

物理第十四冊目錄

第三部第一講（力、運動、能以及工程上的應用） 頁數

第一章 速度、加速度、等加速運動、斜面上的下落、自由下落

A. 課程	1—11
B. 教材問答	11—13
C. 內容摘要	13—13
D. 複習題	13—14
E. 習題	14—15

第二章 行程、速度和加速度三者的平行四邊形定律

A. 課程	16—22
B. 教材問答	22—24
C. 內容摘要	24—25
D. 複習題	25—25
E. 習題	25—26

第三章 垂直拋射、水平拋射和斜向拋射

A. 課程	27—34
B. 教材問答	35—37
C. 內容摘要	37—37
D. 複習題	37—38
E. 習題	38—39

第四章 牛頓三力學基本定律、力之平行四邊形、靜力測

力法和動力測力法、質量和重量、衝撞

A. 課程	40—53
-------	-------

第一講內容摘要	54—55
---------	-------

第一講內容測驗	55—56
---------	-------

第三部第二講 (力・運動・能以及工程上的應用)

第一講(E)習題解答57—59

第一講內容測驗解答59—62

第四章(續) 牛頓三力學基本定律、力之平行四邊形、靜

力測力法和動力測力法、質量和重量、衝撞(續)

A. 課程63—65

B. 教材問答65—72

C. 內容摘要72—73

D. 複習題73—74

E. 習題74—75

第一章至第四章之教材摘要75—78

第五章 功和功率

A. 課程79—90

B. 教材問答9—931

C. 內容摘要93—94

D. 複習題94—95

E. 習題95—96

第六章 簡單機械

A. 課程 97—101

第二講內容摘要102—103

第二講內容測驗103—103

力、運動、能以及工程上的應用

第一章

速度、加速度、等加速運動、斜面上的下落、自由下落

A. 課程

[1] 等速運動和不等速運動 根據以往所述，倘一質點于同一時間單位內，在其軌道上所走過之行程，恆為同一距離時，則該質點之運動是等速的。我們將此一段距離稱為速度 c ，另以 s 代表該質點在 t 時間單位內所經過之行程，于是就可以建立一個簡單的行程-時間-定律如下：

$$s = c \times t,$$

$$\text{行程} = \text{速度} \times \text{時間};$$

再用簡單的代數方法加以換算時，則又得到

$$c = s/t,$$

$$\text{速度} = \text{行程} / \text{時間}$$

以及

$$t = s/c,$$

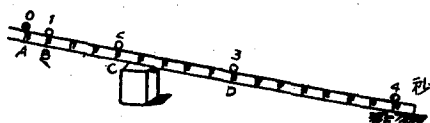
$$\text{時間} = \text{行程} / \text{速度}。$$

和等速運動對立者是不等速運動。倘一質點在同一時間單位內所走過之行程並不相等時，則該質點是在不等速運動之中。此種不等速運動又可以分為加速的和減速的兩種，悉視其在前後相繼之同一時間單位內所行距離，究為愈來愈大或是愈來愈小而定。

[2] 斜面上的運動·下落行程和下落時間的連帶關係 物體在斜面上之下落即係不等速運動的一種例子，並且是屬於一種加速運動。有關此類運動之定律曾經由伽利略氏 (Galilei 1564-1642) 加以研究。伽氏乃係現代自然科學之鼻祖；他用實驗從事自然科學之研究，

再從觀察和實驗中集聚經驗，這也就是如今被認為是理所當然的方法。惟從事此類觀察時，須以適度之方法出之，方能獲得可用數字表示的結果。伽氏應用一種稍稍斜置的落槽，槽內襯以非常平滑的純羊皮紙，再用一個非常硬而十分圓整的磨光黃銅球，使它在槽內滾動。

我們準備一個如第一圖所示之斜置落槽和一個節拍器。後者乃是一種按照時間單位，譬如按照每秒鳴報的時計。我們將落槽放置得如此傾斜，恰好能使球在 4 秒鐘內滑過一段 $AE=16$ 分米的距離。然後就在取用此種傾斜位置的落槽上讓球從 A 開始滾下。接着我們就會發現：球在 1 秒鐘後經過 B 處，2 秒鐘後經過 C 處，3 秒鐘後經過 D 處，以及在 4 秒鐘後經過 E 處。而這些行程在彼此之間却具有 $AB:AC:AD:AE$ 等于 $1:4:9:16$ 的關係。所以從此一實驗中，我們就可以看出下落行程 $AB:AC:AD:AE$ 和下落時間之平方 $1^2:2^2:3^2:4^2$ 悉成正比。經



