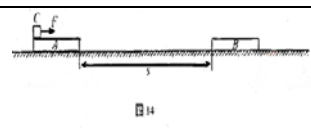
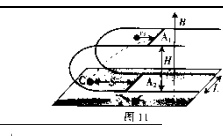
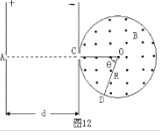
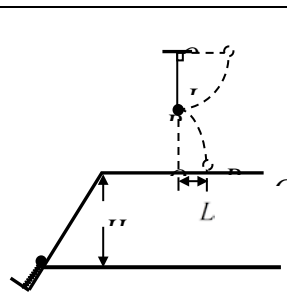
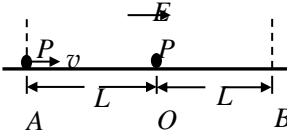
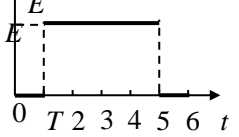
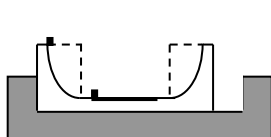
這是一個二次項係數小於零的二次三項式，顯然：當 $u_1 = u_2 = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}$ 時，

即當碰撞是完全非彈性碰撞時，系統機械能的損失達到最大值

$$\Delta E_m = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 - \frac{1}{2} (m_1 + m_2) \left(\frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} \right)^2$$

歷年高考中涉及動量守恆模型的計算題都有：(對照圖表)

<p>一質量為M的長木板靜止在光滑水平桌面上。一質量為m的小滑塊以水平速度v_0從長木板的一端開始在木板上滑動，直到離開木板。滑塊剛離開木板時速度為$V_0/3$，若把此木板固定在水平面上，其它條件相同，求滑塊離開木板時速度？</p>		
<p>1996 年全國廣東(24 題)</p>	<p>1995 年全國廣東(30 題壓軸題) 1997 年全國廣東(25 題軸題 12 分)</p>	<p>1998 年全國廣東(25 題軸題 12 分)</p>
<p>試在下述簡化情況下由牛頓定律匯出動量守恆定律的運算式：系統是兩個質點，相互作用力是恒力，不受其他力，沿直線運動要求說明推導過程中每步的根據，以及式中各符號和最後結果中各項的意義。</p>		<p>質量為M的小船以速度V_0行駛，船上有兩個質量皆為m的小孩a和b，分別靜止站在船頭和船尾。現小孩a沿水平方向以速率v(相對於靜止水面)向前躍入水中，</p>
<p>1999 年全國廣東(20 題 12 分)</p>	<p>2000 年全國廣東(22 壓軸題)</p>	<p>2001 年廣東河南(17 題 12 分)</p>
		

2002 年廣東(19 題)	2003 年廣東(19、20 題)	2004 年廣東(15、17 題)
	 	
2005 年廣東(18 題)	2006 年廣東(16、18 題)	2007 年廣東(17 題)
		
() 2008 年廣東(19 題、第 20 題)		

子彈打木塊模型：物理學中最为典型的碰撞模型（一定要掌握）

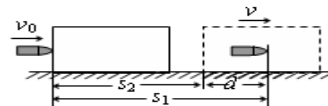
子彈擊穿木塊時，兩者速度不相等；子彈未擊穿木塊時，兩者速度相等。這兩種情況的臨界情況是：當子彈從木塊一端到達另一端，相對木塊運動的位移等於木塊長度時，兩者速度相等。

例題：設質量為 m 的子彈以初速度 v_0 射向靜止在光滑水平面上的質量為 M 的木塊，並留在木塊中不再射出，子彈鑽入木塊深度為 d 。求木塊對子彈的平均阻力的大小和該過程中木塊前進的距離。

解析：子彈和木塊最後共同運動，相當於完全非彈性碰撞。

從動量的角度看，子彈射入木塊過程中系統動量守恆：

$$mv_0 = (M + m)v$$



從能量的角度看，該過程系統損失的動能全部轉化為系統的內能。設平均阻力大小為 f ，設子彈、木塊的位移大小分別為 s_1 、 s_2 ，如圖所示，顯然有 $s_1 - s_2 = d$

