

2016/2017 學年教學設計獎勵計劃

力與運動

參選編號：C050

學科名稱：物理

適合程度：高一

目錄

目錄.....	i
教學進度表及相關資訊	ii
簡介.....	1
教學設計所遇到的困難	1
核心教學目標	2
教學流程	3
力的簡介.....	4
慣性與牛頓運動第一定律	9
淨力與運動：牛頓運動第二定律	13
實驗課：驗證牛頓第二定律	19
重量、摩擦力與流體阻力	22
作用力與反作用力：牛頓運動第三定律	27
試教評估.....	29
反思與建議	30
參考資料.....	31

教學進度表及相關資訊

教學進度表

日期	時間	地點	主題
2016/11/14	14:00-14:40	高一丙	力的簡介
2016/11/15	10:45-11:25	高一丙	習題課
2016/11/16	15:35-16:15	高一丙	慣性與牛頓運動第一定律
2016/11/18	14:00-14:40	高一丙	習題課
2016/11/25	14:00-14:40	高一丙	淨力與運動：牛頓運動第二定律
2016/11/28	14:00-14:40	高一丙	淨力與運動：牛頓運動第二定律
2016/11/29	10:45-11:25	高一丙	習題課
2016/11/30	15:35-16:15	高一丙	實驗課：驗證牛頓第二定律
2016/12/2	14:00-14:40	高一丙	重量、摩擦力與流體阻力
2016/12/5	14:00-14:40	高一丙	重量、摩擦力與流體阻力
2016/12/6	10:45-11:25	高一丙	習題課
2016/12/7	15:35-16:15	高一丙	作用力與反作用力：牛頓運動第三定律
2016/12/9	14:00-14:40	高一丙	習題課

教材

黃小玲、彭永聰、李浩然、林兆斌，《新高中生活與物理（第二版）：力和運動》第三章，牛津大學出版社，2015。

課時

每節課 40 分鐘。

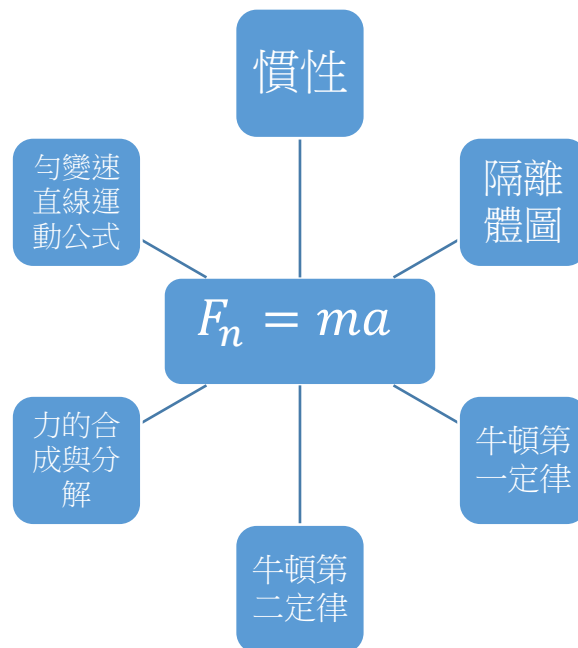
習題課內容

完成教材中「進度評估」及「習題與思考」的部份內容和改正作業。

簡介

經常有學生說：「為甚麼要學習物理學？有甚麼用？現在學會了，以後我也會忘光光。」學生的這些問題固然幼稚，但卻也道出了一些事實。

本教案所介紹的牛頓運動定律，可算是物理學中最核心的基石了。牛頓運動定律的本質實際上非常簡單：受淨力的物體，其速度才會改變（對應公式 $F_n = ma$ ，其中 F_n 代表淨力，即 net force）。如此簡單的概念，卻被許多術語和技術手段包裹起來（如下圖），使學生總是搞不清楚問題的核心，導致他們學得似懂非懂，考完試後就「忘光光」了。



其實，牛頓第二定律就是 $F_n = ma$ ；牛頓第一定律只是牛頓第二定律的特例；慣性定律和牛頓第一定律又有相同意義；畫隔離體圖、力的合成和分解都是為了找出淨力，從而知道物體的運動狀態如何改變；勻變速直線運動公式用於找出加速度，以此分析物體是否有受淨力。可見，其實無論是甚麼專業術語和技術手段，都離不開物體所受的淨力及其運動狀態的變化。要讓學生學懂力與運動的關係，就要讓他們牢牢地把握住物體所受的「淨力」和物體的「運動狀態變化」這兩個關鍵點，教案的設計亦是圍繞這兩點展開，為此而設計出一個核心教學目標。

教學設計所遇到的困難

近來，以學生為中心的教學理念開始流行。在科學教學上，教育理論一般主張「探究式學習」。學生通過自主探究，在教師的適當引導下，根據事實和邏輯得出科學結論。在學習牛頓運動第二定律時，我們所使用的教材中也有類似的做法。

為了找出加速度與淨力、加速度與質量之間的關係，教材中提供了「橡筋拉

車」的探究式實驗。在實驗中，學生要保持橡筋在拉車的過程中長度不變（即淨力不變，摩擦力忽略不計），通過改變橡筋的數目或小車的質量，使用運動感應器測量出小車的加速度，從而找出小車的加速度和小車所受的淨力成正比，與小車的質量成反比的結論。這個實驗設計運用了控制變量法，符合科學方法的一些精神，表面上是一個很不錯的探究式實驗。

然而，在具體的實踐中，我們要如何保證橡筋在每次拉車的過程中都保持相同長度呢？此外，為了測出小車的加速度，當運動感應器測出小車位移隨時間的變化關係後，軟件會自動計算 $\frac{\Delta s}{\Delta t}$ ，得出速度隨時間的變化關係。為了得出加速度，我們還要對速度—時間關係線圖再進行一次一次函數擬合。¹要得出加速度和淨力、質量之間的比例關係，就要進行許多次一次函數擬合，這些擬合結果又要作在另一個圖上（ $a - F_n$ 圖、 $a - m$ 圖）。當學生進行這個實驗時，往往會將主要精力放在解決這些技術困難上，卻忽略了他們要從這個實驗中需要學習到的真正道理。

說到底，這個探究式實驗就是希望學生自己找出物體的加速度和所受的淨力成正比，和物體的質量成反比的結論，但由於實驗設計的原因，這些教學目標很難實現，可能只會令學生感到困惑和迷妄。

核心教學目標

本教案的特點是捨難取易，對教學目標作出精煉，找出核心的教學目標。確定核心的教學目標後，課程的其他內容皆以核心教學目標為主體進行設計，務求使核心教學目標能夠完成。

對於「力與運動」一章，最重要的物理概念就是牛頓運動定律，而牛頓運動定律中，最核心的就是牛頓運動第二定律（牛頓運動第一定律屬於第二定律的特例和定性描述）。牛頓運動第二定律將物體受力與物體運動聯繫起來：通過分析物體如何受力，從而知道物體的運動狀態；通過分析物體的運動狀態，從而知道物體如何受力。所以，我們的核心教學目標可定為：

學生理解如下的物理概念：
物體受淨力作用時，運動狀態改變；物體的運動狀態改變時，其必定受淨力

為了完成這個核心教學目標，本章的教學內容將圍繞此核心教學目標進行設計，以下是具體的教學內容流程及參考教學時間。

¹ 橡筋長度恒定，代表小車所受淨力不變，即有恒定加速度，所以速度—時間關係線速應該是一條直線，那麼就要使用一次函數 $y = kx + b$ 進行擬合，找出斜率 k ，即加速度。

教學流程

內容	參考教學時間
1. 力的簡介：為引入淨力的概念做準備、指出淨力和隔離體圖的關係	約 40 分鐘
<ul style="list-style-type: none"> 介紹日常生活中幾種常見的力並繪畫隔離體圖 通過繪畫隔離體圖，使學生熟悉不同類型的力，為正確找出淨力打下基礎 介紹淨力的概念 一維方向上力的合成 	
2. 慣性與牛頓運動第一定律：淨力和運動狀態的關係	40 分鐘
<ul style="list-style-type: none"> 複習運動狀態的概念，並引入慣性定律和牛頓運動第一定律 	
3. 淨力與運動：牛頓運動第二定律：淨力等於質量乘以加速度	80 分鐘
<ul style="list-style-type: none"> 介紹牛頓運動第二定律及其應用方法： <ol style="list-style-type: none"> 力→隔離體圖→淨力→運動狀態 運動狀態→淨力→隔離體圖→力 	
4. 實驗課：驗證牛頓第二定律	40 分鐘
<ul style="list-style-type: none"> 實驗驗證牛頓運動第二定律 	
5. 重量、摩擦力與流體阻力：綜合例子	80 分鐘
<ul style="list-style-type: none"> 討論重量、摩擦力和流體阻力的物理意義及作為綜合例子加深學生對牛頓運動第二定律的理解 	
6. 作用力與反作用力：牛頓運動第三定律	40 分鐘
<ul style="list-style-type: none"> 介紹牛頓運動第三定律，引入作用力—反作用力對的概念 	

本教案不依傳統教案格式進行寫作，不以「節」為單位寫出教學目標和全部的授課內容，會省略一些常規的教學活動描寫（如部份提問、抽問、習題演算、堂課等）。教案中的主體部份會對上述的教學內容作討論，給出各個關鍵概念之間的關係，逐步構成以核心教學目標為主的教學框架，每一部份的教學都以實現核心教學目標而進行設計。

