

徐氏基金會科學圖書編譯委員會
監修人 徐銘信 發行人 王洪鎧

科學圖書大庫

版權所有



不許翻印

中華民國六十八年三月八日再版

自然科學叢書之二

物 理

(一至五冊合訂本)

本叢書不分售，全套23冊基價 20.80

主編者 湯元吉 台糖公司董事長

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

出版者 財團法人 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686 號
發行者 財團法人 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第 15795 號
承印者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話 9719739

物理第五冊目錄

第十講 (附第一次總測驗)

頁數

第九講 (D) 習題解答	1—3
第八講內容測驗解答	3—4
第十六章 力和運動(續)	
A. 課程	5—28
B. 教材問答	28—29
C. 複習題	29—30
D. 習題	30—31
E. 第十講內容摘要	31—32
第十講 (D) 習題解答	32—32
第一次總測驗	32—39

第十一講

第一次總測驗 (第一講至第十講) 解答	41—54
第十七章 分子力與運動	
A. 課程	55—74
B. 教材問答	74—75
C. 複習題	75—76
D. 習題	76—77
E. 第十一講內容摘要	77—78

【在本講中，力（重量）之量度單位將採用新的符號；也就是以彭(p)代替克*(g*)，附有星記號之克)，以仟彭(kp)代替仟克*(kg* 附有星記號之仟克)以及用百萬彭(Mp)代替公噸*(t*)，附有星記號之公噸)。1 kp (仟彭)=1,000p (彭)；1Mp (百萬彭)=1,000 kp (仟彭)=1,000,000p(彭)】

第九講(1) 習題解答

第十四章

1. 繩索拉力之垂直分力為向上之 3.76 仟彭；所以秤上所指出之重量為 $10 - 3.76 = 6.24$ 仟彭。
2. 在 60° 一端之拉力為 7.83 仟彭， 40° 一端者為 10.55 仟彭。
3. $x : 700 = 20 : 100$ ， $x = 140$ 仟彭。
4. X 軸方向上的分力為： $X_1 = 4$ ； $X_2 = 2.1$ ； $X_3 = -1$ ； $X_4 = -1.7$ ； $X_5 = 3$ ； $\Sigma X = +6.4$ ；Y 軸方向上的分力為： $Y_1 = 0$ ； $Y_2 = 2.1$ ； $Y_3 = 1.7$ ； $Y_4 = -4.7$ ； $Y_5 = -5.2$ ； $\Sigma Y = -6.1$ ； $R = \sqrt{(+6.4)^2 + (-6.1)^2} = 8.8$ 仟彭；R 之方向和 X 軸之正號方向相交的角度為 317° 。
5. K_1 (與 R 相隔 5 分米) + K_2 (與 R 相隔 9 分米) = 20； $K_1 : K_2 = 9 : 5$ ； $K_1 = 20.9 / (9 + 5) = 12\frac{8}{9}$ 仟彭； $K_2 = 20 - 12\frac{8}{9} = 7\frac{1}{9}$ 仟彭。
6. $K_2 = 50 - 30 = 20$ 仟彭； $30 : 20 = x : 2$ ， K_2 與 R 相隔之距離為 $x = 3$ 米，位於 K_1 對面之一邊。
7. K_1 (兒童)： K_2 (成人) = 2 : 5； $K_1 + K_2 = 50$ ； $K_1 = 50.2 / (2 + 5) = 14\frac{2}{7}$ 仟彭； $K_2 = 50 - 14\frac{2}{7} = 35\frac{5}{7}$ 仟彭； $a_1 = 3.5$ 米； $a_2 = 1.4$ 米。
8. Z' (平行于長度)： $500 = 8 : 17$ ， $Z' = 235\frac{5}{7}$ 仟彭；底邊 $b = \sqrt{17^2 - 8^2} = 15$ 米； Z' (平行于底邊)： $500 = 8 : 15$ ； $Z' = 266\frac{2}{3}$ 仟彭。
9. 每半邊繩上之應力為 400 仟彭。
10. 繩索拉力為 64.1 仟彭，其水平分力為 40 仟彭。
11. 沿着橫樑方向之每一壓力為 2.9 百萬彭，在每個柱墩上的垂直壓力為 1 百萬彭，水平壓力為 2.7 百萬彭。
12. 一力偶。
13. $Z : 10 = 48 : 100$ ， $Z = 4.8$ 百萬彭。
14. 底邊 $b = \sqrt{37^2 - 12^2} = 35$ ， $Z' : 200 = 12 : 35$ ， $Z' = 68\frac{4}{5}$ 仟彭。
15. $25 : 300 = 8\frac{1}{3} \%$ 。
16. 木板上無負荷時，每人為 5 仟彭；有負荷時，距離為 3 之工人為 25 仟彭，距離為 2 之另一工人則為 35 仟彭。
17. $Z' : 10 = 0.3 : 20$ ， $Z' = 0.15$ 仟彭。

