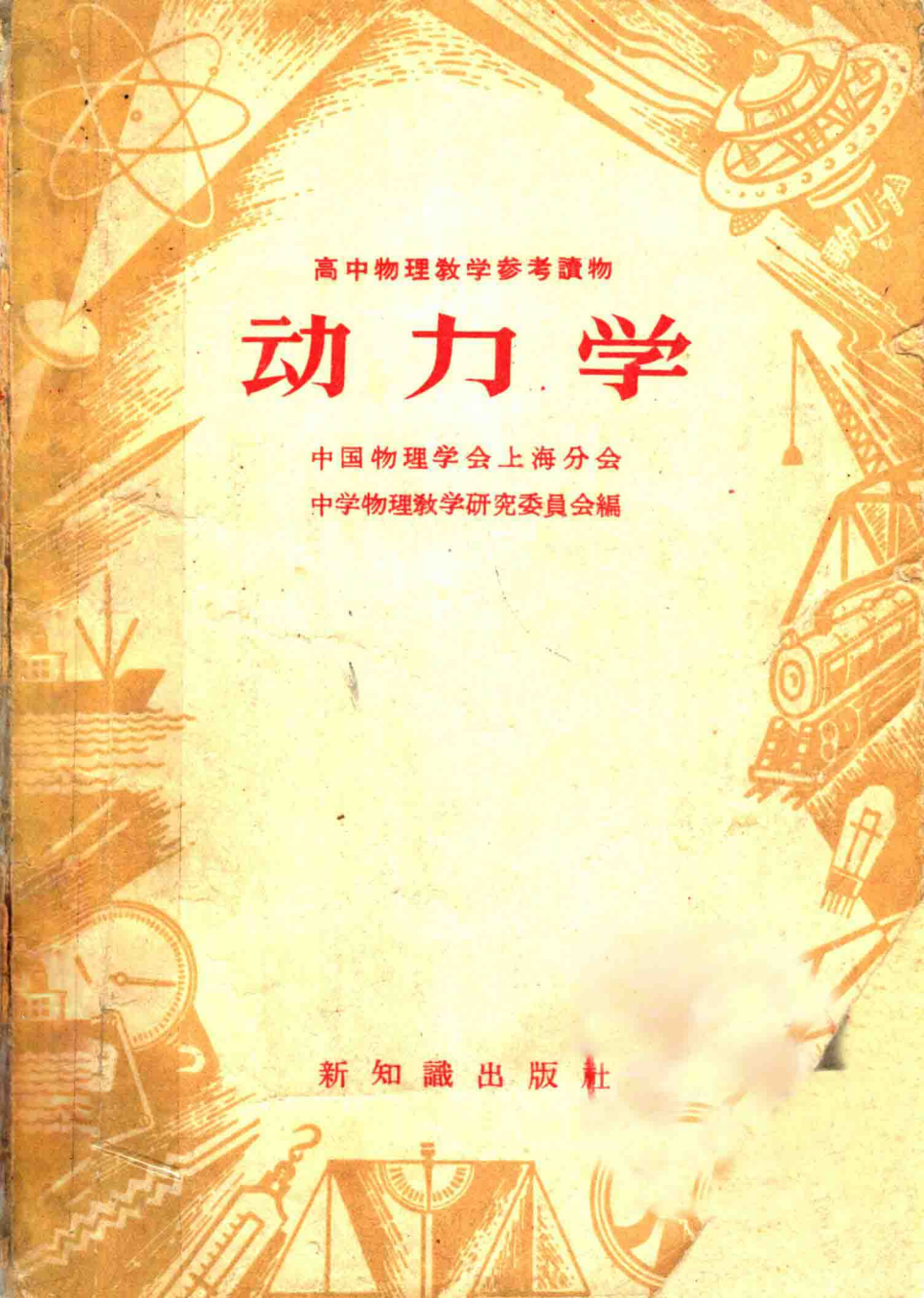




高中物理教学参考读物

动力学

中国物理学会上海分会

中学物理教学研究委员会编

新 知 識 出 版 社

高中物理教学参考讀物

动 力 学

中國物理学会上海分会
中学物理教学研究委员会編

高中物理教学参考读物
力 学

中国物理学会上海分会
中学物理教学研究委员会编

*

新 知 識 出 版 社 出 版
(上海湖南路9号)