力的簡介

介紹日常生活中幾種常見的力並繪畫隔離體圖
通過繪畫隔離體圖，使學生熟悉不同類型的力，為正確找出淨力打下基礎
介紹淨力的概念
一維方向上力的合成

本節內容如何配合完成核心教學目標？

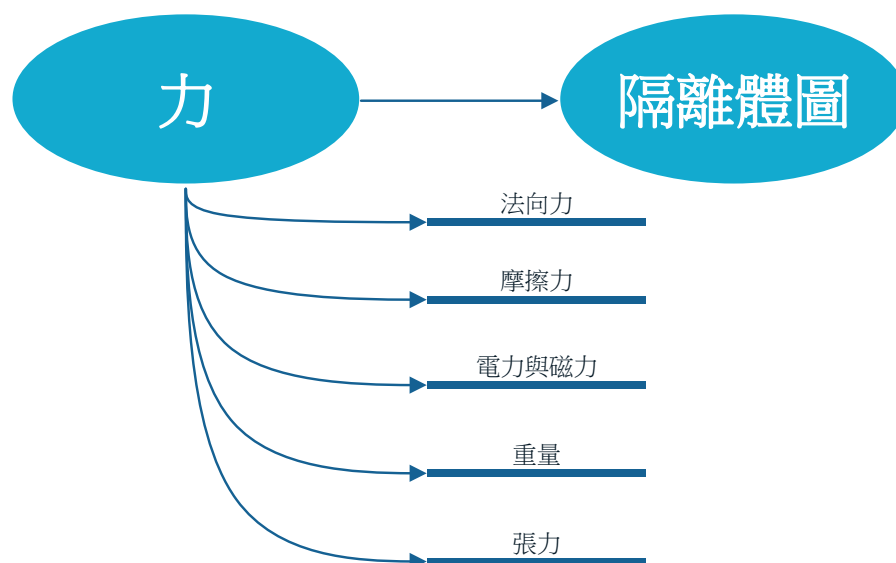
畫隔離體圖是找出淨力的重要手段，為了使隔離體圖顯得更清晰和美觀，我們對力的繪畫方法作出仔細的示範和要求。學習力和隔離體圖的繪畫方法後，每次求淨力，都要求學生先畫出隔離體圖，然後根據圖來寫出淨力的表達式，為完成核心教學目標打下基礎。

關於力的種類

因為物體所受的淨力是其所受的全部力的總和，所以學生有必要重溫一些關於力的基本知識，如力的種類、單位、方向等。

教材中將力分為接觸力和非接觸力，我認為這樣的分類是沒有必要的，會使學生以為接觸力和非接觸力存在物理意義上的根本不同。²

力和隔離體圖的關係



² 微觀來說，法向力、張力、摩擦力實際上都是電磁力。

繪畫隔離體圖的作用

研究發現，能夠正確繪畫隔離體的學生在解題時往往能夠得出正確答案，成績好的學生還會使用它來評估自己的計算結果是否合理。^[0] 這是因為，隔離體圖這種圖像化的表達形式能夠有效地協助學生理解和運用抽象的數學表達形式。該研究亦發現，教師在課堂上只要常強調使用隔離體圖，許多學生在考試時也會自動地使用隔離體圖輔助解題，就算繪圖結果不計算分數。所以，本教案十分重視隔離體圖的繪畫。

繪畫隔離體圖的若干技術問題

1. 是否需要將物體隔離開再作圖？

首先，教師要強調隔離體圖中「隔離」的意義。力總是成對出現的，人推車時車亦推人，但我們往往只關心某一個物體的受力情況，所以未必要將全部物體所受的力都畫出來。

如果只分析一個物體的受力情況，如物體在斜坡上所受的力，這時問題比較簡單，只要做少許練習，學生一般不會將斜坡所受的力畫出來，所以我們不用將物體做隔離。

但當我們遇到要分析多個物體的受力情況，或隔離物體有助學生更好地理解物理概念時，我們就要將物體先做隔離，再畫物體所受的力。教材第 99 頁第 6 題中，要求畫出圖 1 中每個球的隔離體圖。如果不對 X 和 Y 球做隔離，X 和 Y 所受的力就會在同一直線上重合起來，令隔離體圖顯得混亂，不利於力學分析。此外，學生常常以為 X 球受 Y 球給的重量，這也是完全錯誤的，這時將物體隔離開有助學生分清楚施力物體和受力物體之間的關係。

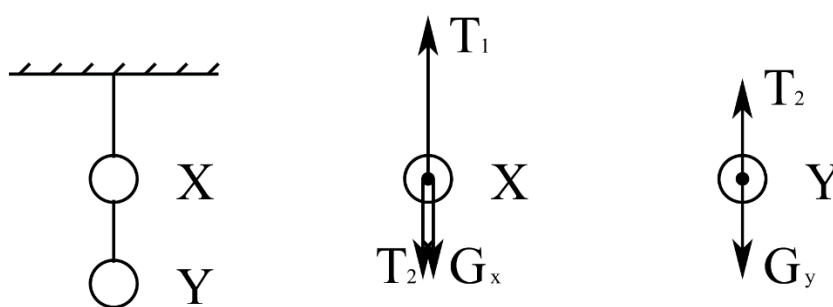


圖 1

2. 是否需要嚴格按照力的作用點繪畫力？

如果按照力的作用點畫力，好處是學生在畫力時，必須先思考這個力是甚麼力。例如，圖 2 中的 A、B、C 小圖給出三個不同學生繪畫在水平地面上的方塊所受的力。A 圖顯示學生懂得法向力是地面給方塊的力，但未必知道這是法向力；B 圖顯示學生根本不明白法向力的物理意義，只知道這類型

的圖會有一個名稱為「N」的力；C圖是正的答案。

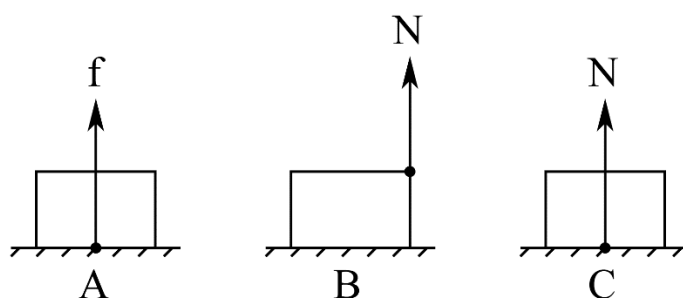


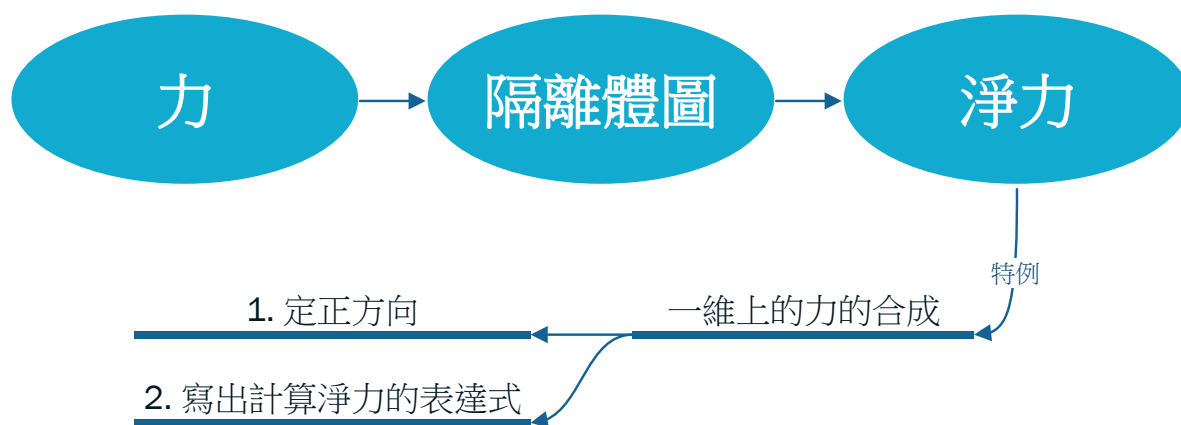
圖 2

然而，根據力的作用點來畫力，貌似嚴謹，實際情況卻正好相反。例如，木塊放在水平地面上，木塊底部其實處處皆受法向力，並不是只有一點受力。如果人兩腿站在水平地面上，我們是否要對每一條腿畫一個法向力？人推桌子時，是否要對桌子的每一條腿都畫一個法向力和摩擦力？

比較好的方法是不按力的作用點畫力。我們可以在課堂中和學生約定，當繪畫物體的隔離體圖時，物體所受的全部力都畫在靠近物體中心的位置。只要教師在受力分析時配合提問、抽問，學生不難學會上述那些力的知識。

3. 必須要求學生寫出力的符號：法向力要寫 N ，³摩擦力要寫 f ，重力要寫 G 或 mg ，張力要寫 T 。學生畫出力後，如果未能寫出正確的力的符號，可認為學生不懂得那個力是甚麼力。這個要求有助於避免學生將全部力都命名為「F」的問題。⁴

隔離體圖和淨力的關係



淨力和合外力

³ 有些人認為學生會將法向力的符號 N 和力的單位的符號 N 混淆，故將法向力命名為 R （教材中有部份地方是這樣做的）或 F_N ，但根據我多年教學經驗，這種情況很少見。

⁴ 我將推力、拉力用符號 F 來表示。理論上推力、拉力、法向力和張力都可統稱為彈力，但我不建議和學生討論這些問題，避免使問題複雜化。

我們使用的教材和國內教材不同，國內教材往往將淨力（net force）稱為合外力。相對於「淨力」，學生會更容易理解「合外力」一詞的意義。不過，據我的經驗，國際上一般都使用「淨力」，教材中亦是如此，所以我們保留使用「淨力」。

引入淨力時，務必強調淨力是物體所受全部力的總和，這個總和可大可小，甚至可以等於零。如有必要，教師可以舉一些關於錢，如「淨賺」多少錢的例子來加深學生對「淨」這個字的理解。

在同一直線上的力的合成

為了計算淨力的大小，我們應該先從最簡單最常見的情況，即一維問題（即物體所受的力都在同一直線上）開始引入。⁵計算一維問題時，存在一個技術難點，如果教學時不注意，可能會使不少學生感到迷惑。

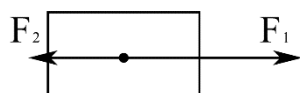


圖 3

舉例來說，如果一個物體受兩個力 F_1 和 F_2 的作用， F_1 和 F_2 的量值分別為 4 N 和 2 N，如圖 3 所示，求物體所受的淨力。對於這個問題，教材中有在兩種解法：