18. 在龍脊方向上者為415.7仟彭，與其垂直者為240仟彭。 19. 150仟彭。 20. 本題為多解題；但是在方向相同的情形下，分力之和必須等於12仟彭；方向相反時，分力之差必須等於12仟彭。

第十五章

1. $1 : 1/2 = x^2 : 6,370^2$, $x = 6,370\sqrt{2} = 9,008.5$ 仟米。 2. 稜錐體之重心距底面 9 厘米，距傾倒邊緣 $\sqrt{15^2 + 9^2} = 17.5$ 厘米。到達傾倒界限時重心之升舉高度為 $17.5 - 9 = 8.5$ 厘米；立方體之相應數值各為 15 厘米， $\sqrt{15^2 + 15^2} = 21.2$ 厘米，及 $21.2 - 15 = 6.2$ 厘米；因此，稜錐體具有較大之立足穩度。 3. $318 \times 20 / (11.15)^2 = 51.16$ 仟彭。 4. 質量中心位于兩球心之連接線上，並將該線分成兩線段，此兩線段和兩質量互成反比 ($m_2 : m_1$)。 5. 外緣之體積為 $120 \times 80 \times 50 = 480,000$ 立方厘米，內部中空之體積為 $116 \times 76 \times 48 = 423,168$ 立方厘米，木料之體積乃為 $480,000 - 423,168 = 56,832$ 立方厘米；今在想像中將木箱以其 0.5×0.8 米之側面放置，並且用同一比重之木料加以補填，于是就得到一個實心四方體，其重心 S 即位於中心，而所補四方體之重心與 S 之間距離為 1 厘米。茲將 S 視為旋轉點，又將木箱之實有重心與 S 之間的距離假設為 x 厘米，于是就得到 $56,832 \times x = 423,168 \times 1$ 之關係。式中之比重已在兩端互相消去； $x = 7.4$ 厘米；開口木箱之重心乃與 1.2×0.8 米之底面相距 $25 - 7.4 = 17.6$ 厘米，重心之位置係在箱內空心部份中。 6. 位于連接角鐵兩邊重心之直線的中點。 7. 重心與 G_2 (端點) 間之距離設為 x； $100 \times x - 40 \times (2 - x) - 60 \times (4 - x) = 0$ ； $x = 1\frac{3}{5}$ 米。 8. $70 : x = (6,370 + 16)^2 : 6,370^2$, $x = 69.65$ 仟彭。 9. 整體之重心可視為旋轉點，設其與底面相距 x； $10 \times 13.6 \times (x - 5) - 20 \times 1 \times (20 - x) = 0$ ，空心圓柱體之斷面積已在上式之兩端消去； $x = 6.9$ 厘米，重心仍在水銀部份中。 10. $K_p - K_a = 100 \times 0.0066 = 0.66$ 百萬彭。 11. 根據 24×12 那一面上長為 12 的一邊者最大，根據 8×12 那一面上長為 12 的一邊者最小；在第一種情形下，屆達傾倒界限時重心所舉升之高度為 $\sqrt{12^2 + 4^2} - 4 = 8.6$ 厘米，在第二種情形下則為 $\sqrt{12^2 + 4^2} -$

$12 = 0.6$ 厘米。 12. 在月球上之重量為 $75 \times 0.01224/(3/11)^2 = 12.34$ 仟彭；日球半徑 $= 1,390,800/6,370$ 地球半徑；在日球上之重量為 $75 \times 329,390/(1,390,800/6,370)^2 = 2,073$ 仟彭。 13. 重心與 a 之間的距離設為 x ； $2.5 \times 30 - x \times 75 = 0$ ， $x = 1$ 米。

