

科學講堂

逢星期三見報

影響空間長短 光線波長「互動」助量度

干涉現象 測重力波

上星期談及，根據愛因斯坦 (Albert Einstein) 的廣義相對論 (General Relativity)，物質及能量會導致時空扭曲；當物質及能量移動的時候，時空的扭曲也會隨之而改變。這種改變向四面八方傳送，就是重力波 (gravitational wave) 了。今年的諾貝爾物理學獎，肯定了3位科學家為成功偵測重力波而付出的努力。

然而重力波好像是看不見、摸不到的東西，我們又是如何偵測到它們的？

利用4,000米長鐳射光束 真空隧道內測量

我們並不是從來沒有量度過「看不見、摸不到的東西」：通訊用的無線電波也是如此。無線電波本質上是電磁波 (electromagnetic wave)，能夠牽引電路內的電子隨之而運動，因此運用適當的電路就能偵測到無線電波了。

偵測重力波的道理也是大同小異。我們需要找出重力波對什麼物事有

影響，再去尋找辦法去量度它們。那麼重力波對什麼物事有影響？如前所述，重力波代表的是時空的扭曲，因而能夠導致空間短暫地增長或縮短：一陣重力波經過，可以令我們眼前間尺的刻度隨之而改變。

只是這樣的改變實在是太微小了 (事實上是可能比一顆質子的直徑還要小)，因此必須用很精準的方法才能將它們偵測出來。

干涉現象如「水波」互動

光線的波長很短，因此可以是一把刻度很精細的尺。波的干涉現象 (interference)，正好容許我們善加利用這把精密的尺。

什麼是干涉現象？我們可以想像兩道相遇的水波：水波有低谷、有高峰，倘若一道水波的高峰遇上另一道水波的高峰，那麼兩道水波就會「雙劍合璧」，形成一道高低更顯著的水波；不過倘若其中一道水波稍為移動，以致它的高峰正好碰上另外一道

水波的低谷，那麼兩道水波就會互相抵消，最後變成什麼也沒有。

這種互相加強，或是互相抵消，就是波的干涉現象。反過來想，這種現象對兩道水波的相對位置很敏感，只需半個波長的移動，就會由「互相加強」轉變成「互相抵消」，正好可以用來量度很微細的距離。

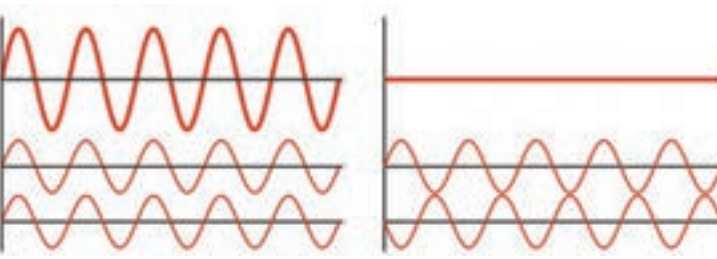
由於重力波的效果真的是很微細，科學家們被迫仗仗長達4,000米的鐳射光束的干涉現象去量度；為了剔除附近空氣粒子振動帶來的虛假信號，科學家們在鐳射光束之外築起了隧道，再將內部空間的空氣抽走，造成接近真空的狀態。

這樣如此精確的測量設備，真的是令人瞠目結舌。不過其實這個實驗初期的結果並不令人樂觀，過了很久還沒有偵測到任何重力波的訊號。幸而有關的科學家絕沒有放棄，還不斷改進測量的設備以提升它的準確度，最終能夠量度到重力波，為科學史寫下新的一頁。

■張文彥博士



科學家們在重力波測量設備之外築起了隧道，再將內部空間的空氣抽走，造成接近真空的狀態。網上圖片



波的干涉現象：有時互相加強，有時互相抵消。網上圖片

作者簡介：香港大學土木及結構工程學士。短暫任職見習土木工程師後，決定追隨對科學的興趣，在加拿大渥太華大學取得理學士及哲學博士學位，修讀理論粒子物理。現任香港大學理學院講師，教授基礎科學及通識課程，不時參與科學普及與知識交流活動。



無線電波看不見、摸不到，但是能夠偵測到無線電波的儀器，現在幾乎人人都有。網上圖片

奧數揭秘

逢星期三見報

數字排列找規律

數字有時用一些特別的形式排列起來，找找規律，當中也是會有點小發現的。以下先提出一個找規律的小問題，再討論今次要談的問題。

若把單數如下述一般排列起來，找找最右那邊的數，那也有點不容易的。

- 1
3, 5
7, 9, 11
13, 15, 17, 19
21, 23, 25, 27, 29
.....