第一種。設向右為正，那麼 $\vec{F}_n = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 4 + (-2) = 2\text{N}$ ，因為淨力為+2N，說明淨力的方向與正方向相同，即向右。

第二種。因為 F_1 的量值大於 F_2 且兩者方向相反，物體所受的淨力必定向右，於是設向右為正，淨力等於正方向的力減反方向的力，即有 $F_n = F_1 - F_2 = 4 - 2 = 2\text{N}$ 。

第一種方法中的力屬於矢量，因為取了向右為正，所以 \vec{F}_2 的量值才等於-2N。這種做法好處是每次求淨力時，都要寫出 $\vec{F}_n = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ ，使學生總是知道淨力是力的總和。壞處是學生不能直接從式中看出力的方向，數學表達式會更顯抽象。此外，這種方法要求學生將力的矢量符號寫出來，學生普遍較難嚴格做到。

第二種方法中的力只是力的量值，式 $F_n = F_1 - F_2$ 中的減號就代表了 F_2 的方向與 F_1 相反。這種方法的好處是學生較易理解，因為數學表達式顯示出 F_2 的方向與 F_1 相反， F_1 的量值會被 F_2 「抵消」了一部份，所以式中的減號就有了圖像化的意義，數學表達式能和隔離體圖互相印證。這種寫法的壞處是學生其實不太瞭解式中的力只是量值，當力的大小未知時，學生會感到困惑，不知道該設那個方向為正。

正是因為第一種方法中的數學表達式過於抽象，不利於教學，所以本教案採用第二種方法。教師在教學時，務必要條理分明，邏輯清晰，為後續牛頓運動第二定律的教學打好基礎。

⁵ 教材中這一章的淨力計算都停留在一維問題上。

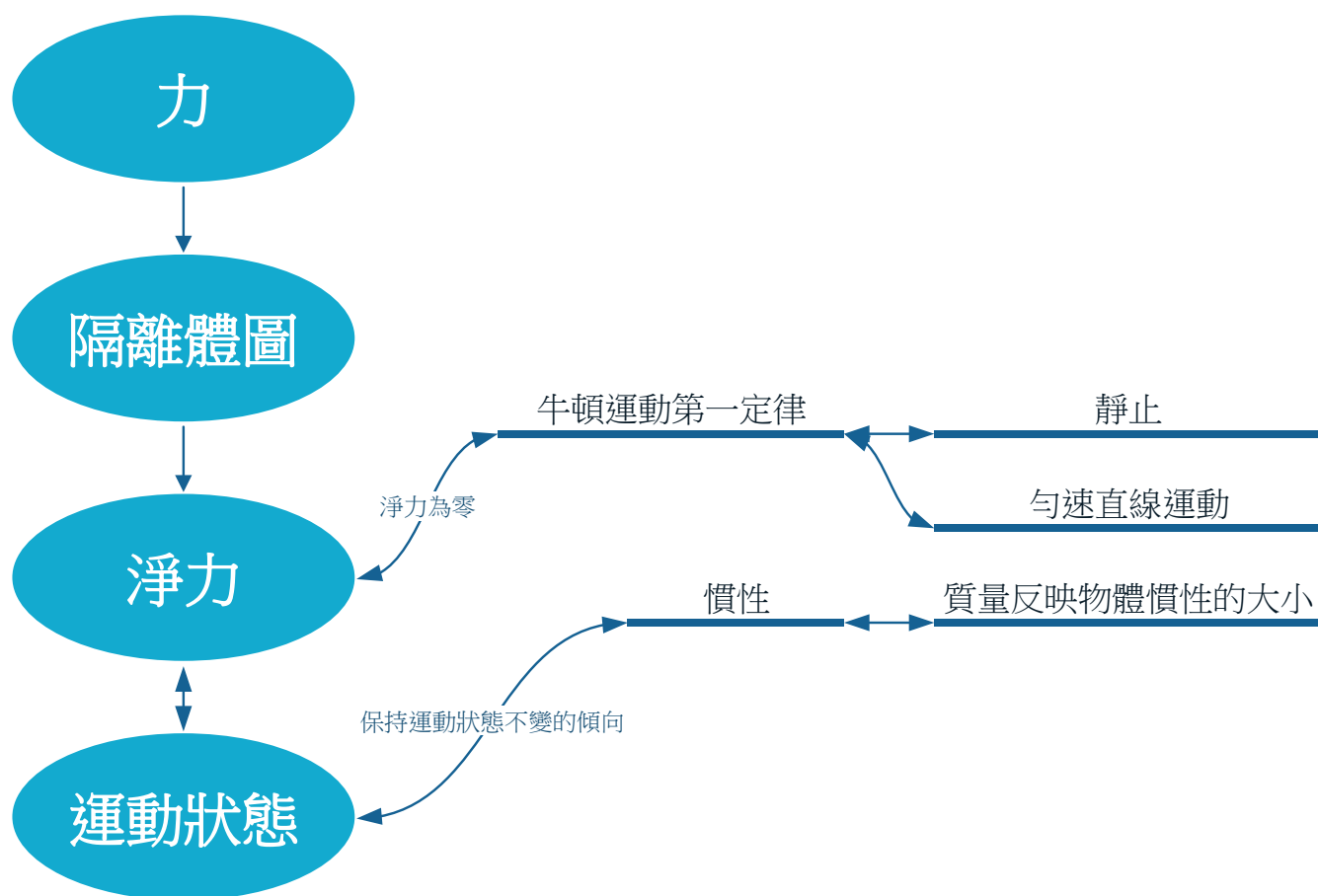
慣性與牛頓運動第一定律

複習運動狀態的概念，並引入慣性定律和牛頓運動第一定律

本節內容如何配合完成核心教學目標？

核心教學目標中的內容就在此節中體現。牛頓運動第一定律描述了物體所受淨力和物體運動狀態變化之間的定性關係。為了使學生將淨力與運動狀態變化聯繫起來，我們從科學史、實物演示和邏輯分析三個角度進行教學。

淨力和運動狀態之間的關係



復習淨力及運動狀態不變的概念

要理解慣性及牛頓運動第一定律，就必定要懂得淨力及運動狀態不變的概念。關於運動狀態不變的復習，教師可親自示範並提問，如靜止、勻速走路，轉彎等。

講科學史，介紹亞里士多德關於運動的論述

使用亞里士多德作為反面例子引入慣性和牛頓第一定律是物理學教學的一貫做法。我們可以先提出亞里士多德對運動的論述，然後用氣墊軌道做演示（逐漸增加送風機的氣流），驗證亞里士多德的說法是否正確。否定亞里士多德的說法後，再回來講科學的發展歷程，說明科學方法中的實驗驗證做法帶來了科學的萌芽。

關於亞里士多德的故事不宜講得太多。澳門學生很缺乏對古希臘社會和人物的認識，基本沒有學習過古希臘哲學家的故事及相關邏輯論述，未能體會亞里士多德對西方社會的影響力。教材中提到的伽利略思想實驗也可不講，但有必要提到伽利略發現亞里士多德的錯誤。

慣性與牛頓第一定律

引入慣性的概念時，一般可以採用如下的教學次序對學生進行提問和引導，並將討論結果總結在黑板：

- (1). 為甚麼氣墊軌道要水平放置？
- (2). 為甚麼要使用氣墊軌道？
- (3). 就算使用了氣墊軌道，為何滑塊最後還是會停下來？（要同時演示低中高速等幾種情況）⁶
- (4). 假設阻力真的可以減少至零，滑塊會如何運動？
- (5). 既然忽略一切阻力後，滑塊會勻速直線運動，如果增加滑塊的質量，滑塊是否還能保持勻速直線運動？（同時做演示，但不能讓滑塊的質量太大，否則氣墊軌道不能將滑塊吹起來）
- (6). 對於質量較大的滑塊 A 和質量較小的滑塊 B，當它們不動時，哪個滑塊更容易被推動？當它們都處於相同的速度勻速直線運動時，哪個滑塊更容易停下來？（可以要學生想像一個極端一點情況，如 A 是大貨車，B 是自行車）

小結：忽略一切阻力後，對於水平放置的物體，當它靜止時會繼續保持靜止，當它勻速直線運動時會繼續保持勻速直線運動。

得出上述結論後，可同時給出給出伽利略慣性定律和牛頓運動第一定律。必須說明這兩個定律有相同意義，這兩個定律都是描述演示中的物理現象，並不是對物理現象作出解釋，慣性也不是現象出現的原因。⁷

慣性大小及慣性定律的演示

⁶ 氣墊軌道最令學生驚訝的就是低速運動的物體仍能以勻速直線運動，這是違反直覺的。

⁷ 不要試圖解釋「為甚麼物體不受力也可以動」這類問題，教學時也不應以這種問題做引入，因為這個問題是沒有意義的。此處特別要注意不要將慣性作為原因解釋「為甚麼物體不受力也可以動」這類問題，否則別人又會問為甚麼物體有慣性，令你陷入循環論證的困境中。

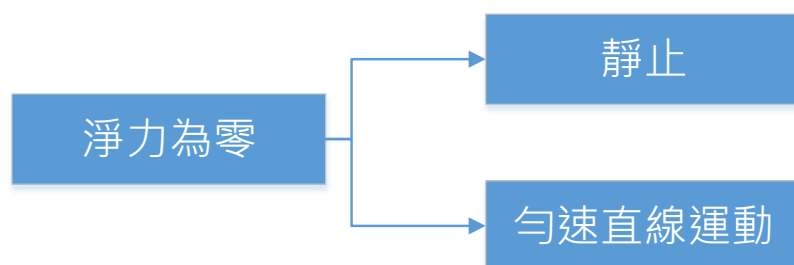
慣性定律中的一個教學難點是物體的慣性有大小，其只和物體的質量有關。這個概念的深度實際上那經超過了牛頓運動第一定律的範圍，達到牛頓運動第二定律了。學生經常會以為慣性的大小和物體的速度有關，因為在學生的思維中，當兩個物體的質量相同時，速度快的物體確實比速度慢的物體更難停下來，其實他們忽略了兩個物體的運動狀態變化並不相同。