第八講內容測驗解答

1. 二力對旋轉軸之轉矩如係相等，而其旋轉方向相反時，即可取得平衡。

2. 求取諸力之總力矩時，只要將所有有關力矩以代數方法相加即可；其中之右旋力矩應算作正號，左旋者應算作負號。

3. 右旋諸力矩之和如係等于左旋諸力矩之和，或者是所有力矩之代數和如係等于零時即取得平衡。

4. 力偶為大小相等，彼此平行而方向相反之二力的組合。

5. 一力偶恒會產生轉動，其轉距等於一力乘以兩力之間的距離，此距離稱為力偶之力臂。

6. 一力偶之力矩可以用任一軸心為依據，其大小均不改變。

7. 我們可以將一力照着它的方向平行移置，但需同時增添一力偶。此力偶中之每一力須與已知之力相等，力偶之力臂則為移置方向與原始方向之間的距離。

8. 一力分解成二分力時，後者恒可以一平行四邊形的兩邊代表之，其對角線即等於原有之已知力。

9. 在原有已知力的作用方向上，我們可以求得它的分力。

10. 力之平行四邊形原理既可認為是二力合成為一合力之定則，同時也可認為是一力分解為二分力之定則。

11. 已知力 R 如係位于二分力方向之間時，則： $K_1 = R \cdot a_2 / (a_1 + a_2)$ ， $K_2 = R - K_1$ 。如係位于二分力方向之外時，則： $K_1 = R \cdot a_2 / (a_2 - a_1)$ ， $K_2 = K_1 - R$ 。

12. 力學上的投影原理是適用於強制運動中力之分解的一項定則。一已知力如果斜對着某強制運動之方向發生作用時，則祇有落在該

運動方向上的分力才會和該運動作用發生關係；此項分力也就是已知力在該運動方向上之投影。

13. 斜面之斜度是用斜面的長和高之比來代表的。

14. 可分為兩種情形。平行于斜面之長（或底）而發生作用之力和放置在斜面上的負荷之比，如果是等于此斜面的高和長（或底）之比時，則此力即能和斜面的負荷取得平衡。

15. 凡能繞着一軸擺動的物體都算是物理上的擺，數學上的擺則係想像中由一沉重的質量中心掛在一根沒有重量的剛固直線上所構成者。

16. 那是因為擺錘所行經之路程可以當作是一連串的，一個接着一個的斜面的緣故。

第十六章

力和運動（續）

A. 課 程

〔134〕**靜止和運動** 現在我們要轉而研究固體運動的學說（動力學）。判別一物體是在靜止中還是在運動中時，有一點必須先弄清楚的，那就是我們究竟是由何處來觀察這種情況的。如有人坐在正在行駛的火車裏面，則由火車上看來，此人係在靜止之中；但如由路邊上看來，此人乃係隨同火車在運動之中。所以一個物體對於第二個物體如果是爲靜止時，對於第三個物體則可能是在運動之中。列車停駛在車站上時，連人帶車對於地球均在靜止之中，但是在日球上的觀察者看來，兩者却均在運動中。這是因爲地球上的一切物體皆隨着地球圍繞地球軸而在旋轉，同時更隨同地球圍繞着日球而在運動的緣故。對恒星而言，即使是我們的日球也並非靜止者，日球本身也是連同其行星和衛星以每秒鐘20千米之速度，在恒星宇宙中取循武仙星座之方向迅速運行。最後，恒星也是在運動之中，祇不過在地球上的觀察者看來，恒星之運動是如此之慢，往往要經過幾千年之後，才能在星座圖中看出顯著的位移。

因此之故，我們必須放棄尋找一個絕對靜止環境之企圖，何況根本就沒有一種方法是可以用來證示一物體是在絕對靜止之中。我們祇能就外觀上來確定一物對於其四周之另一物體是否保持其位置不變，所以也祇能談到**相對的靜止和相對的運動**。我們於是說：一物體在它的四周環境中的位置如能保持不變，此物體即係在靜止之中；反之，如果它在四周環境中的位置變更時，此物體則係在運動之中。通常在研究物理時，最好是將地球的表面當作是靜止的物體，而將所有的靜止與運動狀態，均以地球表面爲基準。於是，地球即成爲我們的觀察據點或“基準系統”。

重要的是要去認識這一點，那就是，連運動的性質亦保隨着基準系統而改變的。騎自行車的人在坐墊上觀察時，他的腳尖是在畫出圓周之軌跡；但是路傍的觀察者所看到的却為完全不同的圖象。在後者看來，騎車人腳尖畫的是一條波形曲線，也就是如同第 284 圖中所示之擺線。在火車上的旅客看來，一物體在車內被放鬆以後是垂直落下的。但是在路旁的觀察者看來，此同一落體則繪出一拋物線。這是因為在後者看來，此物體具有兩種運動的緣故，那就是追隨火車的水平運動和垂直的墜落運動。