上海市书刊出版业营业许可证出015号

上海國光印刷厂印刷 新華書店上海發行所总經售

*

开本：787×1092 1/32 印张：3 字数：66,000

1966年11月第1版 1958年1月第8次印刷

印数：289,001-324,000本

統一書号：13076·78
定 价：(7)0.28元

前 言

为了適應当前中学物理教学的需要,帮助教师更好地掌握教材,本会决定根据“中学物理教学大綱”修訂草案和高中物理新教材編寫一套高中物理教学参考讀物。共計十二册,从 1956 年 9 月开始,陸續出版。在第一册“运动学”里,介紹了物体的各种直綫运动和有关的物理概念,但没有涉及物体作这种运动或那种运动的原因。本書將着重闡明运动跟力的关系。“动力学”的主要内容是牛頓运动三定律和力的平衡,相当于高一教材的第三、四、五章。由于一般同学在学习时往往搞不清一个物体究竟受到哪些作用,它怎样作用在别的物体上,本書对“隔离法”作了比較詳細和深入的介紹,并配合各种类型的問題分別加以分析和說明。关于力的平衡也作了些引伸,以期能深入洞悉問題的本質,作出有效的分析和解答。

在課堂教学中,教师仍应根据課本進行教学,以完成中学阶段的教学目的为首要任务,对同学的要求不应过高过急。本書內容不过是提供教师作为参考,决不能用来代替課本上的教材。

每章后的参考題,教师可以根据班級基礎在复習或考查时挑选应用。

本書依据編輯委员会拟定的提綱,由徐昌权同志執筆寫出初稿,經束世杰、江浩、賈冰如、徐昌权、楊逢挺等同志兩次集会討論,由賈冰如、徐昌权兩同志作了刪改和补充,再經束世杰同志校訂,最后由江浩、楊逢挺同志根据各方面的意見作了修正。虽然如此,因限于水平,难免有許多不妥当的地方,希望从事物理教学的同志們予以批評和指正,以便在再版时修正和改進。

中國物理学会上海分会
中学物理教学研究委员会

1956 年 10 月

目 錄

第一章 牛頓运动三定律	1
(一)牛頓第一运动定律	1
1. 牛頓第一运动定律	1
2. 力的概念	3
3. 重力 彈力 摩擦力	5
4. 慣性	8
(二)牛頓第二运动定律	9
1. 質量	9
2. 牛頓第二运动定律	11
3. 單位制	17
4. 冲量和动量——牛頓第二运动定律的另一种形式	20
(三)牛頓第三运动定律	21
1. 物体的相互作用	21
2. 牛頓第三运动定律	23
3. 动量守恒定律	27
(四)牛頓定律的应用	30
第二章 力的平衡	46
(一)共点力的平衡	46
1. 合力 分力 平衡力	46
2. 力的合成	49
3. 力的分解	58
4. 共点力的平衡条件	63
(二)剛体的平衡	73

1. 剛体.....	73
2. 力矩.....	73
3. 有固定轉軸的剛体的平衡.....	75
4. 平行力的合力.....	77
5. 重心.....	79
6. 力偶.....	84
7. 一般剛体的平衡条件.....	85

