

偉大科學家傳記讀本輔助講義

A portrait of a bearded man, likely a religious figure, wearing a white collar and a dark garment. The man has a full, grey beard and mustache, and his hair is grey and receding. He is looking slightly to the left of the viewer. The background is dark and indistinct. The portrait is framed by a simple grey border.

國立中正大學物理系教授

伽利略：近代科學之父

在伽利略之前的歐洲，是個科學知識貧乏之地，科學觀念一直延用著兩千年前亞里斯多德的學說，在解說大自然現象時，帶著濃厚的宗教與哲學色彩，輕忽了實驗及量測的必要性。而在伽利略之後，他所推動的新科學讓世人能夠以正確的眼光看待世界，地球不再是宇宙的中心，天上與人間都要遵守同樣的物理定律。愛因斯坦說得好：「僅用邏輯方法得到的結論，對了解世界而言不是踏實的，伽利略明白這一點，特別地它在科學上鼓吹這一觀點，所以他就是近代物理學之父，事實上是近代科學之父。」

所有的記載都顯示，伽利略並不是一個好相處的人，如近代天文物理學家利維歐(Mario Livio)這樣形容：「伽利略是個非凡的天才，但脾氣不好。他對家人很友善，辛辣的文筆令人咋舌。」(註一)完全沒有「溫、良、恭、簡、讓」的學者形象。在 1610 年之後，那時伽利略已經功成名就，當紅的世界級大學者，比薩大學的終身教授及佛羅倫斯大公爵的首席宮廷學者，假如他願意和其他學者一樣，安靜地留在象牙塔裡，花些時間寫下他的研究著作，《關於托勒密與哥白尼的對話》及《關於兩門新科學的對話》，那麼伽利略可以錦衣玉食到老，一樣可以名垂千古，一樣是近代科學之父，不必遭逢牢獄之災，可是這不是伽利略的作風。

身為宮廷學者，經常要參與學術辯論，伽利略一方面為了取悅大公爵，另

一方面也是個性使然，他喜歡用各種嘲弄諷刺的手法和對手爭辯。如在 1611 年 7 月，宮廷有一場有關浮體比重的論戰，對手依從亞里斯多德的說法，冷是由於濃縮所造成的，所以冰是濃縮的水。可伽利略指出，冰並不是水的濃縮，反而是膨脹的水，因為冰可以浮於水上。對手反駁說，冰浮於水是因為形狀的關係，伽利略怒斥說，浮冰可以有各種形狀，密度的問題才是關鍵。對手以球形的黑檀木會下沉而片狀者會浮起來作回應，口舌之爭很快就熱絡起來，幸虧公爵適時地介入，要雙方節制不要演變成罵街。爭執之後，雙方筆戰不斷，對手陣營有位名叫哥倫貝(Ludovico delle Colombe)的人，所以伽利略稱他們為「鴿子聯盟」(Pigeon League)，哥倫貝的諧音正是鴿子，而鴿子在義大利文有「笨蛋」的涵意。我們這位好爭辯的天才，在 1618 年，因天空出現三顆彗星，為了爭論是發生在月球和地球之間，還是在月球以外的問題，與耶穌會士格拉西神父(Orazio Grassi)領導的羅馬學院對上了，最後大家都同意，那是位於月球之外的彗星，但又為了擁護第谷模型或哥白尼模型，雙方鬧得不歡而散。1613 年，有關「太陽黑子」的發現與本質的討論，再增加一個敵人，耶穌會的學者謝納神父(Christopher Scheiner)。這些人後來，在伽利略被判有罪的宗教法庭上，扮演了一些重要的角色。

伽利略在 1623 年出版《試金者》(The Assayer)，書中那句膾炙人口的名言：「大自然是以數學的語言寫成的。」其實是用來譏笑羅馬學院的首席哲學家格拉西神父不懂數學。書中還有一段，典型伽利略嘲諷風格的文字，因為格拉西是屬於亞里斯多德學派，自然會認為快速飛行的箭與空氣摩擦，能產生熱。

格拉西引述一段歷史記載，宣稱巴比倫士兵曾經把蛋放在網袋中旋轉，就把蛋煮熟了。《試金者》書中這樣嘲笑這位哲學神父(參考資料 1)，「如果有人宣稱他可以完成某件事情，而我們做不到，必然是我們在操作上有了些不一樣，如果不一樣的條件只有一項，那麼這一項就是失敗的原因。既然我們有雞蛋，有網袋，也有臂膀強健的人可以快速旋轉雞蛋，但是蛋就是不會熟…看來，我們失敗的原因在於我們不是巴比倫士兵。因此，變成巴比倫士兵是弄熟雞蛋的必要條件。」

那些被羞辱的學者們，他們在學術上輸給了伽利略，因此改絃易轍，利用宗教的力量來對抗。1632 年，反對者的機會來了，伽利略發表《關於托勒密與哥白尼的對話》一書，書中明白鼓吹違反聖經教義的哥白尼學說，他們說服了羅馬教宗烏爾班八世(Urban VIII)，指陳在書裡伽利略藉他人之口，嘲諷教宗是個呆頭呆腦的人。烏爾班可是地表上最有權勢的教宗，1633 年 6 月 22 日，伽利略跪在羅馬「宗教法庭」，身著白色的懺悔衣，唸著悔過文：「我，伽利略·伽利萊，佛羅倫斯的文生佐·伽利萊之子，現年 70 歲……我曾受到神聖教廷的告誡，……不得認為太陽是不動的宇宙中心，……我違反教誨，寫了並出版了一本書……」。

