

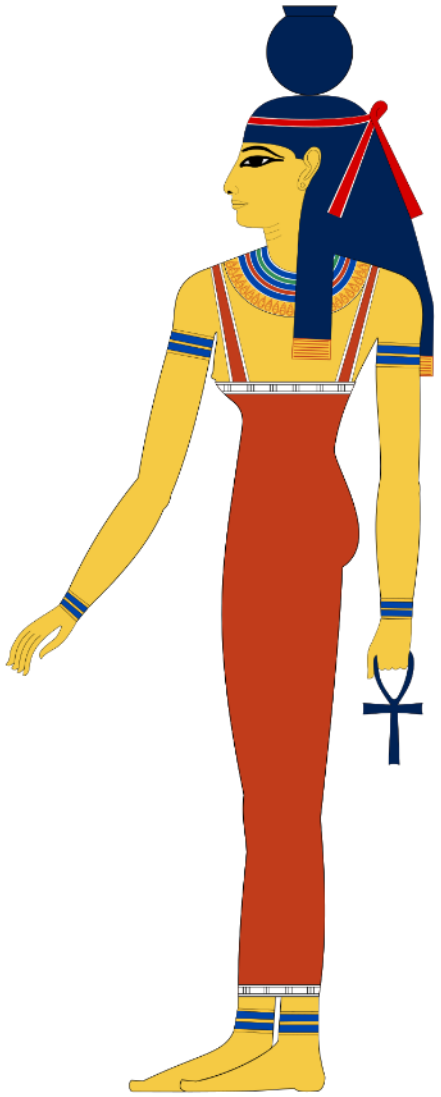
西洋天文學史



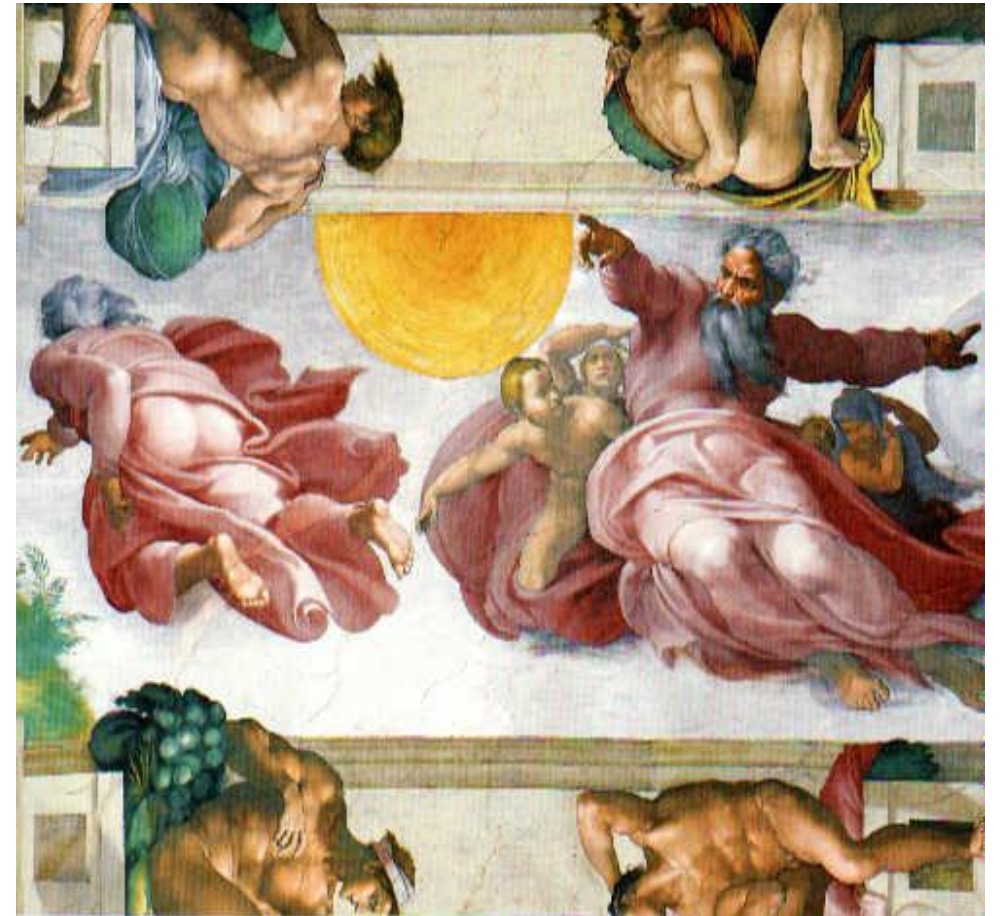
古文明的宇宙觀



埃及人認為星星是分佈在天神Nut(goddess)的身上，她弓著身體伏在大地上。



希伯來的聖經(Hebrew Bible)：上帝創造了天地與萬物。





中國人：盤古開天闢地。

宇：四方上下——三度空間的無極。

宙：古往今來——時間的無窮。

天外有天。

古文明的天文觀測



英格蘭南方Wiltshire Amesbury的Stonehenge巨石陣(2500-2000 BC)：考古學家認為它是用來觀測太陽與月亮升起的位置與時間，尤其是Heel Stone標示著夏至太陽升起的位置。

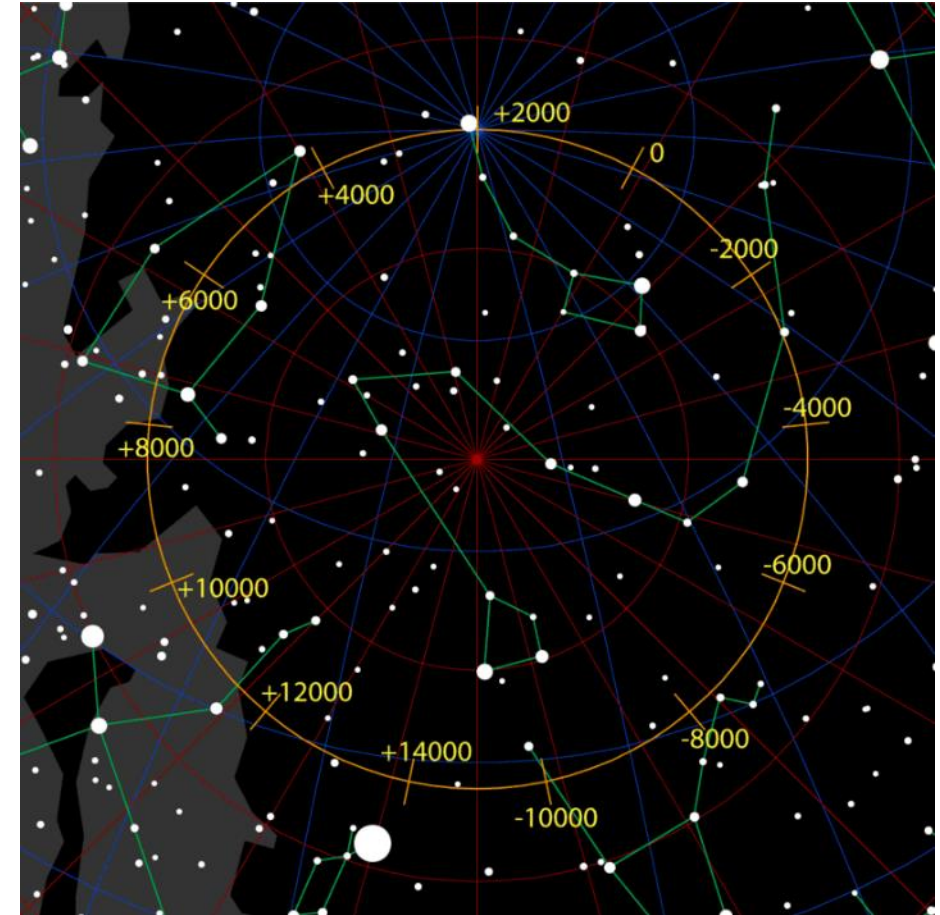


猶加敦半島(Yucatán)上的馬雅(Maya)文明的廢墟Caracol(～AD 1000)， 它的窗戶的設計可能是為了便於觀測金星和其他的星體。



古代埃及人的觀測：2000～3000 BC，每年天狼星(Sirius)偕同太陽東升以後，不久尼羅河(Nile)就會發生周期性的汎濫。

吉薩大金字塔(Great Pyramid of Giza)的北面主要隧道指向天龍座 α 星(Thuban，Alpha Draconis，右樞星)，這顆星在金字塔修建的時代(2580–2560 BC，4th dynasty)，正是當時的極星。



北美的阿那薩其神廟(~AD1000)有近日點(Apsis)的標示。
加拿大薩克其萬(Saskatchewan)的藥輪(Medicine Wheel)是美洲最古老的天文臺，目的是為了觀測夏至太陽升起的情形。