第一章 牛頓運動三定律

自 1686 年英國物理學家牛頓 (1643—1727) 總結前人在力學方面的種種發現，加上他自己的觀察和實驗，發表著名的牛頓運動三定律以後，力學的發展，可以說是日千里。十八、十九兩個世紀里的科學家們，在牛頓定律的基礎上，發揚光大，使力學在科學領域中，在生產技術上，獲得了光輝的成就。雖然從十九世紀末葉以來，新現象不斷發現，使牛頓的某些基本概念必須修正，但只是修正而已，並不是說牛頓定律已被推翻不能用了。相反的，在很大範圍內，它還是能夠很正確地反映客觀規律的。因此，我們必須首先掌握这三條定律，否則是不會有條件鑽研物理這門科學的。並根據我們的經驗，牛頓運動三定律，大家可以背得很熟，但實際應用時，問題很多。因此，我們這裡附了一些例題作為參考，希望通過這些例題，能加深對這重要定律的認識。

力的平衡；實際上是牛頓運動定律的一個特殊情況（加速度等於零）。我們這裡介紹的可能和教科書上講的有些不同，但這些方法是學習高一級物理學的基礎。教學時，當然還應根據“中學物理教學大綱”：“在實驗的基礎上用圖示法來進行教學……不進行任何需要三角知識或勾股定理的計算”。這是必須注意的。

(一) 牛頓第一運動定律

1. 牛頓第一運動定律

在日常生活我們可以看到，一個靜止的物體，我們不去碰

它,它是不会运动的。一个本来运动着的物体,如果把它放在粗糙不平的地面上运动,它的速度很快就会减小,并且不久就会停止。如果在比较光滑的水泥地上运动,速度就比较慢一些减小,并且要运动得比较远一些才停止。如果在更光滑的冰上运动,速度就更不容易减小,而且运动得更远才停止。我们推想,假如物体在这样一个面上运动,这个面光滑到连一点摩擦也没有,那末物体的速度将不会减小,继续以这个速度运动,永不停止。我们叫它匀速运动。另外,我们还看到物体在运动过程中,碰到障碍物就改变方向,否则总是沿直线运动的。

总结上面的现象,我们得到:物体在不受别的物体作用时,则保持自己的静止状态或匀速直线运动状态不变。这就是牛顿第一运动定律。

这定律使我们知道:

第一,如果要改变物体的运动状态,必须有别的物体对它作用。在上例中,只考虑地面和物体间的摩擦,这是为了简单易懂。实际上,空气等阻力都应该考虑。所谓不受别的物体作用,意思是作用在物体上的一切影响都抵消了,因此说这个物体作匀速直线运动。

第二,所谓改变物体运动状态,就是改变物体运动速度。但速度是一个矢量,所以速度的大小和方向都变,或大小变方向不变,或大小不变方向变,都表示速度改变,都是改变运动状态,都需要别的物体的作用。静止只是速度等于零的运动状态。

在日常生活中,我们很容易找到速度作各种变化的运动。例如:从枪口射出的子弹,由于受到地球的引力,使它沿抛物线运动,速度的大小和方向都时刻在变。地球由于受到太阳的引力,使它绕太阳作匀速圆周运动(近似的),速度的大小不变,方向变。从树上落下的苹果,在重力作用下,沿直线作匀加速运动,是

速度的大小变方向不变例子。

第三，靜止状态和匀速直綫运动状态，都表示速度沒有变化，也就是都沒有加速度。因为在这两种状态下，速度的大小和方向都沒有变化。因此，都不需要别的物体的作用。

第四，这定律是从客观事实中間接推導出來的結論，不能用实验來直接驗證。因为世界上沒有一个物体可以孤立地存在着而不和其他物体發生联系的。換句話說“物体不受其他物体作用”这句话是理想的，不合事实的。因此，对于这句话的正确理解應該是：物体受到其他物体作用，但这些作用剛巧平衡。例如放在桌上的茶杯，一方面受到地球的作用（茶杯的重量），另一方面又受到桌面的作用（桌子托茶杯的力），这两个作用剛巧平衡，所以茶杯不动。如果我們把桌子的一边抬高些，两个作用就不能平衡，茶杯就要沿桌面滑下去了。