努力不懈的伽利略教授

伽利略 (Galileo Galilei) 在 1564 年 2 月出生於比薩，最早寫他傳記的學生維維安尼 (Vincenzo Viviani) 寫道，造物主為了安慰佛羅倫斯人，在偉大的米開蘭基羅死前兩小時，又賜給他們伽利略，世間的偉大天才可不能間斷。當然維維安尼不知道，伽利略 1642 年去逝時，在英國林肯郡，有一個嬰兒出生了，他長大後，站在前輩的肩頭，攀上知識的頂峰，那個人就是艾薩克·牛頓 (Isaac Newton)。

伽利略的父親文森佐 (Vincenzo Galilei)，是位職業魯特琴手 (lute player，圖 1) 以及音樂理論家，他寫過一本有獨特見解的音樂書。傳統的音樂理論源自於古希臘，其中有記載，當琴弦長短的比率是 1:2，2:3，3:4，... 簡單分數比時，可以譜出完美的樂音。文森佐認為除了長度比，琴弦的張力同樣地重要，他用 16:25 的長度比以及某種特定弦張力，同樣發出了悅耳的聲音。不完全接受傳統理論，以實驗求創新的態度，這對伽利略的影響很大。

伽利略在很小時，就顯示了對數學和機械研究的愛好，可是，不管是從事音樂、數學或機械的工作，這種行業的收入都很少，文森佐想讓兒子能夠學醫，醫生在社會上很受尊重而且收入頗豐。在父親的安排下，1581 年 17 歲的伽利略進了比薩大學醫學院。但是，伽利略對數學和哲學的興趣更勝於醫學，更因為數學教授里奇 (Ostilio Ricci) 的賞識，伽利略學習了歐幾里德幾何及阿基米德的物理著作。當文森佐知道伽利略改學數學而不是醫學時，應十分失望，但最後的結果並不是那麼重要，因為伽利略並未獲得醫學、數學或哲學的任何學位。

1585 年，21 歲的伽利略休學離開比薩大學，只因家裡負擔不起昂貴的學費。還好 16 世紀的義大利，是否能在學校教書，並不完全依據文憑。

雖然沒有畢業文憑，伽利略已放不下對數學和物理的熱愛，他用部分的時間擔任家庭教師以謀生，其它時間都用來研究阿基米德的著作，1588 年，他改進傳統計算物體重心的方法，証明了任何物體的重心就是它的平衡點。伽利略將這定理寄給幾位著名的數學家，請求他們的評論，其中有位數學家蒙特 (Guidobaldo del Monte) 是貴族，他曾翻譯阿基米德的著作，蒙特非常欣賞這位留在失業困境，但很上進的 24 歲青年。1589 年，伽利略在蒙特和一些數學家的幫助下，他成為比薩大學的數學教師，可惜的是，老教授的薪水大約每年有 600 金幣，而伽利略，這位沒有學位的教師年薪是 60 金幣。

在大學唸書時，伽利略的綽號就是「好辯者」，他機智風趣，與同學相處良好，但是只要一討論到數學或物理，好爭辯的本性，一覽無餘地顯露出來。當老師時也是一樣的習性，他在比薩的教職僅三年，他常嘲笑批判大學裡刻板的教條，還曾經因拒穿學術袍上課被罰錢，正如他所預料的，學校拒絕了他續約的請求。

沒想到，吉人天相，那位有慧眼的貴族數學家蒙特，再度扶持了伽利略，幫他爭取到帕多瓦大學(University of Padua)數學教師的職位，而且年薪 180 金幣，是以前的三倍薪資，後來伽利略形容他在帕多瓦從 1592 年到 1610 年的 18 年，「是他人生最美好的時光。」

16 世紀的義大利是由「邦國」組成的（圖 2），統合在羅馬城邦之下，帕多

瓦位於義大利的東北部，由威尼斯共和國所統轄，領導者是思想開明的貴族，其中有位好友名叫薩葛雷多(Sagredo)的貴族，名字就出現在《對話》書中，是伽利略的化身。以伽利略這麼一個激進派思想家而言，帕多瓦大學無異是天堂樂園。

有些學者認為伽利略成名後，離開帕多瓦大學，回到故鄉，回到曾經拒絕他的比薩大學，甘冒辜負朋友圈的挽留，把自己投身到不友善的環境，是伽利略犯過最大的錯誤。

對亞里斯多德知識體系來說，科學包括有觀察和理論架構，而伽利略看出了其中的不足之處，他加入新的科學內涵，那就是實驗，實驗當然可以用來確認理論的正確與否，可伽利略把實驗的功能發揮到極至，特別地，當實驗結果不合預期時，會重新檢驗實驗過程，而且也會質疑原先的想法。除此之外，他的實驗基本上是定量的，作精密的量測，在當時是相當前衛的。