第 1 圖 下落之總行程 $AB:AC:AD:AE$ 等和下落時間之平方 $1^2:2^2:3^2:4^2$ 等成正比。

過多次實驗以後，我們更能證示一項事實，那就是：不管我們採用何種時間單位，譬如半秒、十分之一秒等等，以及不管我們將落槽放置成何種斜度，上述之關係總是保持不變的。至于 AB 、 AC 、 AD 、 AE 等每一行程的實際長度雖然照理是有所變動的，但是它們相互之間的比例却始終是不變的。準此，我們就得到一定律如下：

I. 下落之總行程和下落總時間之平方成正比。

如以 a 代表落體在第一個時間單位內的行程，亦即令 $AB=a$ 時，則 $AC=4a=2^2a$ ， $AD=9a=3^2a$ ， $AE=16a=4^2a$ 等等。如再以 s 代表物體之任一行程，以 t 代表該物體完成 s 行程所需時間單位之數字時，就得到斜面上運動的行程—時間一定律如下：

$$s = a \times t^2;$$

這就是說，當一物體在斜面上向下滾動時，該物體在不拘多少的時間單位內所走過之總距離，恆與它在第一秒中所經過的行程，乘以時間單位數字的平方相等。

如果將每兩個先後相繼的總行程相減時，就得到物體在每一時間單位內所走過的區間下落距離 AB、BC、CD、DE 等；而這些距離之間的相互比例則如同在第 1 圖上極容易看出的一樣，恰好等於 1:3:5:7。於是我們又得到另一定律如下：

II 在先後相繼各時間單位內的區間下落行程係與奇數成正比。

我們從第 2 圖可以看出，定律 II 實為定律 I 在數學上的延續。蓋圖上直角彎塊中的奇數點數恆為毗鄰兩方陣中的點數之差。



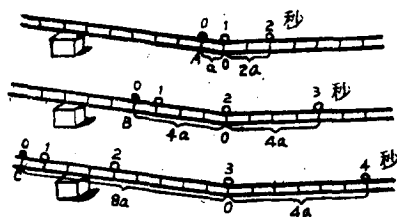
第 2 圖 奇數乃是毗鄰兩方陣中的點數之差

[3] 瞬時速度 在不等速運動中，這也就是說，在加速或減速運動中，我們不能用 行程／時間 之商來量度速度；蓋此類運動之速度在每一瞬間或者是不斷地增高，或者是不斷地減低，並非保持不變；但我們却可用一種大致準確的方法求出此類速度，那就是先求出一段非常短時間中的行程，然後再行算出一種所謂**平均速度**。譬如說，一個不等速運動之物體在 1/100 秒鐘內走 0.16 米時，該物體在此一段時間內的平均速度即等於 $0.16 \div 1/100 = 16$ 米／秒，蓋該物體如以此一平均速度作等速運動時，則在 1/100 秒鐘內也會同樣地走過 0.16 米，祇不過在開始和末尾時的實有速度和此平均數值略有參差而已。我們所選用的時間單位愈為短暫，則 行程／時間 之商，亦即上述之平均速度，愈和實有速度接近。所謂實有速度，指的乃是物體在某一時刻所具有的速度；通常我們稱之為**瞬時速度**。至于瞬時速度在數學上的正確意義，請另參閱本叢書的數學部門。

依照下述方法，就可以用實驗來確定瞬時速度：我們讓不等速運動的物體在它運動軌道上某一定點轉入等速運動，這也就是說，將那個引起速度發生變化的外力排除掉。於是，根據慣性定律，該物體必以其在轉變點上一瞬間所具有的速度繼續運動下去。所以說：**一物體之瞬時速度或一物體在某一時刻之速度**，指的乃是該物體由此一時刻起如無外力（重力）之影響，而僅因其慣性作用而繼續運動下去時所具有之速度。