2. 力的概念

牛頓第一运动定律的重要性在于它指出了力的意义。这个定律首先使我們知道，物体不受其他物体的作用时，它的运动速度保持不变。其次又使我們知道，其他物体的作用可以迫使物体改变速度，獲得加速度。因此我們把力的意义定为：任何使物体產生加速度的别的物体的作用都叫做力。

人們对于力的認識，最初是从肌肉的感觉中獲得的。例如把一根樹枝拆断，把一塊石头提起等等，我們必須使用一定的“勁”，說明人們在对樹枝和石头等作用时，人們从肌肉的感觉中產生了力的概念。

物理学上所講的力，本質上是和我們經驗中的力一致的，不过比較确定些嚴格些。我們把力看作是什么物体間的相互作用，这种作用使物体改变速度，獲得加速度，所以我們也說力是產生

加速度的原因。

对于力的概念,普通有兩種錯誤認識。第一,有人以为力是維持物体运动速度的原因。例如:馬繼續不断地使勁,才能使車子前進,如果馬不使勁,車子就会停下來。这是从表面現象看問題,不全面,缺乏深入的分析和研究。运动着的車子所以要停下來,是因为摩擦力的关系。前面举的例子就足以說明这个問題。任何运动物体,都在摩擦力、空气阻力等外力作用下,这些外力使物体的速度逐漸减小。如果这些外力减小到可以不計的程度,那末本來运动着的物体自己是不会停下來或慢下來。

这个問題,在物理学史上,也曾有过爭論。亞利斯多德就曾經說过:如果撤去作用在物体上的力,物体就停下來。直到伽利略經实验分析后,指出了运动有匀速和变速的区别,只有变速运动才有力的作用。这样才糾正過來。

第二,有人以为力是產生速度的原因,不是產生加速度的原因。这种想法的人很普遍,糾正也比較困难,特別是对作用時間極短的現象,例如他們說:靜止着的皮球,踢它一脚,它运动了,得到了速度;一个足球踢過來,踏住它,足球停止了,它的速度变为零;这样的例子他們能举出很多。錯誤的關鍵到底在什么地方呢?在于他們还不理解加速度这个概念。他們所举的例虽然都对,但速度由零变为某一速度,或由某一速度变为零,或由某一速度变为另一速度,一定有个过程。換句話說,速度的改变是漸变的,不是突变的,因此,一定有个時間因素在里面,这个時間可能很長,也可能很短。我們把这个速度的变化,与完成这个变化所經過的时间的比,叫做加速度。比如我們踢足球,假使脚和足球接触的时间是0.1秒,球的速度由零变为5米/秒,那末足球得到的平均加速度就是
$$\frac{5-0}{0.1}=50 \text{ 米/秒}^2$$
。如果我們把脚和球的

接触時間 0.1 秒，分成 0.01 秒、0.02 秒、0.03 秒……0.1 秒几个階段(当然还可以分得再小些)，假使速度的变化是均匀一致的话，那末①

$$0.01 \text{ 秒末的速度} = 50 \times 0.01 = 0.5 \text{ 米/秒,}$$

$$0.02 \text{ 秒末的速度} = 50 \times 0.02 = 1.0 \text{ 米/秒,}$$

$$0.03 \text{ 秒末的速度} = 50 \times 0.03 = 1.5 \text{ 米/秒,}$$

直到 0.1 秒末的速度 $= 50 \times 0.1 = 5 \text{ 米/秒}$ 。

所以，脚对足球作用的结果，使足球获得了加速度 50 米/秒^2 ，而它的速度是跟力所作用的时间的延長逐漸增大的。

对于力的意义，我們的祖先在兩千四百多年前就已經認識了。我國偉大的思想家墨翟，在他所著的墨經中就說過：“力，形之所以奮也”。又說：“力，重之謂”。这里的“形”作物体講，“奮”作运动講，或作快講。第一句說明物体所以能够从靜止开始运动，或者得到加速度，是因为受到力的作用的緣故。第二句說明物体有重量是力的表現之一。