伽利略到帕多瓦大學後，大部分時間從事物理力學方面的研究，他那有名的斜面實驗，就是在這時期進行的。從斜面實驗得到啟發後，他更進一步闡明有關自由落體，拋物體運動以及慣性定律，從而奠定了物理力學的基礎。伽利略還運用所謂的「想像實驗」來研究物理，也就是在想像中看著情境發展，探索想法的合理結果，愛因斯坦在發展相對論時，其中多處的成果，就是應用想像實驗得到的。

伽利略也具發明實用物的才華，他能製造精巧的器物，譬如，他發明了空氣溫度計；改良了計算工具，設計出比例圓規；為軍方設計多功能的軍用羅盤。

1609 年時，當他聽聞荷蘭的眼鏡商人，作出望遠鏡，能將遠處的物件放大 3 倍。他在短時間內，便製造出能放大十倍的望遠鏡，伽利略將這望遠鏡奉獻給威尼斯政府，政府回報他帕多瓦大學終身教授職位，調高年薪為 1000 金幣。年底時，當伽利略作出放大二十倍的望遠鏡後，他便把望遠鏡轉向天空，觀看月亮、木星、銀河…，他有了驚人的發現，伽利略把這些發現寫進《星際信使》，此書為哥白尼的日心說提供了堅實的證據，這讓世人驚訝到不知所措，種下多年後牢獄之災的遠因。

不平靜的晚年

在近代，科學與宗教的關係當然健康多了，愛因斯坦說得好：「沒有宗教的科學是殘缺的，沒有科學的宗教是盲目的。」還有教宗若望保羅二世(1920~2005 年)也認為：「完美的和諧能夠存在於科學的真理和信仰的真理之間。」但對於生在 17 世紀的伽利略，可就沒有那麼幸運了。1633 年 70 歲的伽利略被傳喚到羅馬，在宗教法庭接受異端罪的審判，他是虔誠的天主教徒，也知道在 1600 年因被判異端罪，而遭火刑的布魯諾神父(Giordano Bruno)。他只能做出放棄支持哥白尼學說的聲明，聲明內容說道，他曾受神聖教廷的警告，不得認為「太陽是宇宙中靜止不動的中心，會動的是地球，環繞著太陽轉動」。可是他卻違反告誡，出版了一本書，討論這個謬誤的新學說，並提供極具說服力的論點。最後，他還說：「我厭惡並詛咒這些錯誤的邪說，將來絕不會用文字和語言來支持這些論調。而且若得知任何異議分子或有嫌疑之人，我必將向神聖法庭舉報。」

根據傳說，伽利略跪著宣讀完這悔過書之後，當他起身時還喃喃自語：「它(地球)的確在動啊！」這句話很激動科學家的心，代表對真理的堅持。但多數史學家覺得雖然這帶來了悲劇感，可是這故事是編造的，不過以伽利略的好鬥性格，他的悔過書絕對只是口頭上的應付而已。

闖禍的那本書，是 1632 年出版的<<關於托勒密和哥白尼兩大世界體系的對話>>，書中採取朋友間的對話方式進行，人物有辛普利修(Simplicio)是亞里斯多德和托勒密的信徒，有持著哥白尼觀點的薩爾維亞蒂(Salviati)，寫這本書時，伽利略已向新任教宗報備過，教宗是他的同鄉好友紅衣主教巴伯里尼(Maffeo Barberini)，才被新選為教宗並改名為烏爾班八世(Urban VIII)。烏爾班告訴伽利略，要在書中不做評判，為兩邊提出理智的論點，教宗也希望伽利略學學哥白尼在序言中加入免責聲明，以一段話來肯定宗教教義是正確的。儘管如此，讀者卻很清楚地看出，伽利略的書完全偏向哥白尼，亞里斯多德的主張僅僅靠著頭腦簡單的辛普利修來辯護，更惱怒教宗烏爾班的是，辛普利修引用教宗的話，來作無用和愚昧的回應，這讓教宗錯誤地認為，書中的辛普利修就是影射他本人，暗示他是個頭腦簡單，無知可笑之人，書名在他眼中根本就是<<關於天才伽利略和白癡烏爾班的對話>>。

我們很難知道，真正讓教宗從伽利略的好友變成敵人的原因。當時正發生所謂的「三十年戰爭」，那是新教和傳統天主教之間的大規模殘殺。烏爾班有一大堆問題在傷腦筋，有可能實在不想讓伽利略的新科學，被有心之人利用，拿來作為挑戰宗教權威的武器，算是伽利略運氣不好，在宗教改革的敏感時期，捲入了教廷的內部鬥爭。

伽利略被判違反教會 1616 年的禁令。在 1616 年，伽利略發表海洋潮汐的理論，他想用這理論作為地球會動的證據，他被傳喚到羅馬去說明，因當時有教皇保羅五世的庇護，伽利略沒受到正式的判罪，但有詔令表明哥白尼的日心說，和「聖經」教義是有衝突的，日心說只能作為假說被提出，伽利略口頭同意放棄哥白尼學說，以後不再為它宣傳。1616 年的禁令，同時將哥白尼的<<天體運