[4] 斜面上的下落速度和下落時間之相互關係 爲着尋求此種關

係，我們在滑槽尾端再放置一個滑槽，並使此第二滑槽之斜度小得剛好能够克服滑槽上的摩擦，以致滑槽上的球能够以等速度滾動（第 3 圖）。於是自 O 點開始，球之速度就可以用一秒內所經過之行程來量度。我們讓球由 A 點滾下，並使此球刚好在 1 秒鐘以後到達 O 點； $AO=a$ 。既達 O 點以後，由於重力之加速作用與摩擦互相抵消之故，球遂以其第一秒終了時具有之速度，在下一段滑槽中等速地繼續運動下去。我們並且發現，此球在接着下去的一秒鐘內所經過的行程剛好是 $2a$ 。該球在此一秒鐘內所取速度也就是等於 $2a$ 。



第 3 圖 各段時間之末的速度和下落時間成正比 $1:2:3:4$ 等

倘於 B 點將球放鬆時（ $BO=4a$ ），則此球需經過 2 秒鐘之久，始能到達 O 點，並且在接着下去的一秒鐘內滾動 $4a$ 長的距離，所以該球在 2 秒鐘之後所得到的速度是 $4a$ 。設球在 C 點開始下降時，則該球在 3 秒鐘之後所得到的速度等於 $6a$ 等等。這些速度之間的比列乃為

$$2a : 4a : 6a : 8a = 1 : 2 : 3 : 4。$$

於是，我們又得到一個定律：

III. 各段時間之末的速度係和下落時間成正比。

設以 v 代表各段時間之末的速度，達到速度 v 所需時間單位數字為 t 時，則得到速度時間定律如下：

$$v = 2a \times t,$$

這就是說，物體在不拘多少的時間單位以後之速度，亦即所謂終速，乃等於該物體在第一時間單位內所行路程之兩倍乘以所歷時間單位之數。

〔5〕等加速運動、加速度 從上一節所述實驗中可以看出，速度在每一時間單位內的增加量（ $=2a$ ）是保持不變的。此種運動（即其速度之增加量，在每一時間單位內均屬相等者），我們稱之為等加速運動。因此，斜面上的運動乃是等加速運動。

所謂**加速度**，指的是每一時間單位內的**速度增加量**。設以 b 代表此項加速度，則如下之關係便可成立：

$$b = 2a,$$

這也就是說，**加速度**乃與第一個時間單位之末的**速度大小**相等；或者說，乃等於該等加速運動物體在第一時間單位內所歷行程之兩倍。

設有一運動，其速度在每一時間單位內均減失一不變之大小時，我們便稱之為**等減速運動**。此項速度之減失稱為**減速度**或負**加速度**。

[6] **等加速運動之三主要公式** 從 $b = 2a$ 一式，可得 $a = \frac{1}{2}b$ 。倘以此關係式代入 $s = a \times t^2$ 和 $v = 2a \times t$ 兩公式，則得

$$1. \quad s = \frac{1}{2}b \times t^2 \text{ 和}$$

$$2. \quad v = b \times t。$$

從 $v = b \times t$ 一式可得 $t = v/b$ 。倘以此式代入 $s = \frac{1}{2}b \times t^2$ ，則得 $s = \frac{1}{2}b \times (v/b)^2 = \frac{1}{2}v^2/b$ ；再從此式可得

$$3. \quad v = \sqrt{2b \times s}。$$

利用此第三公式，可由**加速度**和**總行程**算出**速度**，這也就是所謂**終速**。

[7] **斜面上下落運動公式和任何加速運動公式之對照** 適才所導引之三公式，我們必須牢記不忘。如果再應用簡易的代數換算方法，則從這些公式中又得到其他幾種如下表所列之關係。

相 互 關 係 表

速度、加速度和時間	行程、加速度和時間	速度、加速度和行程
$v = b \times t$	$s = \frac{1}{2}b \times t^2$	$v = \sqrt{2b \times s}$
$t = v/b$	$t = \sqrt{2s/b}$	$s = v^2/2b$
$b = v/t$	$b = 2s/t^2$	$b = v^2/2s$

這些公式可以適用於任何一種無開始速度之等加速運動：式中之 b 係指有關之**加速度**而言。

〔8〕 **厘米-克-秒制 (C-G-S 制) · 物理上的因次** 我們先將下列諸名詞再行複習一遍：**行程**指的是物體所經過的全部距離；**速度**（在等速度運動中）指的是每一時間單位內的行程；**加速度**（在等加速運動中）指的是每一時間單位內的速度變化。關於行程和時間之單位，就其本身而言，原可任意選用的。譬如在天文學中，我們就選用光年作為長度單位；在工程上則選用米或仟米作為長度單位，另以秒、分、時作為時間之單位。