这里我們还要強調指出，世界上沒有一种叫做力的东西能够独立地存在着的。力是一个物体对另一个物体的作用，离开了物体來談力是沒有意义的。

3. 重力 彈力 摩擦力

上面說過，力是一个物体对另一个物体的作用。由于作用方式的不同，我們把力分为重力(擴大点講是万有引力)、彈力、摩擦力、电力等等。力学里常見的是重力、彈力和摩擦力。

重力就是物体的重量。它是由于地球的吸引而使物体受到的力。重力和物体的質量有密切的联系，實質上是两个完全不同

① 实际上踢足球用的力是冲力，足球开始的运动并非匀加速运动，此地为了便于說明問題，所以当做匀加速运动來处理。

的物理量,至于为什么說是两个完全不同的物理量,留在質量一節里再談。

物体受到外力作用时,一定發生形变。即使外力很小,形变也一定發生,不發生形变的物体是沒有的。物体發生形变时,内部就要產生反抗外力來恢复它原來的形状,这个力就叫做彈力。形变愈大,彈力也愈大;形变消失,彈力也消失。

最常見而应用又最廣的,要算是彈簧的彈力。根据虎克定律:在彈性限度內,彈力 F 和彈簧的伸長或壓縮 l 成正比。即

$$F = Kl$$

式中 K 称为彈簧的掘强系数,它是随彈簧而异的恒量。

兩物体相互接触时,不僅要產生和接触面正交的压力,还要產生和接触面平行的摩擦力。摩擦力產生的原因很复雜,除了接触面粗糙不平外,分子引力和靜电吸引力等都有关系。

当相互接触的两个物体,在外力作用下有滑动傾向时,兩物

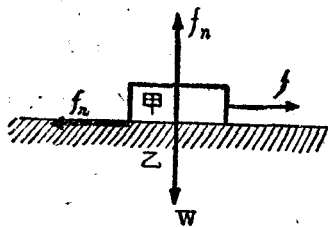


图 1

体間便產生靜摩擦力。左圖中的兩個接触物甲和乙,当物体甲受外力 f 作用时,如果兩接触面間沒有摩擦力,甲將沿外力 f 的方向开始滑动。但事实上,当 f 小于某一数值时,甲并不滑动。可見甲必須同时受到

和外力 f 大小相等方向相反的靜摩擦力。外力增大或减小时,靜摩擦力也跟着增大或减小。但当外力增大到某一数值时,物体开始滑动,可見靜摩擦力的增大有一限值。这个限值称为最大靜摩擦力。实验証明,这个最大靜摩擦力 f_r 和压力 f_n 成正比。即

$$f_r = \mu_0 f_n$$

式中 μ_0 称为靜摩擦系数。它和物体的質料、表面情况等有关。

要甲在乙上作勻速滑動，必須經常用一定數值的外力拖它。可見這時甲也受到一定數值的摩擦力。這種摩擦力稱為滑動摩擦力。它的方向總和物體運動方向相反。實驗證明，滑動摩擦力 f_r 也和壓力 f_n 成正比。即

$$f_r = \mu f_n.$$

式中 μ 稱為滑動摩擦係數。它也和物體質料、表面情況等有關。

實驗證明，當兩個物體的接觸面不很大或者不太小時，摩擦係數和接觸面的面積幾乎沒有關係。

例一 為了使 500 千克重的木材在冰上滑動，最初用 10 千克重的水平力拖它，接着又增加到 15 千克重、17 千克重的水平力拖它，但都不能使木材滑動。一直增加到 20 千克重後，木材才開始滑動，求上述各種情況下的靜摩擦力和靜摩擦係數。