第 284 圖 靜立之觀察者所見自行車踏蹬之軌跡

當我們看到某一物體正對着另一物體移動時，每易陷入迷惑，不能由所看到的情形來斷定，實際上究竟那一個物體是在運動之中。一個人如果率真地對於一切悉以自己的印像為主，就會把地球當作絕對不動的物體；並且會看到，星體顯然是正對着地球在運動，就好像這些星體是固定在天穹之中，此天穹則係由東向西而旋轉的一般。在人類的發展史中，直到晚近的年代，人類才看出天體運動實在是由於地球之由西向東繞軸自轉之結果。倘若我們坐在一列火車裏面，而旁邊又有另一列火車同時停在軌道上，但當這另一列火車實際開動時，我們却往往會以為是自己所坐的一列火車在開動着，一直要等到再看見附近的另一固定物，譬如車站上的柱子時，我們才會明白究竟是那一列火車在運動着。另如我們站在橋上觀看駛過橋下之小船時，也往往會有一種船為靜止而橋在運動之感覺。

〔135〕 **等速運動、速度** 爲了要能將下述思考儘量簡明地敘述出來，我們不去觀察實物的運動，而去觀察一種想像中的點狀物體之運動，也就是所謂質點之運動。在同等大小不拘的時間單位中，一質點在其軌道之移動距離如果是相等的，則此質點之運動便是**等速的**。換言之，倘若此質點在任何整整一秒鐘裏，就如同在其他任何整整一秒鐘裏一樣，移動着同一長短的一段距離；或是在任何幾分之一秒鐘裏，就如同在其他的任何幾分之一秒鐘裏一樣，移動着同一長短的一段

距離，這都是等速運動。舉例言之，即如在每一秒鐘裏爲6米，在每一半秒鐘裏爲3米，在每一十分之一秒鐘裏爲0.6米等等。

等速運動之質點在單位時間中所行經之路程長度稱爲此質點之速度，因此表明速度的數值，乃和所選用的長度單位和時間單位有關。一般係在速度數值上，加附米 / 秒（讀爲每秒……米）或仟米 / 時（讀爲每小時……仟米）等符號，來表明所採用之長度單位和時間單位。茲舉一例，向各位說明這些不同數值之間的關係：

$$240 \text{ 仟米 / 時} = 240 / 60 = 4 \text{ 仟米 / 分} = 4 / 60 = \frac{1}{15} \text{ 仟米 / 秒} ;$$

$$240 \text{ 仟米 / 時} = 240,000 \text{ 米 / 時} = 240,000 / 60 = 4,000 \text{ 米 / 分} = 4,000 / 60 = 66.6 \text{ 米 / 秒} \text{ 等等。}$$

等速運動在實際情形中很少出現；但是爲了許多實用的目的，我們可以把某一段時間中的運動，視爲接近于等速者。下列附表中的速度資料，即係根據此種意義而列出：

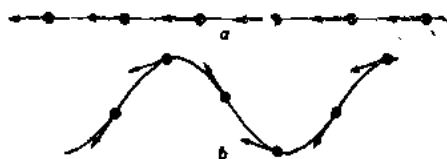
速 度

人體主要毛髮之生長	0.000003	毫米 / 秒
勃郎峯冰川之滑動	0.006	毫米 / 秒
蝸 牛	1—1.5	毫米 / 秒
人體大動脈中之血液	75—90	毫米 / 秒
1 仟米 / 時	0.2778	米 / 秒
1 節 (=1海里 / 時 = 1,852 仟米 / 時)	0.5144	米 / 秒
步 行 (4 仟米 / 時)	1.1	米 / 秒
自由式游泳 (100 米 / 分)	1.7	米 / 秒
划 船 (11 仟米 / 時)	3	米 / 秒
跑 馬 (12 仟米 / 時)	3.3	米 / 秒
騎自行車 (15 仟米 / 時)	4.2	米 / 秒
馳 馬 (•16 仟米 / 時)	4.4	米 / 秒