另一方面，我們却在物理上規定以**厘米 (cm)** 和 **秒 (sec)** 作為行程和時間的量度單位。我們稱此種單位為**絕對單位**。除了 cm 和 sec 以外，另有一第三種絕對單位，那就是**質量克 (g)**。物理上的一切大小都是 cm, g, sec 等單位來表示。因此，我們也稱之為**厘米-克-秒制**，或簡稱為 **C-G-S 制**，或**絕對量度制**或**物理量度制**，以示和應用其單位的一種**工程量度制**（參見第 31 節）有所區別。

量度單位是和**量度數值**有所區別的。設量得一行程為 15 厘米 (cm) 時，則厘米為量度單位，15 為量度數值。每當測定速度時，勢非以時間量度數值來除行程長度的量度數值不可。在物理上，我們以**因次**之觀念來代表此中之關係。我們說，速度所具因次為**行程/時間**，並且加上方括號，寫成〔**行程/時間**〕。將 C-G-S 制代入長度和時間後，就得到速度在絕對量度制中的量度單位：**厘米/秒 (cm/sec)**，我們稱之為：厘米除以秒；又如應用 $1/\text{秒} = \text{秒}^{-1}$ 之指數定則時，則為厘米 $\times$ 秒 $^{-1}$ ($\text{cm} \cdot \text{sec}^{-1}$)，我們稱之為：厘米乘秒之負一方。例如：一物體在 6 秒中所歷行程為 18 厘米時，則其速度為 $18/6 = 3$ 厘米/秒或厘米 $\times$ 秒 $^{-1}$ ($\text{cm} \cdot \text{sec}^{-1}$)。

至於談到加速度時，我們就要以時間的量度數值來除速度的量度數值。**加速度之因次**遂為〔行程/時間/時間〕，在絕對量度單位中，這就相當于厘米/秒/秒或厘米/秒 2 或厘米 $\times$ 秒 $^{-2}$ ($\text{cm} \cdot \text{sec}^{-2}$)。例如：一等加速運動之速度在 5 秒鐘內增加 30 厘米/秒時，則其加速度便等于 $30/5 = 6$ 厘米/秒 2 或厘米 $\times$ 秒 $^{-2}$ 。

至於厘米/秒和厘米/秒 2 此二絕對量度單位則別無專門名稱。

〔9〕 **瞬時加速度** 不等速運動並非都是等加速運動。譬如鐘擺之

運動就不是等加速運動，這是因為它的速度在相等時間單位內之增減量並非大小相等的緣故。擺在下降時的一段運動係不等加速的運動，而在上升時的一段則為不等減速的運動。於是我們在此處就需要討論到一種在意義上相應於瞬時速度的瞬時加速度，此種瞬時加速度在每一軌道點上都是不相等的。

總而言之，不等速運動物體在某一軌道點上的瞬時速度，乃是指該物體在此點時一瞬之間的運動狀況，亦即指該物體自此一點起如以等速度繼續運動下去時所具有之速度而言。另一方面，該物體在同一點的瞬時加速度乃是指該物體自此一點起如以等加速度繼續運動下去時，其瞬時速度之變化，這也就是該物體所將具有之加速度。另於數學課程中則指出此項瞬時加速度乃是時間對行程的第二次微分商或第二次的導函數： d^2s/dt^2 。

〔10〕等加速運動之例題

例 1：設有一球在一個傾斜軌道上滾動，並且是在第一秒鐘內滾過 15 厘米之行程，試問該球於何時並以何種速度滾至 240 厘米之遠？ $\text{加速度 } b = 2 \times 15 = 30 \text{ 厘米/秒}^2$ ； $t = \sqrt{2s/b} = \sqrt{2 \times 240/30} = 4 \text{ 秒}$ ； $v = b \times t = 30 \times 4 = 120 \text{ 厘米/秒}$ 。

例 2：設有一客車在起動時以等加速度($b = 0.12 \text{ 米/秒}^2$)駛出 $s = 800 \text{ 米}$ 之行程，試問該客車需費若干時間起動，以及在起動以後達到何種速度？ $v = \sqrt{2b \times s} = \sqrt{2 \times 0.12 \times 800} = 14 \text{ 米/秒}$ ； $t = v/b = 14/0.12 = 117 \text{ 秒}$ 。