對子彈用動能定理： $f \cdot s_1 = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv^2$ ①

對木塊用動能定理： $f \cdot s_2 = \frac{1}{2}Mv^2$ ②

①、②相減得： $f \cdot d = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}(M + m)v^2 = \frac{Mm}{2(M + m)}v_0^2$ ③

③式意義： $f \cdot d$ 恰好等於系統動能的損失；根據能量守恆定律，系統動能的損失應該等於系統內能的增加；可見 $f \cdot d = Q$ ，即兩物體由於相對運動而摩擦產生的熱（機械能轉化為內能），等於摩擦力大小與兩物體相對滑動的路程的乘積（由於摩擦力是耗散力，摩擦生熱跟路徑有關，所以這裡應該用路程，而不是用位移）。

由上式不難求得平均阻力的大小： $f = \frac{Mmv_0^2}{2(M+m)d}$

至於木塊前進的距離 s_2 ，可以由以上②、③相比得出： $s_2 = \frac{m}{M+m}d$

從牛頓運動定律和運動學公式出發，也可以得出同樣的結論。試試推理。

由於子彈和木塊都在恒力作用下做勻變速運動，位移與平均速度成正比：

$$\frac{s_2 + d}{s_2} = \frac{(v_0 + v)/2}{v/2} = \frac{v_0 + v}{v}, \therefore \frac{d}{s_2} = \frac{v_0}{v} = \frac{M+m}{m}, s_2 = \frac{m}{M+m}d$$

一般情況下 $M \gg m$ ，所以 $s_2 \ll d$ 。這說明在子彈射入木塊過程中木塊的位移很小，可以忽略不計。這就為分階段處理問題提供了依據。象這種運動物體與靜止物體相互作用，動量守恆，最後共同運動的類型，

全過程動能的損失量可用公式： $\Delta E_k = \frac{Mm}{2(M+m)}v_0^2 \dots\dots\dots ④$

當子彈速度很大時，可能射穿木塊，這時末狀態子彈和木塊的速度大小不再相等，但穿透過程中系統動量仍然守恆，系統動能損失仍然是 $\Delta E_k = f \cdot d$ （這裡的 d 為木塊的厚度），但由於末狀態子彈和木塊速度不相等，所以不能再用④式計算 ΔE_k 的大小。

做這類題目時一定要畫好示意圖，把各種數量關係和速度符號標在圖上，以免列方程時帶錯數據。

以上所列舉的人、船模型的前提是系統初動量為零。如果發生相互作用前系統就具有一定的動量，那就不能再用 $m_1v_1 = m_2v_2$ 這種形式列方程，而要利用 $(m_1+m_2)v_0 = m_1v_1 + m_2v_2$ 列式。
特別要注意各種能量間的相互轉化

3 · 功與能觀點：

求功方法 單位：J ev=1.9×10⁻¹⁹J 度=kwh=3.6×10⁶J 1u=931.5Mev

◎力學：① $W = Fs \cos\theta$ （適用於恒力功的計算）①理解正功、零功、負功②功是能量轉化的量度

② $W = P \cdot t$ ($\Rightarrow p = \frac{w}{t} = \frac{FS}{t} = Fv$) 功率： $P = \frac{W}{t}$ （在時間內力對物體做功的平均功率） $P = Fv$

（F 為牽引力，不是合外力；V 為即時速度時，P 為即時功率。V 為平均速度時，P 為平均功率。P 一定時，F 與 V 成正比）

動能： $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m}$ 重力勢能 $E_p = mgh$ （凡是勢能與零勢能面的選擇有關）

③動能定理：外力對物體所做的總功等於物體動能的變化(增量)

公式： $W_{\text{合}} = W_{\text{合}} = W_1 + W_2 + \dots + W_n = \Delta E_k = E_{k2} - E_{k1} = \frac{1}{2}mV_2^2 - \frac{1}{2}mV_1^2$

(1) $W_{\text{合}}$ 為外力所做功的代數和。(W 可以不同的性質力做功)