我認為不應該花太多時間在此處糾纏，當學生學習到牛頓運動第二定律時，「慣性大小」這種說法將會變得比較具體，而且可以定量地反映在方程中。此處，我們只需要略做一些傳統的慣性演示即可（如書中的，一個注滿了水的水樽和一個空樽放在桌布上，突然拉開桌布，空樽跌倒而注滿了水的水樽沒有跌倒）。⁸通過簡單演示，帶出了質量大的物體的運動狀態更不容易改變的現象，這種現象說明物體的質量反映物體慣性的大小。

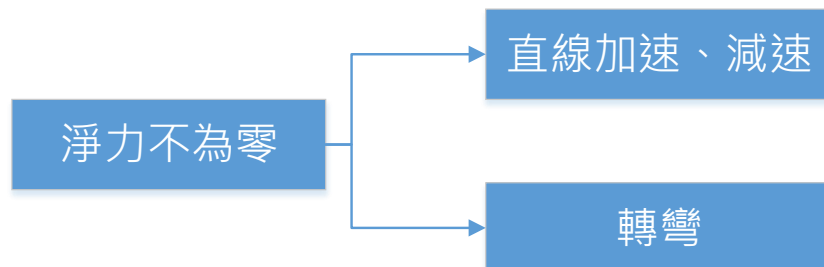
分析牛頓運動第一定律中的邏輯

慣性這種說法容易在日常生活中使用，但卻不夠嚴謹和具體，牛頓運動定律卻正好相反。牛頓運動定律是經典物理學的核心基石，是人類使用理性、邏輯和實驗來解析大自然規律的關鍵知識，是科學萌芽的起點之一。要學生明白牛頓運動定律，特別是牛頓運動定律中物體所受淨力和物體運動之間的關係是物理學教育中的重中之重。

首先，對於物體所受淨力及其運動狀態之間的關係，我們必須明確如下的邏輯：



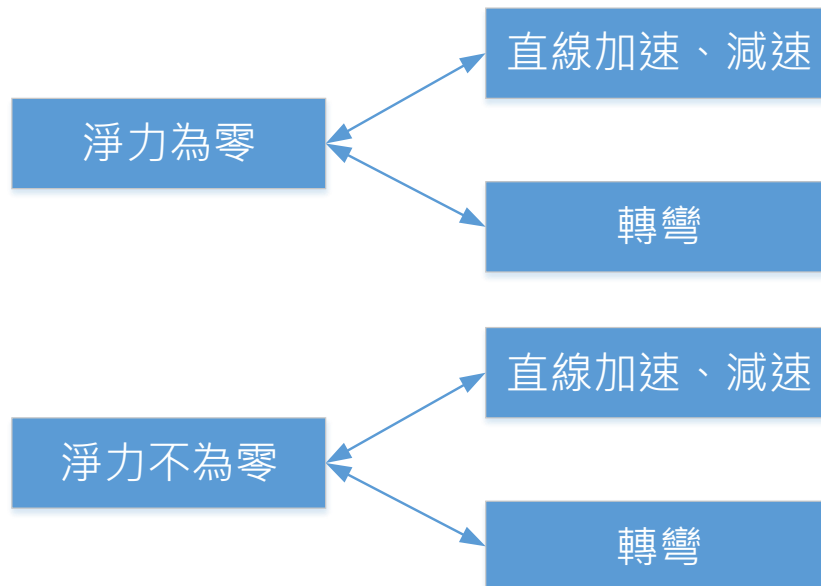
反過來說，則有：



舉例來說，當空氣阻力忽略不計時，在半空中的球只受重力作用，其所受的重力即為淨力，此力不為零，所以球可能會曲線運動（拋體運動）、直線減速（豎直上拋），或直線加速（自由落體），而絕不可能處於靜止或勻速直線運動狀態。

⁸ 我是用手機和手機殼做這個演示，這較能吸引學生注意。

許多時候，我們是先觀察物體的運動，據此找出物體所受的淨力，從而作出物體的隔離體圖，即分析物體如何受力。例如發射的火箭偏離預定軌道，我們就可根據火箭運動狀態的變化推理出其可能是某一個發動機發生了故障。從邏輯上說，「物體所受淨力為零，其必定以靜止或勻速直線運動」的逆命題亦成立，總結有：



淨力與運動：牛頓運動第二定律

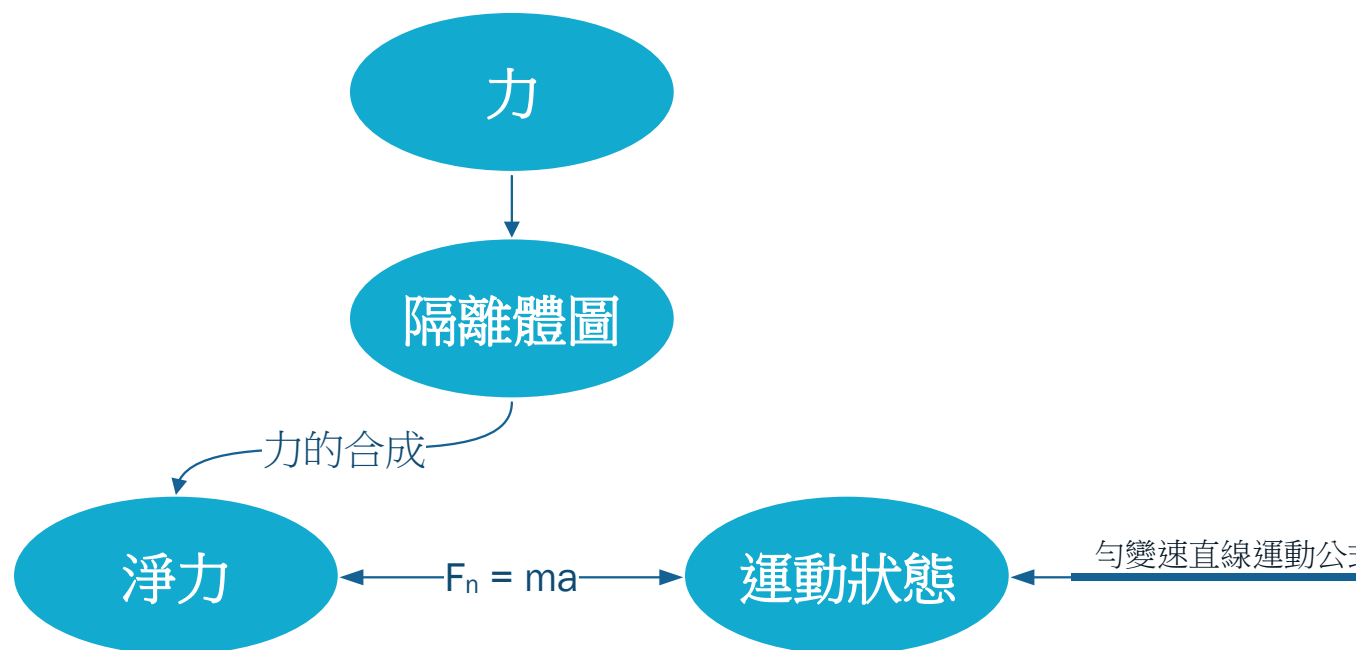
介紹牛頓運動第二定律及其應用方法：

- (1). 力→隔離體圖→淨力→運動狀態
- (2). 運動狀態→淨力→隔離體圖→力

本節內容如何配合完成核心教學目標？

只通過上一節課的教學，並不足以讓學生深刻地理解物體受力與其運動狀態之間的關係，會很容易遺忘相關知識。本節通過學習牛頓運動第二定律，將力和運動狀態的關係從定性描述推廣至定量計算，令學生對力和運動的關係的認識達到一個新的層次。

牛頓運動第二定律中淨力和運動狀態之間的關係



關於引入牛頓運動第二定律的思考

傳統上，牛頓運動第二定律的實驗或演示主要希望學生知道兩個物理結果：第一是物體的加速度和其所受的淨力成正比 ($a \propto F_n$)，第二是物體的加速度和其質量成反比 ($a \propto \frac{1}{m}$)。要得到這些正比和反比的結論，難點是要在實驗中對物體施加一個恒定不變的力，以使物體擁有恒定不變的加速度。無論是國內教材的

做法⁹還是本教案所使用教材的做法，最後實驗效果都不甚理想。

正如簡介中所討論，本教案沒有採取教科書那種探究式教學法。我的做法是先通過簡單的定性實驗為學生引入牛頓運動第二定律的概念，然後直接給出牛頓運動第二定律的公式，並討論公式的意義，最後才做驗證性實驗測試牛頓運動第二定律是否成立。¹⁰

引入牛頓第二定律的定性實驗

為了讓學生直觀地感受物體受力與物體運動狀態變化之間的關係，我們可以使用鋁制平軌道、小車、砝碼、直尺和磁石來進行一個簡單的定性實驗，如圖 4 所示。¹¹這個定性實驗的教學順序如下：

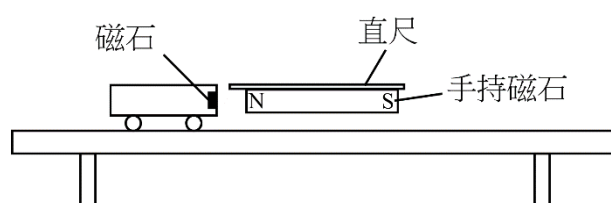


圖 4

教學過程	討論
(1). 將直尺貼在手持磁石上（用手抓緊兩者即可），直尺面向小車方向的部份凸出約 3 cm（不同磁石會有不同結果）。	磁石越接近小車，小車所受推力越大，直尺凸出的部份顯示了磁石將會有多接近小車。
(2). 將磁石接近小車，盡量保持直尺處於差一點點就碰觸到小車的位置。提問：此時車受甚麼力？淨力是甚麼？	引導他們知道小車和軌道之間的摩擦力可以忽略不計，所以淨力是磁石給小車的推力（磁力）。
(3). 重複上述過程幾次，問學生小車的運動狀態如何改變以及運動狀態改變的原因是甚麼。	要將他們那些「動了」、「向前走了」之類的答案引導為「向前加速」。
(4). 小結：淨力→加速	在黑板上做小結，只列出要點即可。