帆 船 (17 仟米 / 時)	4.7	米 / 秒
馬拉松長跑	4.8	米 / 秒
溜 冰 (20 仟米 / 時)	5.5	米 / 秒
輕 風 (四級)	6—7	米 / 秒
輕快帆船 (30 仟米 / 時)	8.3	米 / 秒
賽 跑 (100 米 / 10.1 秒)	9.9	米 / 秒
雨 點 (40 仟米 / 時)	11	米 / 秒
電 車 (45 仟米 / 時)	12.5	米 / 秒
鐵路貨車 (50 仟米 / 時)	14	米 / 秒
海 輪 (54 仟米 / 時)	15	米 / 秒
信 鴿 (60 仟米 / 時)	17	米 / 秒
強 風 (8 級)	15—18	米 / 秒
鐵路客車 (80 仟米 / 時)	22	米 / 秒
獵 犬 (90 仟米 / 時)	25	米 / 秒
暴 風 (10 級)	25	米 / 秒
汽 車 (120 仟米 / 時)	33.3	米 / 秒
颱風 (144 仟米 / 時)	40	米 / 秒
鐵路快車 (160 仟米 / 時)	44.4	米 / 秒
賽 車 (290 仟米 / 時)	80	米 / 秒
家 燕 (320 仟米 / 時)	90	米 / 秒
飛 機 (720 仟米 / 時)	200	米 / 秒
空中之聲音 (20°C 時)	340	米 / 秒
赤道上地球自轉運動	465	米 / 秒
0°C 時之空氣分子	485	米 / 秒
步 兵 槍 彈	900	米 / 秒
噴氣式驅逐機	940	米 / 秒
月球環繞地球運行	1	仟米 / 秒
地球環繞日球運行	30	仟米 / 秒
真空中之光波與電波	300,000	仟米 / 秒

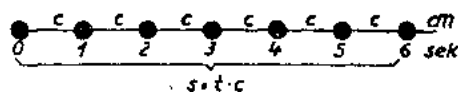
速度的數值僅為速度之決定因素之一，所以我們還得要加上

速度之方向作為第二個決定因素。速度與力相似，也是一種向量（參考第七講第 111 節），所以應該具有方向和大小。一質點在一根直線上運動時，此直線也就表明出該質點速度的不變方向（第 285 圖 a）。如果該質點是在曲線軌道上運動時，則每一點上的速度方向均不相同。在此種情形下，該質點在其一點上的速度方向，可用一根切線來代表，此切線即在此點與曲線軌道相切（第 285 圖 b）。



第 285 圖 速度之方向，係與曲線軌道之切線重合。

現在我們要來列出一個公式。等速運動中某一質點之速度設為 c 厘米 / 秒時，則該質點在 2 秒鐘後移動 $2c$ 厘米；3 秒鐘後移動 $3c$ 厘米； t 秒鐘後移動 $t \cdot c$ 厘米（第 286 圖）。設以 s 代表所經過的路程，則下列之簡單關係必可成立：



第 286 圖 等速運動之圖示。路程 = 時間 × 速度。

$$s = t \cdot c,$$

這就是：

$$\text{路程} = \text{時間} \times \text{速度}。$$

用簡單的代數方法變換以後，就得到

$$c = s/t,$$

這就是：

$$\text{速度} = \text{路程} / \text{時間},$$

以及 $t = s/c,$

這就是：

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

s、t、c 是拉丁文中 spatium = 路程；tempus = 時間；celeritas = 迅速程度三個字的起始字母。s = t · c 乃被稱為等速運動的路程—時間定律。

茲舉出幾個例題來應用此項公式：

例 1：設有一快車以 100 千米 / 時之速度行駛，試問其速度為若干米 / 秒？ $100 \text{ 千米 / 時} = \text{每 } 3,600 \text{ 秒 } 100,000 \text{ 米}$ ，也就是 $100,000 / 3,600 = 27.7 \text{ 米 / 秒}$ 。

例 2：設有一帆船以 8 米 / 秒之速度等速航行，試問在 $3/4$ 小時中航行若干千米之路程？ $3/4 \text{ 時} = 2,700 \text{ 秒}$ ； $s = 2,700 \times 8 = 21,600 \text{ 米} = 21.6 \text{ 千米}$ 。

例 3：一通信鴿在 22 分鐘以內飛行 22 千米，設其飛行係等速運動時，問其速度應為若干米 / 秒？ $c = 22,000 / 1.320 = 16.6 \text{ 米 / 秒}$ 。

例 4：地球與日球之間平均距離設為 150,840,000 千米，試問光線由日球到達地球需要若干分鐘的時間？ $150,840,000 / 300,000 = 502.8 \text{ 秒} \sim \text{約 } 8 \frac{1}{2} \text{ 分鐘}$

例 5：地球在它環繞日球運行的軌道上之速度為若干米 / 秒？軌道之圓周 $= 2\pi \times r$ ； $\pi = 3.14$ ； $c = 2\pi \times 150,840,000,000 / 365 \times 24 \times 60 \times 60 = 30,000 \text{ (約) 米 / 秒}$ 。