(2) 外力既可以有幾個外力同時作用，也可以是各外力先後作用或在不同過程中作用：

(3) 既為物體所受合外力的功。

④功是能量轉化的量度(最易忽視)主要形式有：慣穿整個高中物理的主線

“功是能量轉化的量度”這一基本概念含義理解。

(1)重力的功-----量度-----重力勢能的變化

物體重力勢能的增量由重力做的功來量度： $W_G = -\Delta E_P$ ，這就是勢能定理。

與勢能相關的力做功特點：如重力，彈力，分子力，電場力它們做功與路徑無關，只與始末位置有關。

除重力和彈簧彈力做功外，其它力做功改變機械能；這就是機械能定理。

只有重力做功時系統的機械能守恆。

(2)電場力的功-----量度-----電勢能的變化

(3)分子力的功-----量度-----分子勢能的變化

(4)合外力的功-----量度-----動能的變化；這就是動能定理。

(5)摩擦力和空氣阻力做功 $W = fd_{\text{路程}} \Rightarrow E_{\text{內能}}(\text{發熱})$

(6)一對互為作用力反作用力的摩擦力做的總功，用來量度該過程系統由於摩擦而減小的機械能，

也就是系統增加的內能。 $f \cdot d = Q$ (d 為這兩個物體間相對移動的路程)。

◎熱學： $\Delta E = Q + W$ (熱力學第一定律)

◎電學： $W_{AB} = qU_{AB} = F_{\text{電}}d_E = qEd_E \Rightarrow$ 動能(導致電勢能改變)

$$W = QU = UIt = I^2Rt = U^2t/R \quad Q = I^2Rt$$

$$E = I(R+r) = u_{\text{外}} + u_{\text{內}} = u_{\text{外}} + Ir \quad P_{\text{電源}} = uIt + E_{\text{其它}} \quad P_{\text{電源}} = IE = I U_{\text{外}} + I^2Rt$$

◎磁學：安培力功 $W = F_{\text{安}}d = BILd \Rightarrow$ 內能(發熱)

$$= B \frac{BLV}{R} Ld = \frac{B^2 L^2 V}{R} d$$

◎光學：單個光子能量 $E = h\gamma$ 一束光能量 $E_{\text{總}} = Nh\gamma$ (N 為光子數目)

$$E_{km} = \frac{1}{2}mv_m^2 = h\gamma - W_0 \quad \text{躍遷規律：} h\gamma = E_{\text{末}} - E_{\text{初}} \quad \text{輻射或吸收光子}$$

◎原子：質能方程： $E = mc^2 \quad \Delta E = \Delta mc^2$ 注意單位的轉換換算

機械能守恆定律：機械能=動能+重力勢能+彈性勢能(條件:系統只有內部的重力或彈力做功)。

守恆條件：(功角度)只有重力和彈簧的彈力做功；(能轉化角度)只發生動能與勢能之間的相互轉化。

“只有重力做功” \neq “只受重力作用”。

在某過程中物體可以受其它力的作用，只要這些力不做功，或所做功的代數和為零，就可以認為是“只有重力做功”。

列式形式： $E_1 = E_2$ (先要確定零勢面) $P_{\text{減}}(\text{或增}) = E_{\text{增}}(\text{或減}) \quad E_{A\text{減}}(\text{或增}) = E_{B\text{增}}(\text{或減})$

$$mgh_1 + \frac{1}{2}mV_1^2 = mgh_2 + \frac{1}{2}mV_2^2 \quad \text{或者} \quad \Delta E_{p\text{減}} = \Delta E_{k\text{增}}$$

除重力和彈簧彈力做功外，其它力做功改變機械能；滑動摩擦力和空氣阻力做功 $W = fd_{\text{路程}} \Rightarrow E_{\text{內能}}(\text{發熱})$