⁹ 國內教材常見的做法是用豎直下落的鈎碼（質量 m ）通過細繩牽引放在已補償摩擦軌道上的小車（質量 M ），使其做加速運動。通過設定 $M \gg m$ ，使小車所受拉力等於 mg 。這種做法複雜，要做兩個近似（補償摩擦、令 $M \gg m$ ），有兩個運動中的物體（小車和鈎碼），學生還要先明白牛頓運動第二定律，才能理解實驗為何要這樣設計，所以這個實驗已經屬於驗證性實驗。這個實驗還有其他的常見錯誤，可看「參考資料」中第 0 篇文章。

¹⁰ 這樣做的合理性在於牛頓運動第二定律一個「定律」，用於描述客觀現實，它並不是「定理」，即不是一種必然的邏輯結果，所以我們通過觀察物體受力和運動的結果，完全可以合理性假設「 $a \propto F_n$ 和 $a \propto \frac{1}{m}$ 」，最後再用實驗驗證這個假設是否正確。

¹¹ 我校使用的是 PASCO 的 PAScar Dynamics Systems。

(5). 將直尺凸出的部份減短至 1.5 cm，重複第 2 步。提問：小車的運動狀態如何改變？和之前有何不同？為甚麼？	要引導出小車所受淨力增加，其加速度也會增加的結論。注意這不代表得出了 $a \propto F_n$ 。
(6). 小結：質量不變，淨力增加→加速度增加	在上一次的小結下作補充
(7). 將砝碼放在小車上，重複第 2 步。提問：小車的運動狀態如何改變？和之前有何不同？	有些學生還未分清楚速度和加速度的概念，會給出「速度慢了」之類的答案，要注意糾正。
(8). 以不同質量的砝碼或雜物（如課本）放在小車上，重複第 2 步幾次。提問：此時小車所受的淨力有沒有變化？	要讓學生注意到現在只改變了小車的質量，但小車所受的淨力並沒有改變。
(9). 抽學生到黑板上做小結：淨力不變，質量增加→加速度減小。	如果擔心被抽中的學生能力較低，可預先寫出模版作為提示：淨力____，質量____→_____。
(10). 提問：在甚麼情況下，小車所受的淨力會使其減速？	小車要減速，必然要先處於運動的狀態，學生一般不難想出這一點。
(11). 討論：小車所受的淨力不為零時，小車能否保持靜止或勻速直線運動狀態？	許多學生以為摩擦力能使小車保持靜止。做此討論前，可和學生重溫小車所受的淨力是甚麼。

關於牛頓運動第二定律的數學推導過程

完成上述的實驗教學過程後，可向學生點明這個定性實驗的不足，例如只知道質量不變的小車所受的淨力增加時，其加速度增加，但並不知道增加了多少。要指出，當經過嚴謹的實驗設計及測量後，可得出如下的結論：

小車的質量 m 不變時，小車的加速度 a 和其所受的淨力 F_n 成正比，有

$$a \propto F_n \quad (1)$$

小車所受的淨力 F_n 不變時，小車的加速度 a 和其質量 m 成反比，有

$$a \propto \frac{1}{m} \quad (2)$$

根據(1)、(2)式，可得

$$a \propto \frac{F_n}{m} \quad (3)$$

將(3)式稍作變換，即有

$$F_n \propto ma \quad (4)$$

要將(4)式變為等式，便需要加入比例系數 k ，得

$$F_n = kma \quad (5)$$

通過定義適當的力學單位，令 1 kg 的物體所受淨力為 1 N（牛頓）時，獲得的加速度為 1 ms^{-2} ，可令比例系數 $k = 1$ ，所以最後我們有

$$F_n = ma \quad (6)$$

以上(1)至(6)式的推導為學生帶來很大的困難，要在短時間內完全講清楚很不容易。難點主要有三處：第一，學生不明白「成比例」的數學概念；第二，為何要加入比例系數；最後，為甚麼比例系數可以等於 1。要讓學生較好地理解這些數學問題，可能需要接近一節課的時間進行教學。如果課時充裕，我覺得也不妨向學生仔細講解這些數學道理。然而，既然我們已經通過實驗認識到物體的加速度和其所受淨力的定性關係，其實已經把握住牛頓運動定律的最核心概念。根據我們的核心教學目標，我決定簡化教學流程，略過(1)至(5)式的推導，一開始就直接給出(6)式，再將(6)式變化為

$$a = \frac{F_n}{m} \quad (7)$$

通過(7)式，說明加速度、淨力和質量之間的比例關係，以此呼應之前實驗的定性結果。最後，我們會花一點時間介紹牛頓運動第二定律中的一些細節，如淨力和加速度的方向，力的單位等。

如何運用牛頓運動第二定律解題

牛頓運動第二定律給出了物體所受淨力和其加速度之間的定量關係。為了通過做習題加強學生對牛頓運動第二定律的理解，在解題方法的講授上，我們要求學生在每次解題時都按以下步驟去做：

- (1). 作隔離體圖，在圖中標出物體速度和加速度的方向
- (2). 定正方向（一般取加速度的方向為正），寫出淨力的表達式
- (3). 寫出牛頓運動第二定律，淨力的符號要加下標，寫成 F_n 或 $F_{\text{淨}}$ 。
- (4). 將淨力的表達式及其他已知條件代入牛頓運動第二定律

千萬不能小看上述解題步驟的有效性，如果每次解題都根據上述步驟進行，能大大減少學生出錯的機會。這個步驟的關鍵之處在於要求學生將淨力和牛頓運動第二定律分別寫出，然後再將淨力代入牛頓運動第二定律。這種做法突出了求淨力的重要性，亦避免了許多學生「見力就代」的問題。我們以一個題目為例說明這一點。

例：如圖 5 所示，質量為 5 kg 的物塊放在水平地面上靜止不動，受到一個大小為 20 N，方向向右的推力 F 作用後，以 2 ms^{-2} 向右加速運動。求物塊所受的摩擦力。

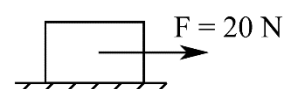


圖 5

常見錯誤一：以為 $F_n = ma$ 中的 F_n 就是要求的力，於是寫為

$$f = ma = 5 \times 2 = 10\text{N}$$

常見錯誤二：以為 F 就是淨力 F_n ，於是寫

$$F = ma \\ 20 = 5 \times 2$$

算到此處，學生發現等式兩邊沒有未知數（還沒發現等式兩邊不等呢），於是束手無策，不知如何好。

常見錯誤三：作出隔離體圖，寫出 $F_n = F - f$ 後，以為「 $F = ma$ 」，於是寫出

$$F_n = ma - f$$

得出了完全錯誤的表達式。

正確答案：

(1) 作出隔離體圖，如圖 6 所示。

(2) 寫出淨力：物塊所受的力向力 N 和重量 G 平衡，設向右為正，有淨力

$$F_n = F - f$$

(3) 寫出牛頓運動第二定律：

$$F_n = ma$$

(4) 將淨力及其他的已知條件代入牛頓運動第二定律：

$$F - f = ma \\ 20 - f = 5 \times 2 \\ f = 10\text{N}$$

(5) 摩擦力 $f = 10\text{N}$ ，方向向右。

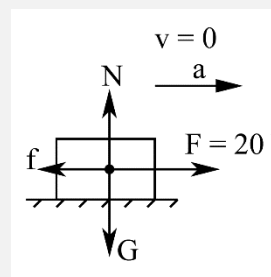


圖 6

從正確答案中可以看出，只有找出淨力的表達式，才能繼續使用牛頓運動第二定律進行計算。寫出牛頓運動第二定律後，每一步都另起一行，使計算者感受到淨力和加速度之間存在緊密關聯，物體運動狀態的變化是由於物體所受淨力不為零導致的。

牛頓運動第二定律與勻變速直線運動公式之間的關係

由於高一學生初學牛頓運動第二定律，不會考慮物體受「變力」的情況，所以物體的加速度總是不變的。物體的加速度不變，說明物體的運動屬於勻變速直線運動，可以使用勻變速直線運動的公式進行計算。¹²所以，牛頓運動第二定律的應用題中，有些不會直接給出加速度 a ，而是給出位移 s 、初速度 u 、末速度 v ，時間 t 等已知條件，讓學生通過勻變速直線運動公式算出加速度 a ；有些讓學生通過牛頓運動第二定律算出加速度 a 後，再要求學生計算位移、末速度等運動學的物理量。由於這類問題和本章的核心教學目標關係不大，教師只要點出牛頓運動第二定律和勻變速直線運動公式之間的關係（有必要把公式一併抄出來），然後

¹² 公式為： $v = u + at$ ， $s = \frac{1}{2}(u + v)t$ ， $s = ut + \frac{1}{2}at^2$ ， $v^2 = u^2 + 2as$ 。其中， u 為初速度， v 為末速度， s 是位移。

在習題課和作業中練習即可。

實驗課：驗證牛頓第二定律

實驗驗證牛頓運動第二定律

本節內容如何配合完成核心教學目標？

從實驗上驗證牛頓運動第二定律，一方面能培養學生的動手操作能力，更重要的是他們能夠通過實驗過程親自體會到淨力和運動狀態變化的關係。通過實驗，學生知道了物理量的測量方法，並且檢驗它們的定量關係是否符合牛頓運動第二定律，以此親手確立了核心教學目標中的知識的合理性。

實驗設計

經過上一節的教學，我們已經給出了牛頓運動第二定律的表達式（(6)式），即

$$F_n = ma \quad (8)$$

此式是否為真，我們還需要通過實驗作出驗證。¹³從(6)式可看出，當質量 m 不變時， $F_n - a$ 圖應該是一條過原點的直線，其斜率等於 m 。據此，我們只需要對物體施加不同的淨力 F_n ，測出物體對應的加速度 a ，作出 $F_n - a$ 圖，對離散的數據進行一次函數擬合，找出直線的斜率，應該就能得到物體的質量 m 。