行論>>列為禁書。

1633 年 6 月 22 日，伽利略身著白色的懺悔衣，唸著前面提過的悔過文，跪在法庭前被判終身監禁，同時，他的<<關於托勒密和哥白尼兩大世界體系的對話>>被列為禁書。幾天後，伽利略獲釋，改為終身在家居留，由他從前的學生，主教皮科羅米尼(Ascanio Piccolomini)監管。皮科羅米尼鼓勵伽利略繼續寫作，並建議研究較無爭議的物理問題，於是伽利略開始整理他最後著作<<關於兩門新科學的對話>>，此書奠定了古典力學的基礎，並開啟了牛頓運動定律的先河，公認是伽利略最重要的著作。到 1638 年，<<關於兩門新科學的對話>>這本著作，偷渡到荷蘭出版時，伽利略雙目已經失明，他口述給朋友的信中寫道：「伽利略，已於一個月前瞎了。我曾經將天、地、宇宙放大一百倍，不，一千倍……現在卻被囚禁在這小屋中懺悔。」伽利略於 1642 年 1 月 8 日晚間與世長辭，伽利略的遺囑要求埋葬在佛羅倫斯的聖十字教堂，葬在他父親的旁邊，可是教宗烏爾班不同意，因為伽利略有「強烈異端嫌疑」，直到他死後 95 年，即 1737 年，才移靈回到父親的身邊。史帝芬霍金(Stephen Hawking)在<<時間簡史>>中說：「伽利略催生了近代科學，他的貢獻比任何人都來得大。為了忠於自己的原則，不惜與教會起衝突，我們依循他的思路和論證，人們才得以一窺大自然運行之奧密，更因觀察真正的世界，才得以推動世界的進步。」

一直到 1835 年「日心說」早已被視為事實，成為歐洲各大學必定會傳授的課程，羅馬教廷認知到，繼續再禁閱哥白尼與伽利略的書，就會鬧笑話了，於是在新頒布的《禁書目錄》裡，偷偷將之除名，不再是禁止閱讀的書。1992 年 10 月 31 日，在伽利略逝世 350 年後，教宗若望保羅二世，正式公開承認教會當年對伽利略的定罪是一個失誤，因為「當年為伽利略定罪的神學家，不瞭解聖經記載與解讀聖經之間的分野，結果過度限制，應該是屬於科學研究的範圍。」20 世紀時，教廷也在羅馬近郊岡多菲堡(Castel Gandolfo)建造「梵蒂岡天文台」，

開始拿起望遠鏡注視天空了。

參考資料

寫作過程，參考引用了很多文獻資料，原作(譯)者當可會心。因為本文僅僅是介紹性的文章，這裡就不一一列舉誌謝了。

- (1). 伽利略，James MacLachlan 原作，譯者：褚耐安，世潮出版有限公司。
- (2). 伽利略，Michael Sharratt 原作，譯者：黃啓明，牛頓出版有限公司。
- (3). 站在巨人肩上，Stephen Hawking 原作，譯者：張卜生等，大塊出版公司。
- (4). 改變世界的科學家: 伽利略，Michael White 原作，譯者：李元綺，牛頓出版有限公司。
- (5). 萬物皆數，Frank Wilczek 原作，譯者：周念縈，貓頭鷹出版。
- (6). 科學大歷史，Leonard Mlodinow 原作，譯者：洪慧芳，漫遊者出版。
- (7). 古代天文學中的幾何方法，作者：張海潮、沈貽婷，三民書局出版。
- (8). Galileo Galilei, the Tuscan Artist 作者 Pietro Greco，Springer International Publishing (2018).
- (9). Galileo Galilei, At the Threshold of the Scientific Age，Wolfgang W. Osterhang，Springer International Publishing (2018).

(10) 星際信使，Galileo Galilei 原作，譯者：徐光台，天下遠見出版公司。

網路上可找到一些文章，很值得參考(利用 google)：

(註 1). <https://sa.ylib.com/MagArticle.aspx?Unit=columns&id=4747>

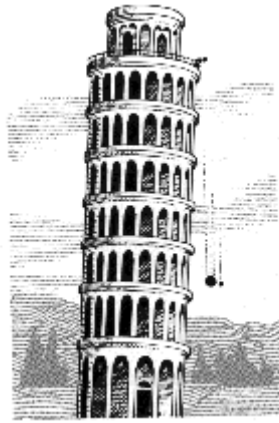
(2). 伽利略 (維基百科)

(3) 文章的插圖取自維基百科的圖庫。

延伸閱讀一

比薩斜塔與自由落體

傳說中，伽利略爬上比薩斜塔表演了自由落體的實驗。當著很多學者、學生的面前，他將兩個大小相同，重量不同的球，從塔頂放下，在眾人的驚呼聲中，



http://en.wikipedia.org/wiki/Galileo's_Leaning_Tower_of_Pisa_experiment

結果看到了兩球同時著地，推翻了亞里斯多德多年來的說法，亞里斯多德認為重球會比輕的球以成倍數的速度更早落地。這傳說是伽利略晚年的學生維維安尼(Vincenzo Viviani)，寫在他的<<伽利略傳>>書裡，這傳記出版於 1654 年，伽利略死後 12 年。