4 · 功能關係：功是能量轉化的量度。有兩層含義：

(1)做功的過程就是能量轉化的過程，(2)做功的多少決定了能轉化的數量，即：功是能量轉化的量度

強調：功是一種過程量，它和一段位移(一段時間)相對應；而能是一種狀態量，它與一個時刻相對應。

兩者的單位是相同的(都是 J)，但不能說功就是能，也不能說“功變成了能”。

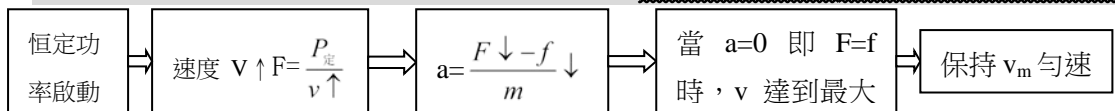
做功的過程是物體能量的轉化過程，做了多少功，就有多少能量發生了變化，功是能量轉化的量度。	
(1)動能定理	合外力對物體做的總功=物體動能的增量。即 $W_{\text{合}} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = E_{k2} - E_{k1} = \Delta E_k$
(2) 與 勢 能 相 關 力 做 功 ⇒ 導 致 與 之 相 關 的 勢 能 變 化	重力 重力對物體所做的功=物體重力勢能增量的負值。即 $W_G = E_{p1} - E_{p2} = -\Delta E_p$ 重力做正功，重力勢能減少；重力做負功，重力勢能增加。
	彈簧彈力 彈力對物體所做的功=物體彈性勢能增量的負值。即 $W_{\text{彈力}} = E_{p1} - E_{p2} = -\Delta E_p$ 彈力做正功，彈性勢能減少；彈力做負功，彈性勢能增加。
	分子力 分子力對分子所做的功=分子勢能增量的負值
	電場力 電場力對電荷所做的功=電荷電勢能增量的負值 電場力做正功，電勢能減少；電場力做負功，電勢能增加。注意： <u>電荷的正負及移動方向</u>
(3)機械能變化原因	除重力(彈簧彈力)以外的的其它力對物體所做的功=物體機械能的增量即 $W_F = E_2 - E_1 = \Delta E$ 當除重力(或彈簧彈力)以外的力對物體所做的功為零時，即機械能守恆
(4)機械能守恆定律	在只有重力和彈簧的彈力做功的物體系內，動能和勢能可以互相轉化，但機械能的總量保持不變。即 $E_{k2} + E_{p2} = E_{k1} + E_{p1}$ ， $\frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2$ 或 $\Delta E_K = -\Delta E_P$
(5)靜摩擦力做功的特點	(1)靜摩擦力可以做正功，也可以做負功，還可以不做功； (2)在靜摩擦力做功的過程中，只有機械能的互相轉移，而沒有機械能與其他形式的能的轉化，靜摩擦力只起著傳遞機械能的作用； (3)相互摩擦的系統內，一對靜摩擦力對系統所做功的和總是等於零。
(6)滑動摩擦力做功特點“摩擦所產生的熱”	(1)滑動摩擦力可以做正功，也可以做負功，還可以不做功； =滑動摩擦力跟物體間相對路程的乘積，即一對滑動摩擦力所做的功 (2)相互摩擦的系統內， <u>一對滑動摩擦力對系統所做功的和總表現為負功</u> ， 其大小為： $W = -fS_{\text{相對}} = Q$ 對系統做功的過程中，系統的機械能轉化為其他形式的能， ($S_{\text{相對}}$ 為相互摩擦的物體間的相對位移；若相對運動有往復性，則 $S_{\text{相對}}$ 為相對運動的路程)
(7)一對作用力與反作用力做功的特點	(1)作用力做正功時，反作用力可以做正功，也可以做負功，還可以不做功； 作用力做負功、不做功時，反作用力亦同樣如此。 (2)一對作用力與反作用力對系統所做功的總和可以是正功，也可以是負功，還可以零。
(8)熱學 外界對氣體做功	外界對氣體所做的功 W 與氣體從外界所吸收的熱量 Q 的和=氣體內能的變化 $W+Q=\Delta U$ (熱力學第一定律,能的轉化守恆定律)
(9)電場力做功	$W=qu=qEd=F_{\text{電}}S_E$ (與路徑無關)
(10)電流做功	(1)在純電阻電路中 $w = uIt = I^2Rt = \frac{u^2}{R}t$ (電流所做的功率=電阻發熱功率) (2) 在電解槽電路中,電流所做的功率=電阻發熱功率+轉化為化學能的的功率 (3) 在電動機電路中,電流所做的功率=電阻發熱功率與輸出的機械功率之和 $P_{\text{電源}}t = uIt = +E_{\text{其它}} ; W = IUt > I^2Rt$
(11)安培力做功	安培力所做的功對應著電能與其它形式的能的相互轉化，即 $W_{\text{安}} = \Delta E_{\text{電}}$ ， 安培力做正功，對應著電能轉化為其他形式的能（如電動機模型）； 克服安培力做功，對應著其它形式的能轉化為電能（如發電機模型）；