在航海中均用海里作為長度之單位。1 海里 = 1 千午線弧分 ($1'$) = 1,852 米。船速則用“節”(Knoten) 做單位來量度。1 節 = 每小時 1 海里。一艘船之速度如為 10 節，就是表示這艘船每小時航行 10 海里 = 18,520 米。

在天文學中，係用光年作為長度之單位。所謂光年並非是表示時間的數值，而是光線在一年中所行經之一段距離。光線之速度等於 300,000 千米 / 秒，所以 $1 \text{ 光年} = 300,000 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60 = 9.5 \times 10^{12} = 9.5 \text{ 萬億千米}$ 。近年來又應用星距作為單位。某星體之視差如為 1 弧秒 ($1''$) 時，此星體之距離即為 1 星距。所謂視差，指的是從有關星體來看地球環繞日球軌道的半徑時所現出之角度。此項視差即使就最近的恒星而言，也是非常之小，祇能用弧秒的一部份來量度。1 星距之距離又稱為 1 視差秒 (Parsek)，亦即等於 3.26 光年之距離。

到目前爲止，我們所知道的那顆離我們最近的恒星是在南部天體半球上的一級大星，稱爲 α -Centauri。它的視差爲 $0.75''$ ，這就是說，其光線需要經過 4.3 年才能到達我們的地球上，也就是說它和地球之間的距離爲 4.3 光年。

〔136〕**力學上之牛頓第一基本定律或慣性定律** 從日常經驗中，我們知道一個靜止的物體如非受到外界之影響，決不會進入運動之中。又知道在大多數的情形下，運動中的物體均將使其運動逐漸慢下來，終于停止不動。不過物體在運動中所受摩擦或其他阻礙愈小時，該物體之運動愈能持久，這也是每一個人所看得到的事實。滑橇在光滑的冰面上被推動而滑開時，要比在柏油路上滑得更遠一點，這是因爲在滑橇與柏油之間，要比滑橇與冰面之間，存在着更大的摩擦阻力的緣故。我們從所看到的這一類事實中可以得到一項信念，那就是物體在進入運動以後，如果不受到任何阻力之影響，則此物體將保持其速度而不變。天文上確認的現象，以供作此項信念之證明。地球連同其空氣層在真空的太空中像陀螺一般地繞着地球軸旋轉時，其旋轉的速度就幾乎可說是並無顯著的變化。

伽利略氏首先認清一項事實，那就是：祇有運動之障礙才是使運動變慢的原因；如果沒有這些障礙，運動將持久不懈，並保持其原有的運動方向而不變。在各種情形之下，如其速度大小或速度方向，發生了可以令人察覺得出來的變化之處，則我們都能找到所以會發生此類變化的原因。陀螺所以會轉得愈來愈慢，是由于摩擦力的關係。斜着向空中拋出石頭時，石頭所以會偏離其起初直線軌道，是由于地心引力之緣故。

假如沒有外界的影響，一物體決不能改變其運動狀況；這就是說，它既不能由靜止之狀態進入運動之狀態，也不能由運動之狀態進入靜止之狀態，同時更不能改變其運動之方向和形式，也就是不能將原先的直線軌道改換成曲線的軌道，或是在所行路程中不能夠變得或快或慢。**牛頓**用三項所謂基本定律，奠定了力學之基礎，他將物體之不僅保持其速度大小，並且還要保持其運動方向的這種企圖，在第一定律中闡明如下：每一物體祇要是沒有受到外力之影響來強迫其改變，則

將保持其靜止狀態或直線軌道之等速運動狀態而不變。

所謂加在靜止物體或運動物體上的外界之影響，可以“力”字來代表。所以力總是改變運動之原因，譬如如是改變速度之大小，或是速度之方向，或是兩者均予改變。凡是一個靜止的物體被轉入運動狀態，或是一個運動的物體被轉入靜止狀態，或是一個運動的物體被轉離其直線軌道，總是要和力之作用發生關係的。關於這一點，我們已經在第七講第 108 節中根據動力學的立場提到過，現在再來進一步加以研究。沒有外力影響時，物體總不會改變其運動狀態的大小和方向，這種特性我們稱之為物體之**慣性**或**持續能力**。上述之牛頓第一基本定律因此亦稱為**慣性定律**或**持續能力定律**。