上列之中，若是要找第n行最右邊的單數是什麼，那怎樣找呢？

由第一行起，1是第1個單數，第二行最右邊是5，那是第3個單數，第三行最右邊是11，那是第6個單數，第四行最右邊是19，那是第10個單數。留意到剛才所說的1, 3, 6和10，是有規律的，10=4+3+2+1, 6=3+2+1, 3=2+1和1=1，全都是三角形數，普遍來說，1+2+3+...+n = n(n+1)/2。因此第n行

最右邊的數，是第 n(n+1)/2 個單數，也就是 2 * n(n+1)/2 - 1 = n^2 + n - 1。

有了這個結果，討論以下的問題時就簡單一點了。

問題 考慮如下算式，找出規律並證明。
1=1
3+5=8
7+9+11=27
13+15+17+19=64
21+23+25+27+29=125

答案 不難看出，等號右方是立方數，普遍來說，第n行的等號右邊就是n^3。只是這還不過是個猜想，未可當為事實。以下就一步一步來證明。由之前的討論得知，第n行等號左邊的最右邊的項，是n^2+n-1。而第n行共有n個單數，相鄰項之間相差2。因此第n行左邊由大到小加起來是：

(n^2 + n - 1) + (n^2 + n - 1 - 2) + (n^2 + n - 1 - 4) + ... + [n^2 + n - 1 - 2(n-1)]
= n(n^2 + n - 1) - 2[1 + 2 + 3 + ... + (n-1)]
= n^3 + n^2 - n - 2 * n(n-1)/2
= n^3 + n^2 - n - n^2 + n
= n^3
這樣便證明了左邊第n行加起來真是n^3。

清楚沉實表達 訓練精細謹慎

回頭看看這道題目，開始時還不過是把單數順着排列，每行1個、2個、3個那樣順序排。那樣找找最右邊的數也好，最左邊的也好，好像沒什麼特別。後來到神奇了，原來每行加起來竟是立方數，這還真是有點料不及，令人覺得有點驚奇。

在小學階段，學奧數的學生，多數都是頭腦靈活的，找規律大概都難不倒他們，比如看着上邊的問題，說得出右邊是立方數的大概也不少。只是較少人會真個走去證明它的。就是中學生，願意猜到規律後，沉實實實地做好那證明的，也是較少的。

上邊的問題所訓練的，除了是當中必要的代數技巧以外，還有的是作猜想的能力，另外還有把通項表達清楚的能力。剛才討論第n行的時候，第一步是找等號左邊的最右邊的項怎樣用n表示。要留意這也不是任意

的，比如若果選擇去找最左邊的項的表達式，又會麻煩了一截。

另外，當中最右邊的項，由觀察到它是第幾個單數，到計算出那個單數是什麼，也要轉換一下，要說得清清楚楚那個規律，才可以轉換得準確。

這些找規律的問題，有時純粹猜猜加起來是怎樣，固然有趣味。只是要在數學上清清楚楚地說出各個數的表達式具體怎麼樣，寫出來又沒有錯，思想又要仔細點了，要沉實多了，沒有猜數字那麼輕鬆簡單的。

最易錯的地方是，有時數着數着，轉換幾次，總會相差了一點點，不是錯了某個正負號，就是不知哪個項數多了一次兩次。這些錯誤也不能只說是「不小心」便輕輕帶過，當作沒事，總要在沉實而詳盡的表達中，訓練出精細和謹慎來。 ■張志基

簡介：香港首間提供奧數培訓之教育機構，每年舉辦奧數比賽，並積極開辦不同類型的奧數培訓課程。學員有機會獲選拔成為香港代表隊，參加海內外重要大賽。詳情可瀏覽：www.hkmos.org。

創科學園

隔星期三見報

在2015年的施政報告中，特區政府首次提出推動STEM (科學、科技、工程、數學) 教育，並在2016年施政報告中獲得進一步的支持。創新及科技局亦於2015年11月成立，展示政府大力推動科研及創科發展的決心，同時為有志於在日後從事數理科研的大學生、中學生提供了較清晰的進修及發展方向。

及至今年行政長官在10月11日發表的2017施政報告中，再落實STEM教育的推展。行政長官在上周發表的施政報告在第三章「多元經濟」中，便花了很大的篇幅去論述「創新」、「科技」、「編程」、「STEM」等項目。如能全面落實相關的施政內容，對教育界實在是大喜的信息。現省去與前線教師相關的部分。

助學金吸引本地生投身科研

在大學科研方面，2013/14至2016/17

施政報告惠及創科教育

年度大學教育資助委員會/研究資助局給予大學的研發撥款，由44.6億元增加了18%至52.8億元。政府又預留不少於100億元作為大學研究的資金。

教育局會透過向研究基金注資30億元，為修讀教資會資助的研究院研究課程的本地學生提供助學金，以吸引他們投身研究工作，配合推動創新科技的發展。政府亦會擴大現時「實習研究員計劃」，讓更多企業和「科學、科技、工程和數學」(STEM) 畢業生受惠。

在科學普及教育方面，教育局除了在2015/16及2016/17學年分別向所有公營小學和中學發放一筆過津貼外，亦更新了科學、科技和數學學習領域課程，加強學生綜合和應用知識與技能的能力，期望藉此培養他們的創造、協作和解決問題的能力。