	且安培力作功的絕對值，等於電能轉化的量值， $W = F_{安}d = BILd \Rightarrow$ 內能(發熱)
(12)洛倫茲力永不做功	洛倫茲力只改變速度的方向，不改變速度的大小。
(13)光學	光子的能量: $E_{光子} = h\gamma$; 一束光能量 $E_{光} = N \times h\gamma$ (N指光子數目) 在光電效應中，光子的能量 $h\gamma = W + \frac{1}{2}mv^2$
(14)原子物理	原子輻射光子的能量 $h\gamma = E_{初} - E_{末}$ ，原子吸收光子的能量 $h\gamma = E_{末} - E_{初}$ 愛因斯坦質能方程： $E = mc^2$
(15)能量轉化和守恆定律	對於所有參與相互作用的物體所組成的系統，其中每一個物體的 <u>能量數值及形式</u> 都可能發生變化，但系統內所有物體的各種形式能量的總和保持不變

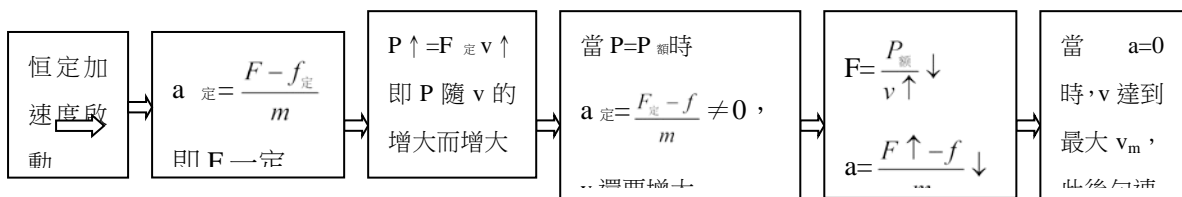
功和能的關係貫穿整個物理學。現歸類整理如下：常見力做功與對應能的關係

常見的幾種力做功		能量關係		數量關係式
力的種類	做功的正負	對應的能量	變化情況	
①重力 mg	+	重力勢能 E_p	減小	$mgh = -\Delta E_p$
	-		增加	
②彈簧的彈力 kx	+	彈性勢能 $E_{彈性}$	減小	$W_{彈} = -\Delta E_{彈性}$
	-		增加	
③分子力 $F_{分子}$	+	分子勢能 $E_{分子}$	減小	$W_{分子力} = -\Delta E_{分子}$
	-		增加	
④電場力 Eq	+	電勢能 $E_{電勢}$	減小	$qU = -\Delta E_{電勢}$
	-		增加	
⑤滑動摩擦力 f	-	內能 Q	增加	$fs_{相對} = Q$
⑥感應電流的安培力 $F_{安培}$	-	電能 $E_{電}$	增加	$W_{安培力} = \Delta E_{電}$
⑦合力 $F_{合}$	+	動能 E_k	增加	$W_{合} = \Delta E_k$
	-		減小	
⑧重力以外的力 F	+	機械能 $E_{機械}$	增加	$W_F = \Delta E_{機械}$
	-		減小	

汽車的啟動問題：具體變化過程可用如下示意圖表示。關鍵是發動機的功率是否達到額定功率，



| →→→變加速直線運動→→→→→→→→→→ | →→→→→勻速直線運動→→→→→



| →→→勻加速直線運動→→→→→→→→→→ | →→→→→變加速(a ↓)運動→→→→→→→→→→ | →→→勻速運動→

(1) 若額定功率下起動, 則一定是變加速運動, 因為牽引力隨速度的增大而減小。求解時不能用勻變速運動的規律來解。

(2) 特別注意勻加速起動時, 牽引力恒定。當功率隨速度增至預定功率時的速度(勻加速結束時的速度), 並不是車行的最大速度。此後, 車仍要在額定功率下做加速度減小的加速運動(這階段類同於額定功率起動)直至 $a=0$ 時速度達到最大。