如上所述，我們就要注意到一點，那就是：一個在直線軌道上的等速運動，其所以能持續不變者，並無特別的原因存在；但是在另一方面，如果上述情形不再如此，則我們却反而要歸咎於外力影響之所致。此種外力通常總是由摩擦、重力、空氣和水的阻力等等而發生的。我們在日常生活中，常常看到一個物體祇在連續地受到力之作用時（汽車引擎、機車），才能維持其等速運動於不墜，此力也就是推動物體（汽車、火車）前進的主要因素。由于上文所述原因，我們可以看出此種現象並非和慣性定律有所抵觸，因為此種所謂向前推動的力量，其任務祇不過是克服那些阻擋的力量（摩擦、空氣阻力）而已。

除了重力以外，慣性乃是質量的另一特性。我們對“重力”的意義早已熟習了；每一質量都會受到地球之吸引，這種吸引力我們稱之為此質量之重量。對於“慣性”一詞，我們可以作如下之解釋：每一質量對於其運動狀況之發生變化，均具有抗拒性；或者可以說，每一質量均需要有力和時間來改變其速度。如果有充份的時間，祇要有極小之力發生作用，就可以改變質量之速度。如果要想在極短的時間之內改變其速度，就非需要極大之力不可。茲舉一實例來闡明此種關係。在第 287 圖中有一球掛在 $\circ$ 線上，球身下端，在同一樣堅固的 u 線上縛着一個手柄。慢慢地向下拉動手柄時，通常只有上端的 $\circ$ 線會被拉斷。所謂慢慢地向下拉動也就是使得速度在相當長的時間中發生變化，以便具有慣性之球跟隨得上。由于上端之 $\circ$ 線除了人手的拉力以外

，另外還受到掛在線上的球的重力，所以它要比下端的 u 線斷得較早。但如突然地向下拉動時，通常就只有下端的 u 線會被拉斷，即使在換用一根粗一點的線的時候也是如此。所謂突然地向下拉動，也就是在相當短的時間中改變速度，如此則具有慣性之球，便會抗拒此種劇變，所以早在此球能夠跟得上一段明顯距離，使得上端 o 線的負荷增大以前，下端的 u 線早已超出其斷裂界限而被拉斷了。

靜止之物體在進入運動之際，會遇到抗拒的阻力；運動之物體則在其速度大小或方向上發生變化時，亦會遇到一種抗拒的阻力。此項阻力，因為是出自物體之慣性而發生，所以稱為**慣性阻力**。物體之質量愈大，以及它的速度大小或速度方向達到某種改變程度之時間愈短，則物體的慣性阻力亦愈大。

物體一旦獲得某種速度以後，中途如無阻礙，物體之慣性就能夠將此種速度維持到無限之久。理論雖屬如此，我們却決不能直接用實驗來加以證明，這是因為我們絕對無法將一切



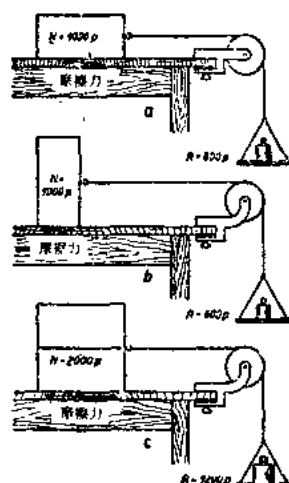
第 287 圖 顯示靜止質量之慣性，具有抗拒劇變能力。

阻礙全部去除之故；不過由慣性定律所引出之結論却與目睹之事實相符。在日常生活中，有許多現象都是由於物體之慣性質量具有持續能力所引起的。當我們從行駛之車輛中跳到路旁時，我們在短時間內仍會保持着行車的速度；又當我們着地之際雙足停駐不動時，上體仍然是處於運動狀態之中，因此，朝着車行方向跳車者乃以面部仆地，背着車行方向跳落者則以背部仆地。跳車者如想避免仆倒，殆非於跳落時順着車行方向繼續奔跑一段距離不可。又如我們將一把手柄震動的銼刀以柄端擊撞桌面時，手柄雖已接觸桌面，但銼刀向下之運動却仍須持續片刻的時間，因此銼刀才會嵌緊在手柄之中。從鍋筆裏甩出墨水來也是一種類似的情形。我們坐在急駛之車輛中，如遇突然停止，上體必定會順着車行方向朝前衝去，因為在這時候，和車輛直接接觸的下體雖然已經隨着車輛同時進入靜止狀況，但是上身多多少少還要順着車行的方向運動一些時候。又如車輛突然開動時，上身則向後仰