伽利略在 1589 年到 1592 年，有三年的時間是在比薩大學任教，可是在此期間，他對運動學的瞭解還不夠透徹，斜面的實驗及浮力問題仍只停在初階的認識，不可能對自由落體有這麼具體的了解。一直到他離間比薩，轉到威尼斯的帕多瓦大學任教(長達 18 年，從 1592 年到 1610 年)，這才完成了斜面的實驗，才得到自由落體時，下落距離與時間的平方關係。才在他的最後著作<<關於兩門新科學的對話>>，伽利略藉由他創造的人物，薩爾維亞帝(Salviati)及辛普力修(Simplicio)的對話，將自由落體與重量無關的證明，完美地呈現出來，清楚地指出不論輕重，物體在自由落體時，是會以同樣速度下落的。

「薩：如果我們拿兩個速度不同的物體，把它們綁一起運動，那麼速度快的物體，將會被速度較慢者拖慢，反之，慢者則會被快者帶著走快些，

你同不同意這說法嗎？

辛：無疑，你說的對。

薩：如果是這樣的話，譬如大石頭會以 8 單位大小的速度自由落下，而小的石頭用 4 單位大小的速度落下，我們把這兩塊石頭綁一起時，綁在一起的石頭，如前所說，將會以小於 8 單位大小的速度下落。但兩塊石頭綁一起後，整體的重量會是大石頭還要重，可是下落速度卻反而比單個大石頭來得小，這與你的設想相反。」

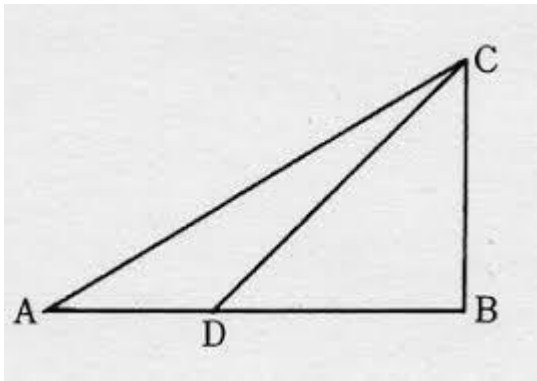
斜面的實驗

對於自由落體運動的了解，伽利略並不是從實驗直接測量得到的，因為當時並沒有那麼好的計時器與攝影機，可用來記錄物體在下落過程中，時間與下落距離的關係。他是從單擺和斜面的運動開始一步一步推論出自由落體的結果。

這也是在維維安尼的<<伽利略傳>>中提到的，伽利略在 18 歲時的某一天，他在比薩大教堂作禱告，因裝修工人觸碰了高掛教堂內的吊燈，他注視著這左右擺動的吊燈，並以自己的脈搏計時，發現了擺幅的大小和擺動來回的週期無關。後來更進一步，他通過實驗觀察得知，擺的週期與擺錘的輕重也無關，僅僅和擺的長度有關，同時，他也注意到左右擺動時，最高點幾乎是一樣的高度。在 1602 年，在他寫給朋友的信中，表明了他想把單擺運動和自由落體運動的理論聯繫起來。

為了克服物體下落的時間實在太快的難題，伽利略在<<新科學的對話>>書

中，有個插圖，

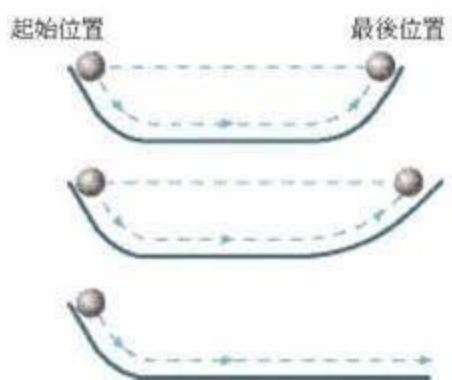


說明球沿 CB 下落最快，其次是 CD，最慢為 CA 路徑。並且還指出到達 A、D 及 B 點的球速是一樣快的，經由球下落時都是愈走愈快的觀察，這表示球沿著斜面滾下，球的初速會較慢，而且斜面愈長，球初速會愈慢。書中對實驗有十分詳細的描述：取長度超過 6 公尺的木板，寬約 25 公分，中間挖一道平滑的凹槽，然後讓光滑的銅球沿槽滾下，改變木板一頭的高度，使之呈現不同斜度，記錄滾下過程的時間。時間則是利用水鐘來測量，那是一只盛水的大容器，在容器底部接上一根很細的管子，管子出口處用小杯子收集流出的水量，水量的多寡給出了時間的長短。

斜面實驗是伽利略在帕多瓦大學任教時進行的，時間約在 1604 年到 1608 年之間。經由多年的改善實驗器材，同時對實驗數據作詳細的分析，這包括對時間測量的誤差校準，不可避免的摩擦力大小的評估等等，伽利略發現了很多重要的力學規律。總結一些結果如下：

1. 不論球的大小和重量，下落的行為都一樣。
2. 物體下落的距離和所需的時間的平方成正比。

3. 物體下落的速度只和斜面的垂直高度有關，和斜面的長度無關。
4. 上述結論與斜面的斜度角無關，更進一步推測「垂直」的斜面也會一樣，
這樣就得到自由落體與重量無關，下落距離與時間平方成正比的結果。
5. 球從斜面滾下後，接著滾上另一斜面，那麼球會上升到達與球被釋放時的高度。(這和單擺的行為很相似)
6. 如在上列情況下，第二個斜面是水平放置，那麼不計摩擦力，則球會以等速沿直線無止境的「滾」下來。這就是我們後來所稱的「慣性」，也就是不受外力的情況下，物體將「動者恆動」。