施政報告又提到，教育局正在草擬「計算思維—編程教育」的補充文件，

將會在短期內完成，供學校採用。

在師資培訓方面，由本學年開始，教育局會為所有中、小學的學校領導層和中層管理人員提供一系列的進深培訓課程，提升教師在規劃及推行校本STEM相關活動方面的專業能力。

新設於九龍樂富的「藝術與科技教育中心」內的「STEM教育中心」亦即將開始運作，為中小學教師提供培訓及相關的教學支援。藉着聯同大專院校和其他相關機構舉辦更多優質的大型學生活動，如與科學科技相關的博覽會，讓學生有學以致用，互相觀摩的機會。

香港科學館的常設展覽亦會作定期的更新，以加強中小學及幼稚園利用科學館作為推動STEM教育的途徑。

■張錦華博士
香港常識科教育學會理事、Google Certified Educator、Apple Teacher (Swift Playgrounds)

氣象萬千

隔星期三見報

「米蘭科維奇循環」證氣候可自然變化

不知道大家是否還記得，小學曾經學過地球是會自轉，而自轉的軸心是傾斜，在同一時間地球是圍繞着太陽公轉，但原來，地球自轉的軸心，所指的方向和公轉軌跡，並不是永恒不變。

塞爾維亞天文學家米蘭科維奇，在二十世紀初提出，地球圍繞太陽環行時，3個軌跡幾何變數的周期性變化，會影響地球冰河時期的始末與衰。

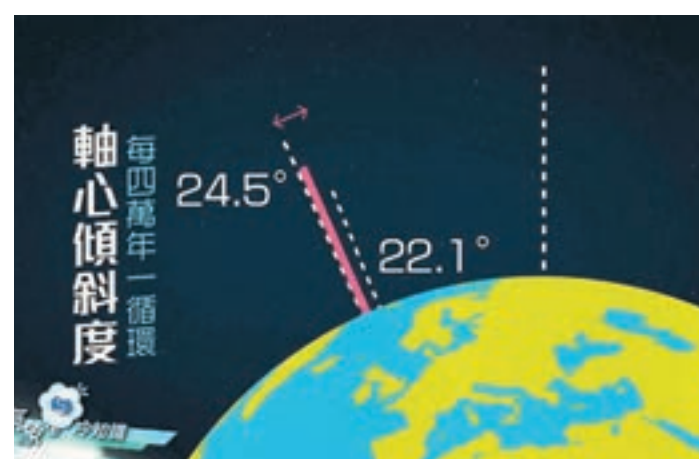
3變數影響天氣

第一個變數，是地球環繞太陽公轉軌跡的形狀，軌跡有時較接近圓形，但有時較接近橢圓形。這個變化大約每十萬年循環一次。軌跡的變化會影響在不同季節抵達地球的太陽能量。

第二個變數是地球自轉軸心的傾斜角度，它會在22.1度至24.5度之間變化，大約每4萬年循環一次，這個變化不會改變由太陽抵達地球的總能量，但會影響日照在不同緯度的分佈。

最後一個變數，是地球自轉軸心的進動，亦即是地球軸心的搖晃，軸心轉動一圈大約需時二萬六千年。地球軸心的搖晃同樣會影響日照在不同緯度的分佈。

米蘭科維奇認為，這3個變數的周期性變化，對抵達北半球高緯度地區的日照影響至為重要，因為地球大部分的冰雪面都



地球自轉軸心的傾斜角度變化，會影響日照在不同緯度的分佈。視頻截圖

集中在地區，而冰雪面的變化可以引致「正回饋」作用，舉例：當北半球高緯度地區所接收的日照減少，夏季的升溫不足以融化上一個冬季的冰雪，全年整體的冰雪量會增加，而白色反光的冰雪面，亦會把更多的陽光反射回太空，減少地球接收到的熱力，幫助冰雪進一步增加，形成一個可以自我延續和增強的循環。

年復一年的冰雪增長，最終會把地球推進冰河時期。

氣候變化否定者理虧

經過科學家的反覆檢視，米蘭科維奇的理論終於在20世紀後期獲得接納。這3個

地球軌跡幾何變數的周期性變化，現在稱為「米蘭科維奇循環」，理論顯示地球的自然變化可以改變地球的溫度，有氣候變化否定者便利用這個論點，否定近百年來的人為氣候變暖。

然而，我們必須注意，這個循環的時間尺度是以萬年計，過程相當緩慢。古氣候學的研究發現，過去五千年來，地球經歷一個長期而且緩慢的降溫過程，與地球高緯度地區接收日照所呈現的減少趨勢一致。到了最近一百年，地球溫度急速上升，完全逆轉了降溫。這麼急速的升溫，怎能理解為自然變化？氣候變化否定者的論點，是站不住腳的。

簡介：本欄以天文台的網上氣象節目《氣象冷知識》向讀者簡介有趣的天氣現象。詳情可瀏覽天文台YouTube專頁：https://www.youtube.com/user/hkweather。