例 3：設有一蒸汽驅動之快車以 0.25 米/秒^2 之加速度起動，另有一柏林地下鐵道車則以 0.55 米/秒^2 之加速度起動。試問此兩種交通工具在同為等加速運動之情形下各需若干之起動時間和起動行程方能達到 45 仟米/時 (km/h) 之速度？ $45 \text{ 仟米/時} \triangleq 45/3.6 = 12.5 \text{ 米/秒}$ ($1 \text{ 米/秒} \triangleq 3.6 \text{ 仟米/時}$ ， $\triangleq$ 乃是“相當於”的符號)，就快車而言， $t = v/b = 12.5/0.25 = 50 \text{ 秒}$ ， $s = v^2/2b = 156.25/(2 \times 0.25) = 390.6 \text{ 米}$ ；就地下鐵道車而言，則為： $t = 22 \text{ 秒}$ ， $s = 131 \text{ 米}$ 。

例 4：設一快車在 80 仟米/時的速度下之制動行程為 620 米，試問制動時間和減速度各為若干？ $80 \text{ 仟米/時} \triangleq 80/3.6 = 22.2 \text{ 米/秒}$ 。

$$b = v^2/2s = 484/2 \times 620 = 0.4 \text{ 米/秒}^2; t = v/b = 22/0.4 = 55 \text{ 秒}。$$

例 5：設一汽車在速度爲 35 千米／時之情況下以四輪制動器制動時，則產生 5.15 米／秒² 之減速度，試問該汽車在開始制動以後仍將繼續行駛若干時間和若干距離？ $35 \text{ 千米／時} \triangleq 35/3.6 = 9.7 \text{ 米／秒}$ ， $s = v^2/2b = 94.09/2 \times 5.15 = 9 \text{ 米}$ ； $t = v/b = 9.7/5.15 = 1.9 \text{ 秒}$ 。

例 6：一快車之起動，計費時 40 秒鐘，駛過 200 米之行程。設其加速度保持不變時，則此加速度應爲若干？ $b = 2s/t^2 = 2 \times 200/1,600 = 0.25 \text{ 米／秒}^2$ 。

[11] 自由落體 從日常觀察中，我們知道輕的物體如羽毛、紙屑等向地面墜落得較慢；重的物體如石頭、金屬等則墜落得較快。迄伽利略的時代爲止，這也就是說，歷經整個上古及中古時代，人類恒以此類現象爲依據，認爲落體之速度是和其重量成正比的。此項主張源出于亞里斯多德氏（Aristòteles 紀元前 384-322），一直到伽利略氏始將其推翻。伽氏的想法至爲簡單，他認爲：同一種類而大小相等之二質量，譬如兩塊磚頭，如果是分開相並自空中墜落時，則兩者在同一時間內下落之距離必定相等。倘令該二質量連續在一起，則此一加倍之質量降落時，其速度並不能因此加倍，而仍然是和此二質量彼此獨立降落時之速度相等。

伽利略氏是否曾在他的故鄉比薩鐘塔頂上重複舉行墜落實驗，以否定上述亞里斯多德之見解，這一點在歷史上並未能獲得證明。他在他一部重要著作“Discorsi”中發表過一項假定，那就是：倘能攔除空氣之干擾，則一切物體均以同一快慢墜落。但他也知道他是不能造成一個真空空間的，蓋空氣唧筒直到伽氏逝世以後方始問世，所以他祇是由理論途徑而得到此項落體定律的。

事實上空氣阻力確係物體墜落有快有慢之唯一原因，這是很容易加以證明的。我們將一張紙團縮在一起以後再令其墜落時，則此紙團要比展開的一張紙墜得較爲迅速，這是因爲較小之表面積所受空氣阻力較小的緣故。倘在一落管中裝入一片羽毛和一枚硬幣，再用空氣唧筒將落管中的空氣抽出時，則兩者在管中所受空氣阻力便會大爲減少。真空程度愈高，羽毛和銅幣愈能準確地比肩墜落。在全無空氣的