伽利略的實驗

(wp.chjh.tp.edu.tw)

為何感覺不到地球在動

反對「日心說」有個很好的爭論點，如果真是地球在動，假如我們向上拋球，那麼當球向下掉落時，球不應當掉在腳邊，而會掉到後方，因為所拋的球在空中飛行時，地球已向前移動了。伽利略對這說法給了很好的說明：「想像一艘航行海上的船，密閉在船艙裡的人在玩拋球接球遊戲，艙內有蝴蝶飛來飛去，魚缸裡有魚游來游去，艙內的天花板吊掛著一個瓶子，瓶口正一滴一滴地漏下水來。你一定不懷疑船在靜止時是這樣的，但船在穩定航行時，這些現象都維持一樣，沒有絲毫改變，而你也不會察覺出來，到底船不動還是正在穩定的海上等速航行。」伽利略認識到，地球在天空飛行，就如同船在海上航行一樣，人們是感覺不到是否地球在運動。這種經驗，在現今我們很容易面對到，如搭乘高速火車或在飛機上，當穩定前行時，我們根本沒有動的感覺，往上拋錢幣，錢幣會掉回自己手中，不會被後座的人接走，上拋的錢幣會和車子同速前行，動者恆動，是「慣性」的表現。

伽利略還指出，在行進中的船上觀察物體掉落，會發現與船不動時一樣，都是掉在腳邊，因為船行進時，物體會隨船等速前進，這是「慣性」的結果。從船上看，物體僅是垂直下落。但在岸邊的人看會是拋物線，那是水平的慣性等速運動，與垂直向下自由落體合成的結果。

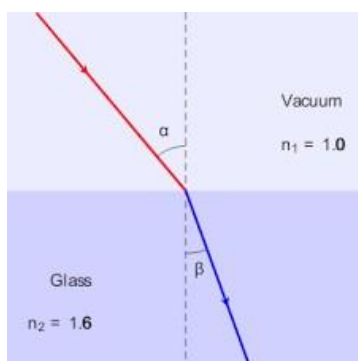
延伸閱讀二

望遠鏡與日心說

在 13 世紀，人們就已經知道，利用透鏡能夠聚光的特性，可以製作出眼鏡及放大鏡。1608 年，荷蘭眼鏡商人李普希(Hans Leppershey)採用組合兩個透鏡，作出了第一個望遠鏡，可以拿來看清楚遠方的景物。隔年 5 月，伽利略從友人處得知了製作望遠鏡的訊息，幾天之內，他就作出可以放大三倍的望遠鏡。伽利略仔細思考望遠鏡的結構之後，到了 8 月，進一步利用焦距較長的凸透鏡及焦距較短的凹透鏡，成功製造出當時最大放大率的望遠鏡，能將倍數放大約十倍之多。於是，他前往威尼斯，向政府和議員們展示這個成品，對依賴海上貿易的城市威尼斯而言，望遠鏡在軍事及航海之價值是很明顯重要的，因此，威尼斯政府以帕多瓦大學的終身教授職位酬謝他，並提高他的年薪到 1000 金幣，伽利略可謂名利雙收。

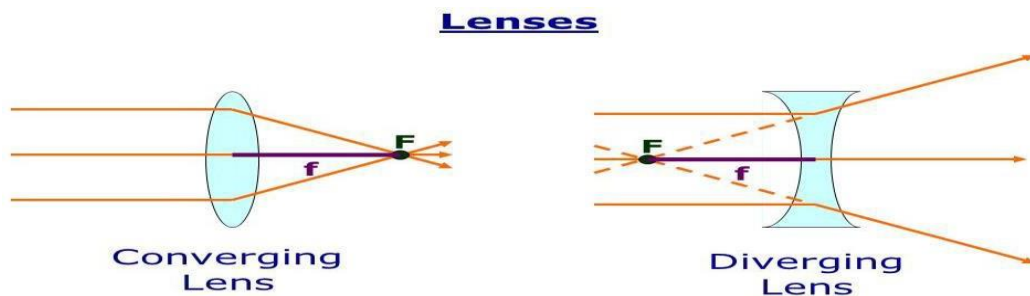
各種望遠鏡

光線會以最短的時間來前進，所以光從空氣進入水中時，不會單純的以直線方式入水，會轉個彎。因為光在空氣中走得比較快，而在水中走得比較慢，所以光寧願在空氣中走長些，水中儘量走的短些，這樣才能達到最少時間的限制，因而我們看到光的折射現象。

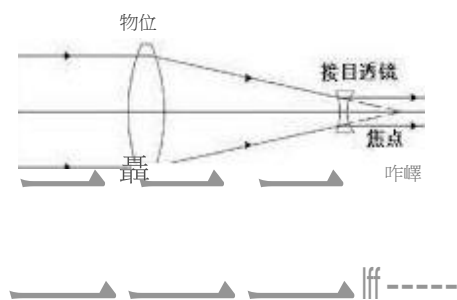


有個日常生活的例子，當我們把筷子插入水裡，會看到筷子好像彎掉了，就是這個道理。

透鏡會聚焦也是基於同一理由，聚焦就是兩條平行光同時聚到一點，那是利用玻璃厚度，來調節不同路徑的時間差(光在玻璃中跑得比較慢)。玻璃到聚集點的距離稱為焦距，由形狀可以區分為凸透鏡及凹透鏡。