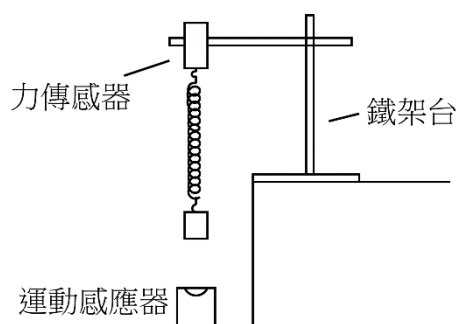


圖 7

這個實驗不要求我們對物體施加恒定不變的淨力，其難點在於該如何測量物體在受不同的淨力 F_n 時所產生的不同的加速度 a 。一個比較優美的做法是 PASCO 提供的：¹⁰¹如圖 7 所示的實驗設置中，通過彈簧將質量為 m 的鈎碼懸掛在力傳感器上，¹⁴鈎碼靜止時，將力傳感器的讀數置 0，¹⁵使力傳感器的讀數等於鈎碼所

¹³ 加速度和淨力之間的成正比關係是一個合理假設，這個假設要經過實驗驗證才能知道是否正確。

¹⁴ 我們使用 PASPORT High Resolution Force Sensor 作為力傳感器。

¹⁵ 如果不置 0，鈎碼靜止時，力傳感器的讀數，即彈簧的張力，等於鈎碼的重量，但此時鈎碼所受的淨力為 $T - mg = 0$ 。為了讓力傳感器測出的結果代表鈎碼所受的淨力，我們應該將力傳感器的讀數扣減去鈎碼的重量 mg ，所以我們才要在鈎碼靜止時讓力傳感器置 0。

受的淨力。在鈎碼下方放置運動感應器，¹⁶用作測量鈎碼的位移，然後軟件就能根據位移隨時間的變化計算出鈎碼的速度和加速度。實驗時，首先將被彈簧懸掛的鈎碼向下拉，此時彈簧伸長，鈎碼離開平衡位置，鈎碼所受的張力增加。接著放手讓鈎碼作簡諧振動，其所受的淨力隨彈簧長度的變化而變化，加速度的量值亦會隨之改變。因為鈎碼簡諧振動，運動傳感器所測量的位移數據點非常連續，有利於軟件計算出鈎碼的速度和加速度。

學生的實驗結果

圖 8 是學生在實驗中測得的加速度隨時間變化線圖 ($a-t$ 圖) 和淨力隨時間變化線圖 (F_n-t 圖)，¹⁷可看出鈎碼所受淨力增加時，其加速度亦增加；淨力為 0 時，加速度亦為 0。

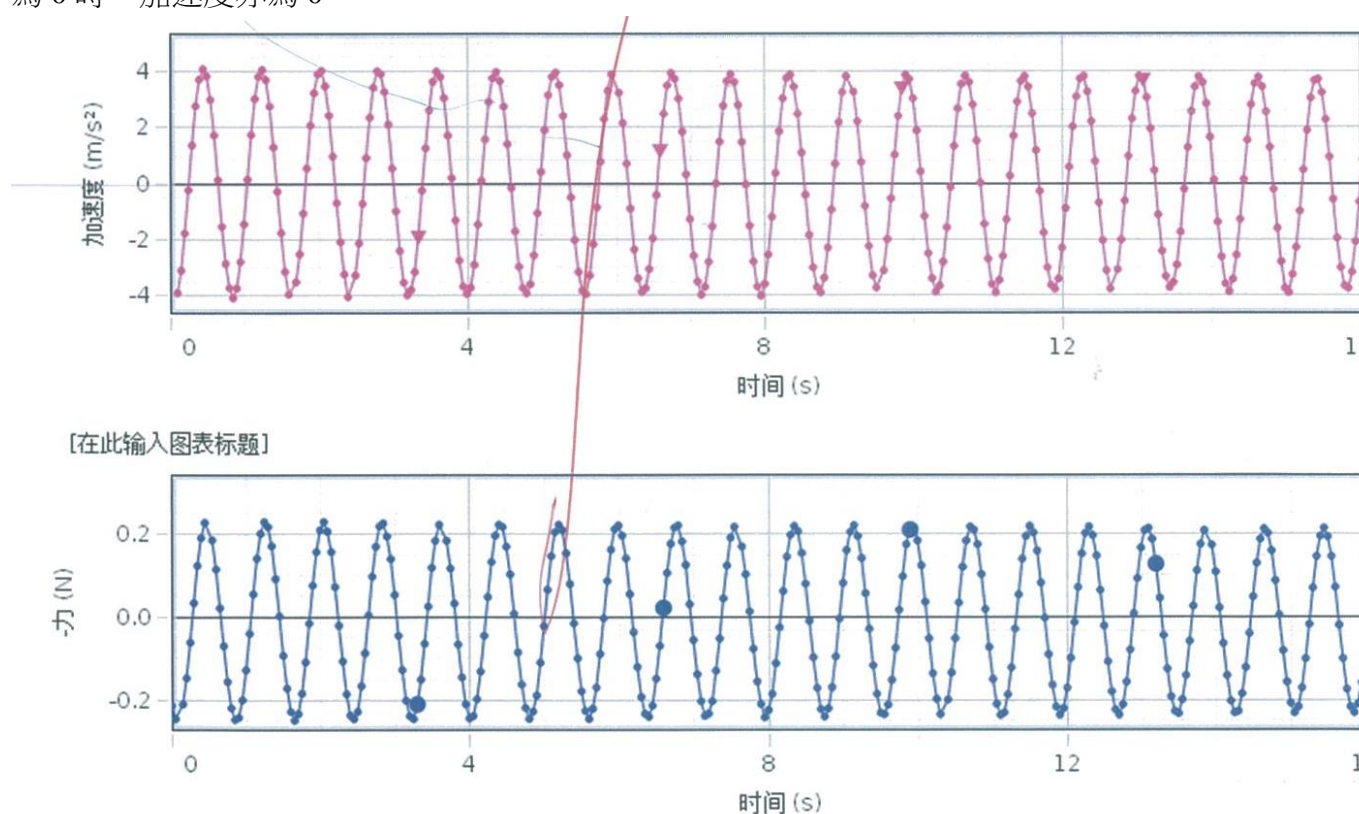


圖 8

圖 9 是學生測量的淨力—加速度關係線圖 (F_n-a 圖)。從圖中可見，這些測量數據顯然遵循線性規律，所以對數據進行一次函數擬合 (軟件中稱為 $ma+b$ ， m 是斜率)，得出了直線的斜率 $m = 0.0568\text{kg}$ ，¹⁸而學生在這次實驗中所用的鈎

¹⁶ 我們使用的是 PASPORT Motion Sensor。

¹⁷ 對於力傳感器，拉力的方向為正，但對於運動感應器，物體遠離的方向為正。當拉長彈簧使鈎碼接近運動感應器時，力傳感器會得出正值，運動感應器會測得負值，導致了淨力和加速度的方向貌似不同的情況，所以我們要將 F_n-t 圖中的縱坐標處設定為「-力」，人為地更正這個軟件設置帶來的問題。

¹⁸ 圖中的誤差項是 $\pm 4.6 \times 10^{-4}$ ，由於此圖是將學生打印的實驗報告掃描後再截出的，那個負號

碼的質量是50g。因為沒有考慮到彈簧的質量（約幾克）和空氣阻力，所以實驗中測出的結果比準確值略大是合理的。可改變鈎碼的質量重複上述的實驗過程。

注意事項

這個實驗有幾個值得注意的地方：

- (1). 鈎碼最好和彈簧固定在一起，以免學生施力不當時，鈎碼被彈簧拉至飛脫，有可能會砸壞下方的運動感應器。
- (2). 讓鈎碼開始簡諧振動後，再啟動力傳感器和運動感應器，以免測出人用手拉鈎碼時的結果。
- (3). 學生較易遺忘將力傳感器適當地置零，特別是在更換鈎碼的質量後。
- (4). 鈎碼上下振動時，容易伴隨著擺動，應該從不同的方向作出檢視以確保這種現象不會出現。