空間中，一切物體在墜落時均屬同樣迅速。

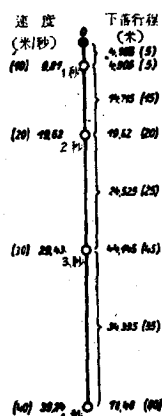
〔12〕 **自由落體定律** 在上節所述實驗中如將落槽之斜度增大，則該節所述諸定律之準確性仍能保持不變，祇不過是斜面的斜度愈大時，加速度愈為增大而已。這些定律即使在斜面終于垂直而立時，也都適用的。就此種垂直的情況而言，在全無空氣空間中，其第一秒鐘的行程乃等於 490.5 厘米。準此，加速度（在中緯度地區）則為 981 厘米 $\times$ 秒⁻²。此一加速度稱為**重力加速度**或**落體加速度**或**地心加速度**，通常係以拉丁字母 g （拉丁文 *grávitás* = 重力）來表示。 g 所代表的大小約為 10 米/秒²。茲在第 4 圖中列出自由落體在真空空間最初 4 秒鐘內的行程和速度。自由落體之運動乃是一種等加速運動。

第 6 節所述基本公式可以毫無問題地應用在自由落體上。第 7 節中的許多公式亦復如此，祇不過須將式中之 b 用 $g = 981$ 厘米/秒² 代替而已。所以在自由落體運動中可以應用下列三基本公式：

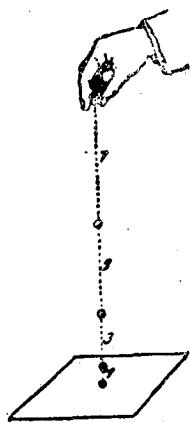
1. $s = \frac{1}{2} g \times t^2$
2. $v = g \times t$
3. $v = \sqrt{2g \times s}$

我們從第 4 圖可以看出，自由落體在很少幾秒鐘的時間以內即獲有很大的速度，並達到很長的行程。如果要用實驗來加以證實，則勢非選用一種比 1 秒為短的時間單位不可。第 5 圖所示落繩實驗即屬此種情形。實驗所用諸球係由一根繩子串聯起來，球與球之間的距離由下往上計算，保持着 1 : 3 : 5 : 7 等等的比例。因此，每一球與最下面一個球之間的距離則保持着 1 : 4 : 9 : 16 之比例。如果我們將落繩提到如此之高，使得最下面的一個球剛好接觸到地面，然後將落繩放鬆時，我們便會聽到各球均以同一時間間隔次第擊地的響聲。

〔13〕 **自由落體運動例題** 我們現在要舉幾個例題來練習應用自



第4圖 自由落體之速度
和行程（表中未
加括號之數係以
 $g = 9.81$ 米/秒²
為依據；加括號
者則以 g 之近似
值 $= 10$ 米/秒²
為依據。）



第5圖 以落繩證明自由落體定律

由落體(在真空中)之公式($g=9.81$ 米/秒²)。

例 1：問自由落體在 10 秒鐘後將獲得何種速度？又該落體在此一段時間中所落下之距離為若干？ $v=g \times t=9.81 \times 10=98.1$ 米/秒； $s=\frac{1}{2}g \times t=\frac{1}{2} \times 9.81 \times 100=490.5$ 米。

例 2：問一物體需自何種高度開始以相等的落體加速度自由墜落，方能于落地時獲得如同步槍子彈一般之速度(900 米/秒)？又其落地所需時間為若干？ $s=v^2/2g=810,000/2 \times 9.81=41.3$ 仟米； $t=v/g=900/9.81=92$ 秒。

例 3：設有一物體自紐約帝國大廈第 102 層樓(381 米)墜落至街道，試問共需經過若干時間，並以何種速度墜落至路面上？ $v=\sqrt{2g \times s}=\sqrt{2 \times 9.81 \times 381}=86$ 米/秒； $t=v/g=86/9.81=8.7$ 秒。

例 4：設以石頭投入一深井時，則于 t 秒鐘後可聽到擊水聲。問井深若干？解答本題時需應用二次方程式：已知之 t 秒鐘計包括石頭以等加速度($g=9.81$ 米/秒²)下落和回聲以等速度 $c=340$ 米/秒傳播上來之 t_1 及 t_2 兩段時間； $t_1+t_2=t$ 。如以 x 代表井深，則在前一段時間中 $x=\frac{1}{2}g \times t_1^2$ ，後一段時間中 $x=c \times t_2$ 。將此二方程式歸併，則得 $\frac{1}{2}g \times t_1^2=c \times t_2$ ；再以 $t_2=t-t_1$ 代入，則為 $\frac{1}{2}g \times t_1^2=c(t-t_1)$ ，經過計算，就可以從 $t_1^2+2c \times t_1/g-2c \times t/g=0$ 式中得到 $t_1=-c/g \pm \sqrt{c^2/g^2+2c \times t/g}$ 。其中之負根號將使 t_1 得到一負值，這在本題中是沒有意義的。我們祇用正根號繼續計算，得到 $t_2=t-t_1=t-(-c/g+\sqrt{c^2/g^2+2c \times t/g})=t+c/g-\sqrt{c^2/g^2+2c \times t/g}$ ，最後求出 $x=c \times t_2=c \times (t+c/g-\sqrt{c^2/g^2+2c \times t/g})=c \times t+c^2/g-c \times \sqrt{c^2/g^2+2c \times t/g}$ 。