最早的望遠鏡採用兩個透鏡組合，較大的主鏡作為物鏡之用，主要功能是收集光線，都是圓形的凸透鏡，且直徑稱之為口徑，口徑越大收的光越多，成像也會越明亮。伽利略用的口徑是 6 公分，目前世界上最大望遠鏡的口徑是 500 公尺。另一個透鏡是目鏡，把收集聚焦的光，送到觀測者的眼睛，放大倍率由物鏡焦距和目鏡焦距的比值決定，所以較長的物鏡焦距和較短的目鏡焦距，可得到較高的放大效果。伽利略用凹透鏡作為目鏡，但很短焦距的凹透鏡不易製作，克卜勒(1571~1630 年) 則改用凸透鏡，所以有「伽利略型」和「克卜勒型」兩種折射式望遠鏡。1668 年，牛頓創新地，採用面鏡作為主鏡，改善了入射光因折射的色散問題，現今所有大型望遠鏡都是牛頓的反射式望遠鏡。

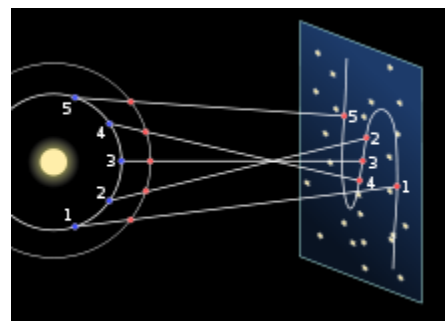
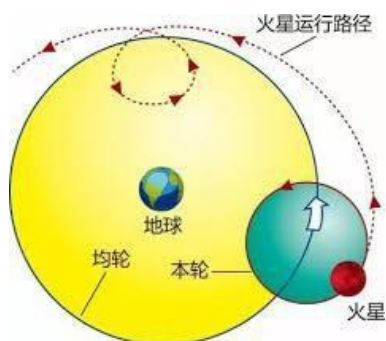


芒

日心說和地心說

古代天文學家很自然地把地球放在宇宙的正中心，因為日月星辰每天繞著我們東升西落。希臘時期的學者們，主要是亞里斯多德與托勒密，他們更進一步，給出世界的圖像：

- 地球是宇宙中心，不動的星球。
- 恆星及行星(當時知道太陽和月亮之外，還有五顆會漫遊的星球(金星、木星、水星、火星、土星)，是由不存在地球的完美物質所構成，稱之為「第五元素」，而我們人世間則是由土、空氣、火和水，這四種元素所造成的。
- 除了五顆行星之外，所有物體都依圓形軌道，環繞著地球。而且星星皆分佈在一薄薄的天球殼內。
- 為了說明行星會有倒退走的行為，托勒密主張讓行星沿著小圓和大圓的組合而運轉，這成功地解釋了逆行現象



直到 16 世紀，哥白尼認為行星運動的描述，太過複雜，為了說明五顆行星的軌跡，居然動用了 20 幾個大小不同的圓。哥白尼認為，上帝創造的宇宙應該是優雅簡潔的，經過多年的努力，他找到另一解釋逆行現象的方法，那就是調換地球和太陽原來的地位，將太陽位置當成宇宙的中心，他提出：

- 地球每年繞太陽一周。
- 地球每天會自轉一圈，因此有了白天和黑夜。

- 太陽如同坐在寶座上，所有行星都繞著太陽旋轉，地球也只是其中的一顆行星，兩旁是金星和火星，而且每顆行星都只要循一個圓繞行就可，不需要靠大大小小不同的圓組合。
- 因為位於內圈的地球跑得比較快，而外圈的火星速度較慢。從地球上看到火星，前行的火星被地球追上，而且當地球超越火星後，會看到火星往後倒退。這解釋了火星逆行現象，根本無需添加小圓。

當然，以太陽為中心，是簡化了宇宙運行的形象，但地球會動，也帶來了新疑點，至少面臨「視差」及「為何人們不覺得地球在動」的問題。「視差」是說每半年，地球便會從太陽的一邊，繞到另一對邊，這樣的話，地球上的人，看遠方星星的位置，應發現會有些微的改變。正如你閉一隻眼睛，伸出一隻手指頭，移動你的頭，將會看到手指頭後面的背景會不一樣。事實上，星星離地球太遠了，依當時觀測的精準度，的確沒法偵查到視差現象(需要準確到角秒的量級)，這問題一直到 19 世紀，大大改善了望遠鏡的倍率後，才得到證實是有視差。

星際信使(Starry Messenger)