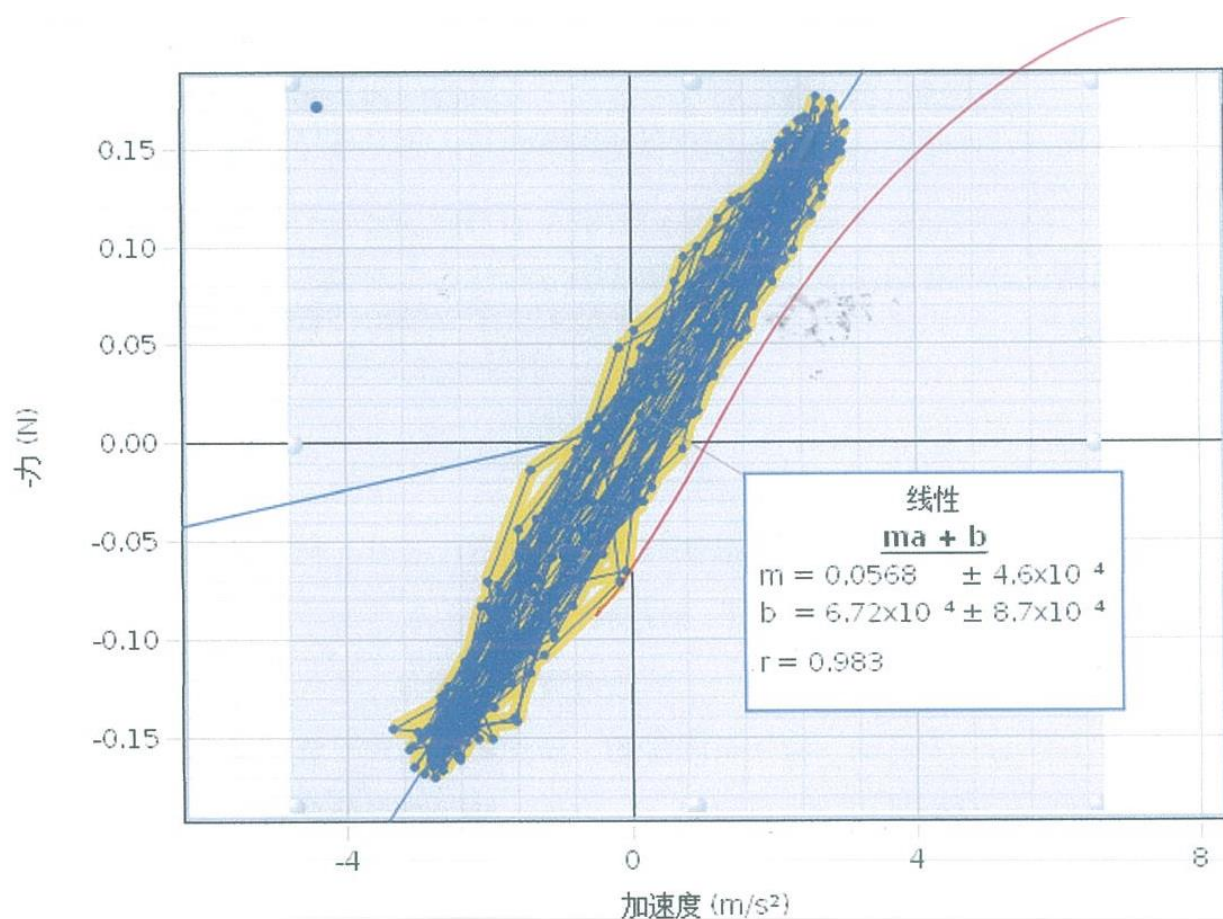


圖 9

顯示不清楚，下圖截距 b 的結果中也有這個問題。

重量、摩擦力與流體阻力

討論重量、摩擦力和流體阻力的物理意義及作為綜合例子加深學生對牛頓運動第二定律的理解

本節內容如何配合完成核心教學目標？

學習了力和運動的定性描述、定量計算及實驗驗證後，本節使用日常生活中遇到物理現象，應用我們學習到的力和運動的物理知識去進行分析，分析結果又解釋了這些物理現象出現的原因。所以，通過本節的學習，學生在核心教學目標中的知識得到了運用，這使教學成效得以鞏固。

關於質量和重量

教材中關於質量和重量的概念、質量和重量的測量方法等，學生在初二年級時基本全部學過，所以這些內容的教學以復習的形式進行。

表觀重量

日常生活中的超重、失重現象十分有趣，也方便演示。學生學習牛頓運動定律對這個現象的分析過程，有利於他們鞏固剛剛學到的知識。所謂的超「重」和失「重」，其中的「重」指的是物體的表觀重量，並不是物體的重量。要讓學生區分和理解日常生活中的「重量」、物理意義上的重量和表觀重量並不容易，除了參考我們以下的教學方法外，還可以看相關學者關於這個問題最新的研究論文。^[0]

我們知道，質量為 m 的物體的重量是 $G = mg$ 。物體放在一旁時，我們不會感覺到它的重量，只有當我們拿起它，它對我們施加了壓力，這個壓力使我們感受到它的重量。因為力的作用是相互的，物體對人施加的壓力，應等於人對物體施加的法向力 N ，¹⁹我們將這個法向力稱為物體的「表觀重量」。為了加強學生對此概念的理解，可請一學生背著書包走上講台，做如下提問：

- (1). 你覺得書包重嗎？
- (2). (教師提起書包) 你覺得書包重嗎？為甚麼？
- (3). (教師提起書包) 你覺得誰感受到書包的重量？
- (4). 你沒感受到書包的重量，說明了書包不受地球的引力嗎？

為何測量體重時我們要靜止不動？

¹⁹ 雖然學生還沒有學習牛頓運動第二定律，但他們在初二時已經學過「力的作用是相互的，作用力等於反作用力，它們大小相同、方向相反、在同一直線上」的概念。

質量為 m 的人站在磅上，隔離體圖如圖 10 所示。根據牛頓運動第一定律，

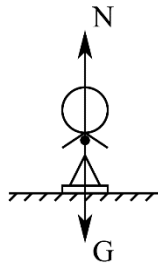


圖 10

其所受的淨力為 0，則有

$$F_n = N - mg = 0$$

則人所受的法向力，即表觀重量為

$$N = mg \quad (9)$$

這時可取出一個彈簧磅做演示，並提問：「為何磅能夠測出物體的重量？」以此提問引導學生對磅和物體進行受力分析，得出磅受物體所給的壓力，而物體受磅給的法向力，二力大小相同、方向相反。

接下來，我們就應該和學生一起討論人站在磅上，人卻不靜止的情況。首先，可讓幾個學生出講台示範人如何站在磅上身體卻不靜止。一般學生常做的動作是，下蹲、站起和跳高等，可引導他們給出更特別的答案，如舉手、抬腳等。²⁰然後，讓學生回答人剛開始下蹲和蹲下後剛要站起來時人的運動狀態是否有變化、是如何變化，以及加速度的方向。

超重、失重

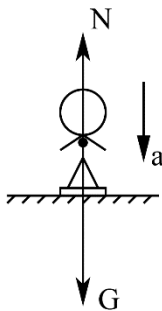


圖 11

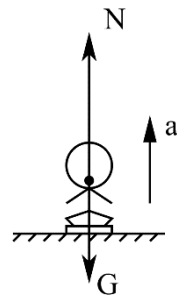


圖 12

通過學生的回答，將人剛下蹲（圖 11）和下蹲後剛站起（圖 12）時的隔離體圖畫出來，請學生根據牛頓運動第二定律的解題步驟設定正方向，寫出人所受

²⁰ 如學生做旋轉等動作，可讚揚和肯定他們，但不要在後續的實驗中用這些動作做測量。

的淨力的表達式和牛頓運動第二定律的公式，並將 F_n 代入 $F_n = ma$ ，最後要求他們寫出人的表觀重量，即 N 的表達式。運算後可知人剛下蹲時，其表觀重量為

$$N = m(g - a) \quad (10)$$

人蹲下後剛站起時，其表觀重量為

$$N = m(g + a) \quad (11)$$

將(10)、(11)式和(9)式比較時可發現，²¹當人剛下蹲時，其表觀重量小於重量，即有

$$N < mg$$

人處於失重狀態。當人蹲下後剛站起時，其表觀重量大於重量，有

$$N > mg$$

人處於超重狀態。從(10)式可知，當 $a = g$ 時，有 $N = 0$ ，人處於完全失重狀態。

以提問的方法得出以下的小結：

- (1). 失重和超重的物理效果：人對地的壓力、地對人的法向力發生了改變。
- (2). 失重和超重的物理根源：人的運動狀態變化，使人所受淨力不為0，則人所受的法向力不可能等於重量。
- (3). 根據隔離體圖，當人的加速度豎直向下時，出現失重現象；當人的加速度豎直向上時，出現超重現象。
- (4). 人的加速度有 $a = g$ 時，人完全失重。此時人不會對地面施加壓力，地面也不會承托著人，人所受的法向力為0，代表人只受重力作用。

體驗失重、超重和完全失重

讓數名學生站在平地上，²²讓其做如下動作：

靜止→突然下蹲→靜止→突然站起→靜止

要求學生仔細感受這個過程中自己腳底處所受法向力，即表觀重量的變化。一般學生不太敢突然下蹲，而是緩緩地下蹲，這會導致腳底的感覺沒有明顯的改變。要注意提醒他們要感受腳底受力的變化，不要將注意力放在膝蓋上。

選一名同學站在電子磅上，²³讓其重複之前同學所做的動作，得出該生的表觀重量變化如圖 13 所示。²⁴根據此圖，討論：

²¹ 注意板書組織，此三式應該同時出現在黑板上。

²² 如女學生當天穿裙子，不要選女學生。

²³ 我們使用的電子磅是 PASCO Force Platform。

²⁴ 此圖非教學現場測量所得。

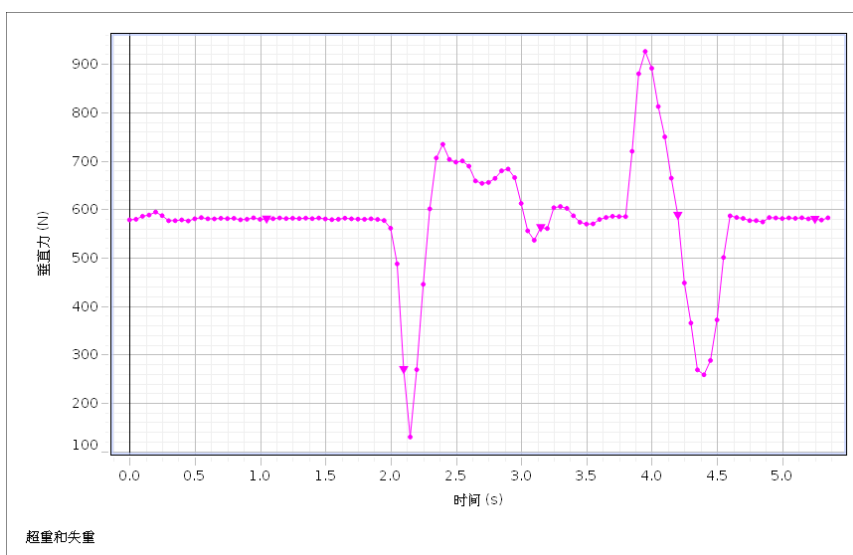


圖 13

- (1). 該同學甚麼時候開始下蹲？
- (2). 為甚麼 $t = 2.1\text{s}$ 左右時測量結果顯示該同學的表觀重量正在增加？（引導他們思考人快下蹲完時加速度的方向）測量的結果和個人感覺是否一致？
- (3). 該同學在 $t = 3.5\text{s}$ 左右時的運動狀態是甚麼？
- (4). 該同學甚麼時候開始站起來？
- (5). 為甚麼 $t = 3.9\text{s}$ 左右時測量結果顯示該同學的表觀重量正在減小？
- (6). 該同學在甚麼時候完全站起來了？