倘不憑耳聞，而直接觀察石頭擊水之動作時，則所用計算方法較為簡單，這是因為光之速度非常迅速(300,000 仟米/秒)，光之傳播

時間 t_2 可以略而不計，所以在計算時只要應用方程式 $s = \frac{1}{2}gt^2$ 的原故。

B. 教材問答

師：試爲等加速運動及不等加速運動舉出一兩個例子。

生：斜面上的下落運動和自由落體運動均爲等加速運動；不等加速運動則如擺之運動。

師：等加速運動之三基本公式爲何？

生：關於行程方面的爲： $s = \frac{1}{2}bt^2$ ；關於速度方面爲： $v = bt$ 及 $v = \sqrt{2bs}$ 。

師：在等加速運動這一方面，我們曾經討論過那兩種例子？

生：斜面上的運動和自由落體的運動。

師：自由落體運動中的加速度爲若干？

生： $g = 981$ 厘米／秒² = 9.81 米／秒²。

師：倘在自由落體實驗中以秒作爲時間單位時，則不便于觀察行程和速度，何故？

生：這是因爲兩者之值失之太大的緣故。除此以外，空氣阻力對於落體運動亦會發生顯著之影響。

師：物體倘在真空中墜落，則發生何種現象？

生：各種物體在真空中墜落時其速度均屬相等。——請問空氣阻力和何種主要因素具有連帶關係？

師：物體在空氣中穿過的速度對於空氣阻力所發生之影響最大，這是空氣阻力和摩擦不同之處。除此以外，空氣阻力和物體之橫斷面以及物體之形狀均有連帶關係。譬如說，水滴狀物體所受空氣阻力即比具有同一橫斷面之球狀物體所受到的空氣阻力小些。關於這一點，我們要留待以後才能詳細討論哩。

生：請問空氣阻力對於落體將發生何種作用？

師：空氣阻力所生作用係與加速度的作用相反，並且在落體速度愈大時愈爲劇烈。因此之故，加速度遂因速度之增大而逐漸降減爲

零；這也就是說，落體到了某一時刻以後乃以等速度向下墜落。

生：就飛機上擲落之炸彈而言，請問它在何種速度時才會發生上述之情形？

師：根據理論計算，大約在速度等於 250 米／秒時是如此。這是炸彈擲落到 $s = v^2/2g = 250^2/2 \times 9.81 = 3,185$ 米時所達到的速度。

師：一等加速運動之加速度若為 $b = 30$ 米／秒² 時，試問此一運動在起始 5 秒鐘內的每秒時間分段中的行程和速度各為若干？

生：5 種行程各為：15、60、135、240、375 厘米；速度則各為 30、60、90、120、150 厘米／秒。

師：在上述一例中如果僅以 1/10 秒代替 1 秒作為時間分段的單位時，則在起始 5 時間單位內的行程和速度又各為若干？

生：在此種情形下，則於第一時間單位後，物體的行程等於 $\frac{1}{2} \times 30 \times (\frac{1}{10})^2 = 0.15$ 厘米，第二時間單位後等於 $\frac{1}{2} \times 30 \times (\frac{2}{10})^2 = 0.6$ 厘米，第三、第四、第五時間單位後各為 1.35、2.4、和 3.75 厘米；第一時間單位後的速度等於 $30 \times \frac{1}{10} = 3$ 厘米／秒，第二時間單位後等於 $30 \times \frac{2}{10} = 6$ 厘米／秒，第三、第四、第五時間單位後各為 9、12、15 厘米／秒。

師：如不用 1 秒而用 1/10 秒作為時間單位之基準時，則上述速度又各為若干？

生：0.3、0.6、0.9、1.2 及 1.5 厘米／0.1 秒。

師：自由落體 ($g = 10$ 米／秒²) 在 1 、 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{1}{10}$ 秒後之下落行程和終速度各為若干？