跌，和車行方向正是相反。這是因爲下身雖已隨着車輛同時進入運動狀態，上身却仍在靜止中的緣故。許多人厭惡乘電梯時的感受，這也是由于慣性作用所致。譬如在乘電梯急速上升時，人體之骨架可以立即追隨電梯之速度，繫于肌肉及韌帶之間的柔軟器官如腸胃等，却會把它們的靜止狀態保持得稍久些。此時，腸胃就像發生了重力一樣地拉動所附着之器官，于是在肌肉上就有一種應力產生出來。還有一種完全類似的情形，那就是迅速地移開一碗水時，水就從碗邊上向外面潑出；又如突然拉出抽屜時，抽屜裏面的東西就會向後面滑動。

轉動車輪時，輪上所附水濺會取循切線的方向而射出。此種現象，可使我們看出物體保持其運動方向不變的企圖。在車輛轉彎時，如果我們仍然無所依靠地站在車輛上，那就一定向着彎曲線之外側仆倒過去。

〔137〕運動之阻礙、摩擦和介物阻力 我們在上一節中，曾經把摩擦認爲是一種對於物體運動會發出抑制作用之力；現在我們要再進一步加以研究。如第288圖a所示，有一物體靜置於水平檯面上，另用一個水平方向之力使其進入運動；此力之大小可從測力計上讀出，或者是以一個重量來測定之。我們會從實驗中看出來，這並不是用任意微小之力就能做到的。倘一物體以其本身的重量，對着檯面施予一垂直壓力，而此壓力 $N=1,000$ 彭時，那就要用 $R=600$ 彭之拉力，才能使此物體進入運動。某力能使一物體進入運動時，此力總得先要超過某一定的低限值；此低限值乃由下列原因而產生；物體與承托物互相接觸時，接觸表面上微細的凹凸處所，即互相嚙合；此種凹凸不平的情形，雖經最完善的磨琢，亦不能完全免除(第289圖)。此種我們稱之爲摩擦的嚙合情況，其作用就像是產生了一個和運動方向相反之力一



第 288 圖 關於摩擦的實驗
 $R=f \times N$

樣；它的大小係用那個恰巧能與其抵銷之力來量度。如同上述例子中所需之力，其大小須與物體質量給予承托面上的壓力之 $3/5$ 相等，才能克服此種摩擦（啗合情況）。兩個發生摩擦物體在相互之間所施予之壓力，由於其總是垂直于摩擦面的緣故，通常都稱為正壓力。 $3/5$ 這個數目稱為靜止摩擦係數，通常是用 f 來表示，並能適用 $f = R/N$ 之公式；這就是說，摩擦係數等于摩擦/正壓力。從該式又可以得到 $R = f \cdot N$ ，這就是說，摩擦力 = 摩擦係數 $\times$ 正壓力。摩擦係數之數值恒小于 1，這就是說，摩擦力始終祇是等于正壓力中幾分之幾的一個分數。



第 289 圖 以啗合情況來說明摩擦作用

如果把物體放在一個斜面上做實驗時（第 290 圖），我們就很容易求出其摩擦係數。在一個斜面上的物體，並非在任何情形中均能從斜面上滑下，而是往往會停置在斜面上；此時我們就說，這是摩擦力緊抓住物體不放。接着我們就可做實驗，看看究竟要讓斜面具有若干大之傾斜角度 α ，才能恰巧使此物體進入運動，也就是開始滑動。在此一瞬間，摩擦力恰巧被運動分力 Z 所克服。物體加在斜面上的壓力並非是物體的重量 G ，而是物體對斜面所施予的垂直壓力 D ，第八講第 245 圖中那兩個類似的三角形，即可由 $D : G = b : l$ （底：長）求得正壓力 $D = G \cdot b/l$ 。此外，由於那幾個三角形的相似性，又知 $Z : D = h : b$ （高：底）。於是，根據我們對摩擦係數所下之定義，乃得到 $f = Z/D = h/b$ 這個公式；這就是說，一斜面的斜度恰巧能使物體進入運動時，此斜面的高和底之比，即為靜止摩擦係數。我們從三角學中又知道 $h/b = \tan \alpha$ （ α 角之正切），于是又得到下面這個公式 $f = \tan \alpha$ 。由上述實驗所求得之最小傾斜角度稱為靜止角。例如在第 290 圖中，就可以從沙堆上的沙與沙之間的摩擦關係看出靜止角來。



第 290 圖 試求靜止角之實驗

已經在運動中的物體，祇要有一較小之力，便能克服摩擦而保持