【解】 (1) 木材受到外力作用而不動，其所受到的摩擦力，一定大小等於外力，方向和外力相反。因此

當它受到 10 千克重的外力時，摩擦力 = 10 千克重；

當它受到 15 千克重的外力時，摩擦力 = 15 千克重；

當它受到 17 千克重的外力時，摩擦力 = 17 千克重。

(2) 木材受到 20 千克重的外力時，開始滑動，這就說明最大靜摩擦力 = 20 千克重，所以靜摩擦係數

$$\mu_s = \frac{20}{500} = 0.04.$$

例二 為了使上題中的木材繼續在冰上作勻速運動，我們必需經常用 17.5 千克重的力拖它。求滑動摩擦係數。

【解】 木材在冰上作勻速滑動，我們用 17.5 千克重的力來拖它，是拿來克服它所受的摩擦力的，因此摩擦力也是 17.5 千克重。所以滑動摩擦係數

$$\mu = \frac{17.5}{500} = 0.035$$

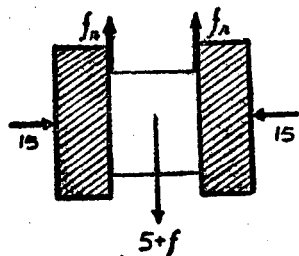
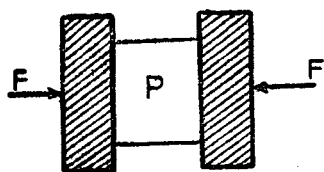


圖 2

例三 在兩塊木板中間，夾着一個 5 千克重的四方木塊 P，所用的壓力是 15 千克重，木板和木塊間的摩擦系數是 0.2。如果想從下邊把這木塊拿出來需要多大的力？如果想從上邊把它拿出來需要多大的力？

【解】 要想把木塊拿出來必須用的最小的力 f ，一定要滿足這樣條件：木塊所受的向上的力的和等于向下的力的和。因此

(1) 從下邊把木塊拿出來 (圖 2)，這時摩擦力向上，左右兩側各等于 $15 \times 0.2 = 3$ 千克重。

$$\therefore 5 + f = 3 \times 2, f = 1 \text{ 千克重。}$$

(2) 從上邊把木塊拿出來 (圖 3)，這時摩擦力向下，

$$\therefore f = 3 \times 2 + 5 = 11 \text{ 千克重。}$$

4. 慣 性

第一運動定律的重要性，還在於它指出了任何物體都具有一種特性。這種特性首先表現在物體沒有受到其他物體作用時，保持運動狀態不變這一事實上。我們把這種特性叫做慣性。所以牛頓第一運動定律也稱為慣性定律。

其次，我們知道，在相同的作用力下，有的物體很容易改變它的運動狀態，有的物體不容易改變。例如兩個大小一樣的皮球和鉛球，在同一條件下，皮球的運動狀態容易改變，但鉛球就

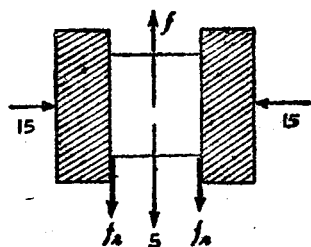


圖 3

比較不容易。因此，對於運動狀態容易改變的物體，我們說它的慣性小，對於運動狀態不容易改變的物體，我們說它的慣性大。量度物體慣性的方法，就是根據這個道理制定的。

物體慣性的表現，在日常生活經常可以碰到。例如電車售票員從行駛着的電車里跳下時，必須向電車行駛的方向跑幾步。這是因為售票員在電車里，具有和電車相同的運動速度，剛跳下時，他本身有保持這個速度不變的慣性，所以腳着地後，還不能立刻把這個速度消除，如果他不向前跑幾步，一定要跌倒。又如在公共汽車里，如果我們是面向汽車行駛方向坐着，當汽車突然煞車時，我們要向前傾，突然加快速度時，要向后倒，這也可以用慣性來說明。再如賽跑的人到達終點以後，不能立刻停住，還要向前跑幾步；電風扇在關閉電路後，還要繼續轉几下；汽車、電車、火車以及其他機器在發動機停止工作後，還要繼續前進，或繼續轉几下。這些都是慣性的表現。電車司機，在車輛到站前用關電泵車法節省電力，也是利用慣性的實例。慣性是一切物體共有的屬性，我們應該時時留心它，防止它，利用它。