選一名瘦小且動作靈活的同学站在電子磅上，讓其輕微跳起，討論電子磅的讀數會如何變化？人甚麼時會完全失重？不少人以為物體只在自由落體運動時才會完全失重，實際上只要物體只受重力作用時，就會完全失重，所以在空中豎直向上做勻減速直線運動的物體也會完全失重。為了體會這一點，可讓學生背著書包向上跳，說出在甚麼時候沒有感受到書包的重量。

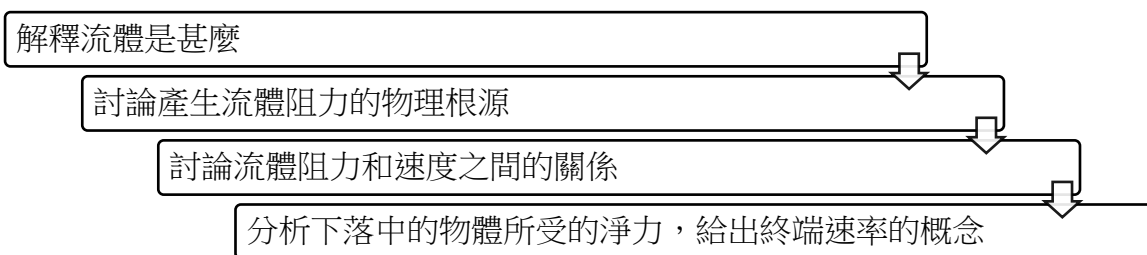
關於摩擦力

本教材並沒有區分靜摩擦力和滑動摩擦力，也沒有提及摩擦力的公式 $f = \mu N$ ，整體教學內容並沒有超出初二的程度。我們對摩擦力的概念進行復習時，要關注以下幾點：

- (1). 摩擦力的符號。要求摩擦力的符號統一寫成「 f 」。
- (2). 摩擦力的物理效果。摩擦力不是只能作為阻力，也可作為動力，改變物體的靜止狀態，如走路、開瓶蓋等。
- (3). 物體滑動時，其所受的摩擦力大小不變。

對流體阻力的定性討論

對於流體阻力，我們不要求定量計算，不給出公式，只討論其物理意義，特別是運動物體受流體阻力時物體的運動狀態如何變化。教學上，可根據如下順序進行：



討論產生流體阻力的物理根源時，可取出兩張大小相同且扁平的紙（A4 紙一半大即可，大一點更好），在同一高度下，兩紙分別平放和豎放掉落，觀察兩者下落到地面的時間是否相同。顯然，豎放的紙較不易受空氣分子的阻礙，會用較短的時間到達地面。

作用力與反作用力：牛頓運動第三定律

介紹牛頓運動第三定律，引入作用力—反作用力對的概念

本節內容如何配合完成核心教學目標？

牛頓運動第三定律已經屬於本教案的最終教學部份，我們有必要重溫本教案要達到的教學目標及知道牛頓運動第三定律和這個教學目標之間的關係。

正如「簡介」中的「核心教學目標」所述，本教案不對每個教學章節設定細緻的教學目標，而是對整章「力與運動」的主題設定了一個核心教學目標，這個核心教學目標是：

學生理解如下的物理概念：

物體受淨力作用時，運動狀態改變；物體的運動狀態改變時，其必定受淨力

通過整體的課程設計，使課程的各個部份都有助於達成這個核心教學目標。如果核心教學目標能夠完成，學生自然就會懂能許多知識和技能。如果核心教學目標未能完成，就算學生會解再多的題、考試考得再高分，也是沒有意義。

為了完成核心教學目標，牛頓運動第三定律的教學重點不應只集中在相互作用力的性質和反衝運動等實例和演示上（當然這些內容也要教），施力和受力物體所受的淨力與其運動狀態之間的關係也是非常重要的。我們要讓學生慣於思考和分析每一個物體的受力情況，要他們明確物體受力和物體運動狀態之間的關係由牛頓運動第二定律所描述，從無例外。

牛頓運動第三定律的教學難點

作用力和反作用既然大小相同，方向相反，學生就會以為作用力和反作用力可以互相抵消。例如，有兩個靜止的人 A 和 B 站在冰面上（圖 14），A 給 B 一個向右的推力，A 如何運動？

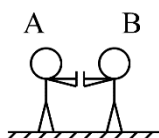


圖 14

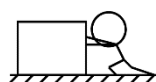


圖 15

學生一般能夠回答出「向右運動」。究其原因，未必是學生懂得牛頓運動第三定律，他們可能是靠直覺或經驗才回答出這個答案。又例如，人站在地上推一個箱子（圖 15），但推不動，原因是甚麼？許多學生的答案是「人給箱子的推力和箱

子給人的反作用力互相抵消」。如果在測驗卷中使用上述兩個問題，大家馬上會發現其實很多學生是完全不懂牛頓運動第三定律的。

要克服這個難點，就要要求學生做好分析力學問題的基本步驟：「畫隔離體圖→寫出淨力的表達式→寫出牛頓運動第二定律→將淨力的表達式代入牛頓運動第二定律」，這個要求是一刻都不能鬆懈的，否則學生就會以為之前所學的牛頓運動第二定律應用方法不適用於這些問題。對於圖 15，只要將箱子和人做隔離，畫出它們所受的力，學生就會懂得人給箱子的推力和箱子給人的反作用力是無論如何都抵消不了的，人和箱子不能移動是另有原因的。

另外一個教學難點在於學生知道作用力和反作用力的大小相同，但當他們遇到現實問題時，如巴士撞到人，學生一般會以為巴士給人的力大於人給巴士的力。這個例子亦表明了學生仍未能用牛頓運動第二定律思考物體受力及運動的關係。

試教評估

我認為本教案的核心教學目標完成得比較好，具體理由為：

(1) 在測驗卷和考試卷的計算題中，大部份同學會嘗試作出物體的隔離體圖並寫出淨力的表達式，很少有人會將題目那些力的已知條件胡亂地代入牛頓運動第二定律中。

(2) 在後續的教學單元中，學生顯示出他們在一定程度上知道物體所受淨力與其運動狀態變化之間存在聯繫。例如，在學習勻速圓周運動時，當我問做勻速圓周運動的物體有沒有受淨力時，許多學生毫不猶豫地給出正確答案，而且給出原因（一般的理由是物體不是靜止或勻速直線運動）。又例如，當他們做動量守恒的實驗時（兩小車碰撞），發現小車的 $v-t$ 圖的數值不斷下降（如圖 16 所示的樣子），他們理解小車甚麼時候發生了碰撞，也明白為甚麼碰撞前小車的速度在變小，這顯示出他們將小車速度變小和小車受到摩擦力或撞擊力聯繫起來。

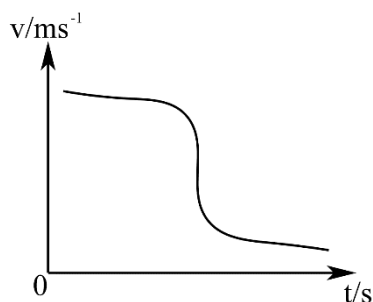


圖 16

未來，我們考慮使用 Force and Motion Conceptual Evaluation (FMCE)^[0]來評估學生對「力與運動」概念的理解，希望得到一些定量的估計結果，改善教學中的不足之處，使教學質量得到進一步的改善。

反思與建議

物理學是一門解釋大自然根本道理的科學，其知識面非常廣，理論和實驗繁多，應用了不少數學技巧，這一切都使物理學變得艱深，很多學生對學習物理學感到畏懼。隨著自己的教齡漸增，我發現學生在學習物理學時，明明一個極其簡單的物理概念，學生偏偏不能理解。究其原因，不是這個概念太難，而是學生沒有重視物理概念的理解，他們把精力都花費在圍繞這個概念的各種名詞術語和數學技巧上。這些名詞術語和數學技巧不是不重要，也不是不需要學，而是我們要讓學生懂得為甚麼他們要學這些「旁枝末節」。我們將教案的教學目標濃縮精華至一個核心教學目標，就是為了使教師將課堂定位在核心教學目標上，使各種名詞術語和數學技巧都變成輔助核心教學目標達成的工具，使它們的存在變得有意義。

舉例來說，教材中關於「力與運動」的第二部份，介紹了「力的合成與分解」的數學技巧。學生在學習這部份內容時，常常覺得這些合成與分解的技巧充滿不確定性，為甚麼有時物體受多個力，我們不直接將它們合成，反而要對某個力做分解呢？其實，根據核心教學目標，學習這些「力的合成與分解」的數學技巧，都是為了找出物體所受的淨力，從而知道物體的運動狀態如何變化。只要最後能將力合成，無論用甚麼方法都是可以的。

使用這種教案的設計方法，我們可發現全高一學年的物理學基本上可總結為三個核心：

- (1) 淨力和運動狀態變化之間的關係，即牛頓運動第二定律；
- (2) 功和能量的關係，即能量守恒定律；
- (3) 相互作用力與動量的關係，即動量守恒定律。

這三個核心顯然就是經典物理學的三个最重要的支柱，真正懂得這三點，物理學的學習可算是入門了。

參考資料

1. D Rosengrant, A Van Heuvelen, and E Etkina, Do Students use and understand free-body diagrams? *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.* **5**, 010108 (2009).
2. H Helm, Comment on “A constant force generator for the demonstration of Newton’s second law”, *Am. J. Phys.* **52**, 268 (1984).
3. PASCO, Newton's Second Law, <https://www.youtube.com/watch?v=QtRC8w8vJ78>
4. R Taibu, D Schuster, and D Rudge, Teaching weight to explicitly address language ambiguities and conceptual difficulties, *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.* **13**, 010130 (2017).
5. R K Thornton and D R Sokoloff, Assessing student learning of Newton’s laws: The Force and Motion Conceptual Evaluation and the Evaluation of Active Learning Laboratory and Lecture Curricula, *Am. J. Phys.* **66**, 338 (1998).