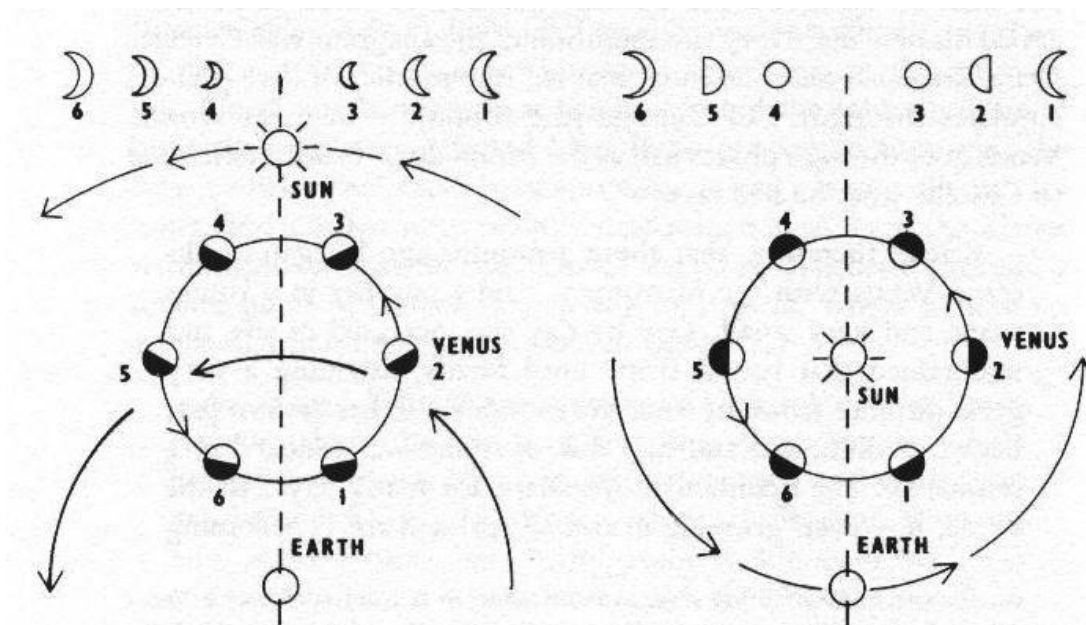
2009 年，聯合國科教文組織定為「全球天文年」，那是因為 400 年前(1609 年)，伽利略把他改良的望遠鏡舉向天空，那一刻，天文學研究進入到一個新的里程碑，伽利略從望遠鏡裡看到的景象，改變了人們對天空的認知，5 個月辛勤的觀測和紀錄，他寫出了<<星際信使>>一書，一出版立刻造成轟動，時年 46 歲的伽利略成了家喻戶曉的學者明星，但他也冒犯了當年只有神學家才能探究的天空，帶給了他晚年的牢獄之災。

1609 年 11 月時，伽利略做出了能放大 20 倍率的望遠鏡，他大膽地將目標轉向月球、銀河、木星…，他觀測到：

- 「出現了一大群肉眼看不見的星星，數量之多令人吃驚。」，伽利略認識到，

星星的分佈必然十分遼闊，很多星星離我們太遠，以至於只有透過望遠鏡才能看見，星星不會只分佈在一小小薄殼天球上。

- 發現木星有 4 顆衛星圍繞著，如同月球環繞地球一樣，所以並不是所有的星球都必定要圍繞著地球，因此，地球是宇宙中心的特殊地位被質疑了。
- 伽利略觀看月球，留下了 8 幅繪圖，發現月球並不像亞里斯多德所說的，是一顆完美平滑的天球。伽利略從陰影的分佈，得知月球表面有山脈和深谷。
- 發現金星也有盈虧，而且盈虧的形狀，「地心說」與「日心說」的預測不相同(見附圖，<http://galileogalileiblog.blogspot.com/2011/04/>)，



左圖為「地心說」的情形，金星(Venus)沿著大小圓組合運轉，結果會有盈虧(標示在圖的最上方)，但不會出現如同「滿月」的「滿金星」。右圖則是「日心說」的觀點，地球和金星繞著太陽轉，會看到「滿金星」，而且當「滿金星」時，因為距離地球較遠，所以看起來會比較小。伽利略這樣描述他的觀測：「我看到的是非常小而圓的金星。日復一日，他在尺寸上增加，……金星東面的光亮開始消滅，幾天後縮小到只見到半圓大小。……許多天後，金星大小又增大，這時變成彎月形了。」，這一決定性的判別，讓伽利略徹底放棄「地心說」的看法，全面擁抱哥白尼的「日心說」了。

很世故的伽利略把《星際信使》一書，獻給佛羅倫斯的貴族世家，科西莫二世

(Cosimo II)大公爵，並將木星的 4 顆衛星取名為麥迪奇之星(Medician stars)，因為科西莫家族姓氏為麥迪奇(Medici)，而且科西莫二世恰好有三個兄弟。當然現今，我們把這 4 顆衛星稱為伽利略衛星，不過伽利略因此得到了好處，他可以回故鄉佛羅倫斯的比薩大學當終身教授，而且可以不必上講堂教課，年薪也是 1000 金幣，但會得到額外的研究補助來製作望遠鏡，並且被聘用為大公爵的首席宮廷學者，可以參與貴族的慶典宴會，算是「事少錢多離家近」，還是因為「富貴不還鄉，如錦衣夜行。」？總之伽利略退掉帕多瓦大學的聘約，風風光光地回到他的故鄉佛羅倫斯了。