生：下落行程各為 5、1.25、0.05 米；終速度各為 10、5、1 米／秒。

師：第幾個時間單位後的行程和終速度恒為同一數值？

生：在 $t = 2$ 之時間單位時即係如此。此時之行程為 $s = \frac{1}{2} b \times 2^2 = 2b$ ，速度為 $v = 2b$ 。

師：行程在物理學上的單位為何？

生：厘米。

師：速度在物理學上的單位為何？

生：厘米／秒或厘米 $\times$ 秒⁻¹。

師：加速度則又為何？

生：厘米／秒²或厘米 $\times$ 秒⁻²。

C. 內容摘要

運動計分爲等速的和不等速的兩種。在等速度運動中，速度恒保持不變。所謂速度指的乃是物體在一時間單位中所經過之行程。等速運動之行程-時間-定律乃係： $s = c \times t$ 。

不等速運動又有加速和減速之分。所謂加速度，指的乃是速度在一時間單位中的增加量；在等加速運動中，加速度恒保持不變。此種運動的行程-時間-定律乃係 $s = \frac{1}{2} b \times t^2$ ，其終速度則等於 $v = b \times t$ 或 $v = \sqrt{2b \times s}$ 。斜面上的運動即係等加速運動。

自由落體之運動也是一種等加速運動，落體加速度或地心加速度 $g = 981$ 厘米／秒²。自由落體運動之公式爲： $s = \frac{1}{2} g \times t^2$ ， $v = g \times t$ ， $v = \sqrt{2g \times s}$ 。

在厘米-克-秒 (C-G-S) 制中，一切大小均以厘米 (cm)、克 (g) 和秒 (sec) 來量度。準此，速度之因次遂爲 [行程／時間]，厘米／秒；加速度之因次遂爲 [行程／時間／時間]，厘米／秒²。

D. 複習題

1. 運動應如何加以區分？〔1〕
2. 斜面上運動的情形如何？〔2〕
3. 下落行程和下落時間二者有何連帶關係？〔2〕
4. 所謂瞬時速度，指的是什麼？〔3〕
5. 斜面上的下落速度和下落時間二者有何連帶關係？〔4〕
6. 所謂加速度和等加速運動，指的是什麼？〔5〕
7. 請舉述適用於各種等加速運動的三個基本公式。〔6〕

8. 請由此三公式的每一式繼續導出其他二式。〔7〕
9. 所謂 C-G-S (厘米-克-秒) 制, 指的是什麼? 〔8〕
10. 速度和加速度各具何種因次? 〔8〕
11. 所謂瞬時加速度, 指的是什麼? 〔9〕
12. 伽利略氏由于何種想法, 方始進而主張一切物體在墜落時均為同樣迅速? 〔11〕
13. 自由落體運動的經過情形如何? 〔12〕
14. 試述自由下落之三基本公式! 〔12〕
15. 自由下落時的加速度等于若干? 此項加速度通常係以何種名稱表明之? 〔12〕

E. 習 題

(不計空氣阻力; $g = 9.81$ 米/秒²)

1. 設一汽車在 70 千米/時之速度下由二輪掣動器以 3.15 米/秒² 之減速度掣動時, 試問掣動行程和掣動時間各為若干?
2. 設一火車由靜止狀態中以等加速度起動時, 則需歷時 1 分鐘之久, 其速度方能達 12 米/秒。試問此加速度為若干厘米/秒²? 又此時火車距離起點多遠?
3. 設一砲管長 3.5 米, 砲彈因爆炸之彈藥氣體作加速運動, 并于脫離砲管時, 其終速度增為 700 米/秒。試問砲彈因爆炸之彈藥氣體而得到的加速度以及砲彈經過砲管的時間各為若干?
4. 設一客車以不變之加速度 0.14 米/秒² 起動, 達到 50 千米/時之速度。試問此客車需費若干時間完成起動? 又客車在這一段時間中所行駛之路程共為若干?
5. 設一貨車在 40 千米/時速度下之掣動行程為 410 米, 試問此貨車之減速度和掣動時間各為若干?
6. 自由落體在開始墜落 20 秒後所具之終速度為若干? 另該落體在此一段時間中的行程為若干?
7. 如有一物體自柏林公寓最高一層樓上 (15 米) 自由墜落時, 則需若干時間方能落至地面?