(二)牛頓第二運動定律

1. 質 量

質量是力學里也是整個物理學里最基本的概念之一。牛頓首先以明確的形式構成了質量的概念，作為他的力學基礎。按牛頓的意思，平常可見的物體，是由不變的原子組成的；同類物體里所含的原子愈多，它的質量就愈大；原子排列得愈緊密，所包含的原子數目就越多，也就是物體的質量越大。根據這個意見，我們通常把一個物體中所含物質的多少作為這個物體的質量。就是說，含有物質較多的物體，它的質量就較大；含有物質較少

的物体，它的質量就較小。

从这样的質量概念出發，必然会得到一个結論，那就是物体的質量是不变的。它不像重量那样跟所在地的不同而变。因为物体的質量既由它所含物質的多少來决定，我們就沒有理由說，这个物体在这个地方含的物質多，在另一个地方含的物質少。質量不变的另一个意义是說物体的質量跟物体的其他情况，如物体的运动速度等無關。事实上，在平常情況下，也确是如此。因此，在牛頓力学的系統里，我們都認為物体的質量是不变的。

按現代的观点看，这样的質量概念是有缺点的。第一，它把質量和物質兩個概念混淆起來了，因此阻碍了我們对現代物理学中所發現的新現象的正确理解。第二，質量不是一个恒量，它跟物体的运动速度有密切的联系。这些，我們將在牛頓定律的应用一節里再談。

最后我們要談一談質量和重量的关系。在重力、彈力、摩擦力一節里，我們曾提过質量和重量有密切联系，但實質上是兩個完全不同的物理量。这是因为：第一，質量是表示物体內含有物質多少的量，它是物体慣性的量度；重量是由于地球的吸引使物体受到的力，是產生重力加速度的原因。第二，物体的質量是一个恒量，把物体放在任何地方，它的質量总是不变的（牛頓观点）；物体的重量却不是一个恒量，同一物体在地球上各个地方的重量是不一样的。第三，物体的質量是一个标量，重量則是一个矢量，方向近乎指向地心。它們是以这样的公式联系着的，即

$$W = mg。$$

式中 W 是物体的重量， m 为質量， g 是重力加速度。

因为实验証明，在地球上同一个地方，各个物体的重力加速度是相同的。因此

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{m_1}{m_2}。$$

式中 W_1 和 W_2 是兩個物体的重量， m_1 和 m_2 是它們的質量。如果 $W_1 = W_2$ ，則 $m_1 = m_2$ 。這就是我們所以利用天平來量度物體質量的道理。

在同緯度的海平面上，質量多少千克的物体，它的重量也是多少千克重。但在別的地方就不同了。例如一个物体在某一地方

$$W = mg,$$

在另一地方

$$W' = mg',$$

兩式相除得

$$\frac{W}{W'} = \frac{g}{g'}。$$

这样，根据各地測得的重力加速度，就可以求出同一物体在各地的重量。例如在緯度 45° 的海平面上 1 千克重的物体，在赤道是

$$\frac{W}{1} = \frac{978.05}{980.66}, \quad \therefore W = 0.99734 \text{ 千克重};$$

在兩極是

$$\frac{W}{1} = \frac{983.24}{980.66}, \quad \therefore W = 1.0026 \text{ 千克重}。$$

因为在緯度 45° 的海平面上 $g = 980.66$ 厘米/秒²，在赤道 $g = 978.05$ 厘米/秒²；在兩極 $g = 983.24$ 厘米/秒²。

由于相差很小，所以一般計算时，也可用質量多少千克，重量也是多少千克重。

2. 牛頓第二运动定律

第一运动定律告訴我們物体不受力的作用时的情形，同时也告訴我們力和慣性兩個概念的意义。第二运动定律將告訴我