中國的觀測：周朝(文王)時期(～2000 BC)就建有靈臺(天文臺)，有測日影的圭表。



表是一根垂直
立於地面的杆
或柱。

圭是地面一根垂直於立杆或立柱的
水平標尺，指向正北。

西漢在長安建靈臺，有天文和氣象儀器。

東漢在洛陽的平昌門南建靈臺，有張衡所設計的渾天儀和候風地動儀。



渾天儀



候風地動儀

唐代設立有仰觀臺(天文臺)及觀風臺(氣象臺)。
宋、元、明、清都有天文臺的設計。

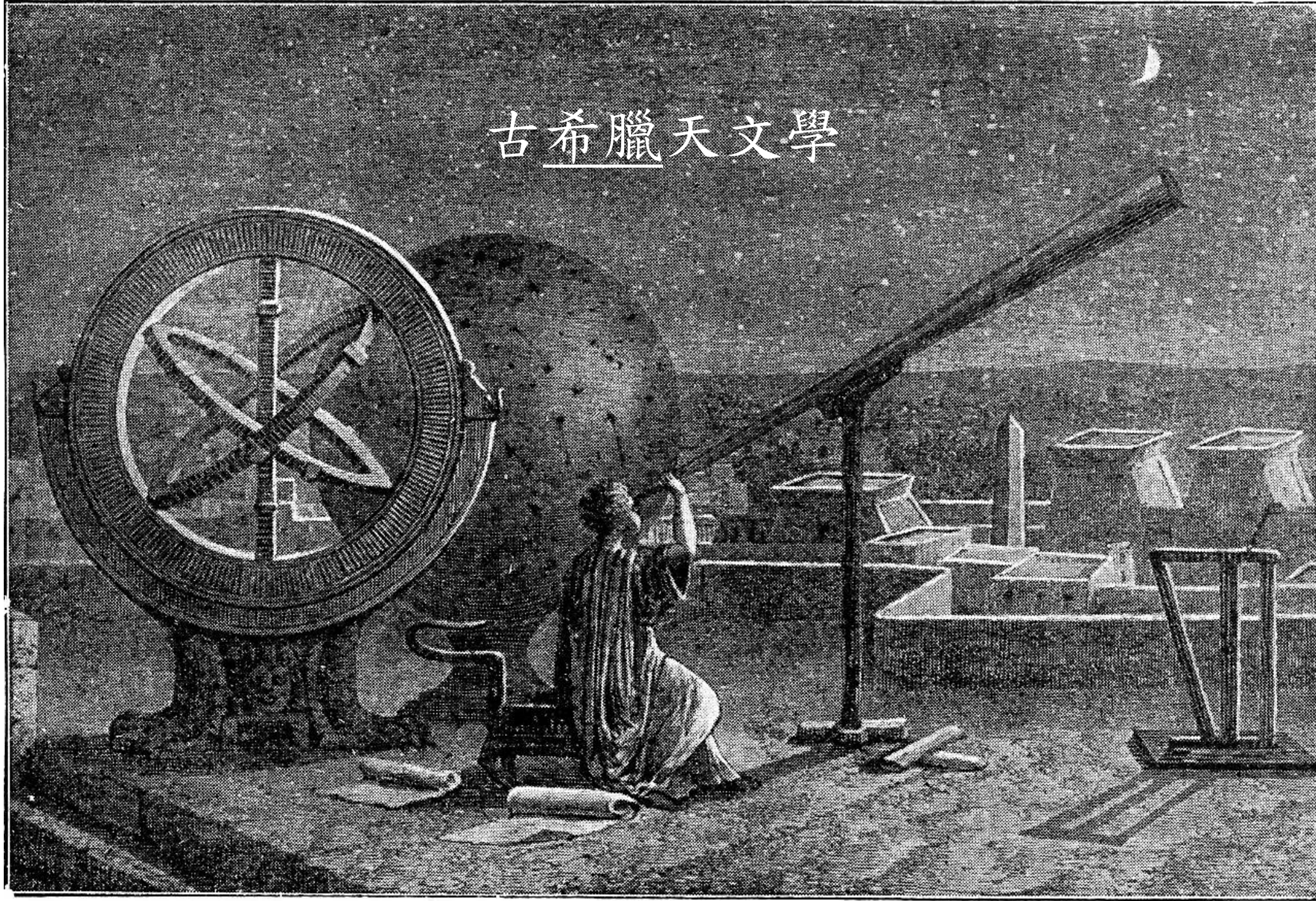


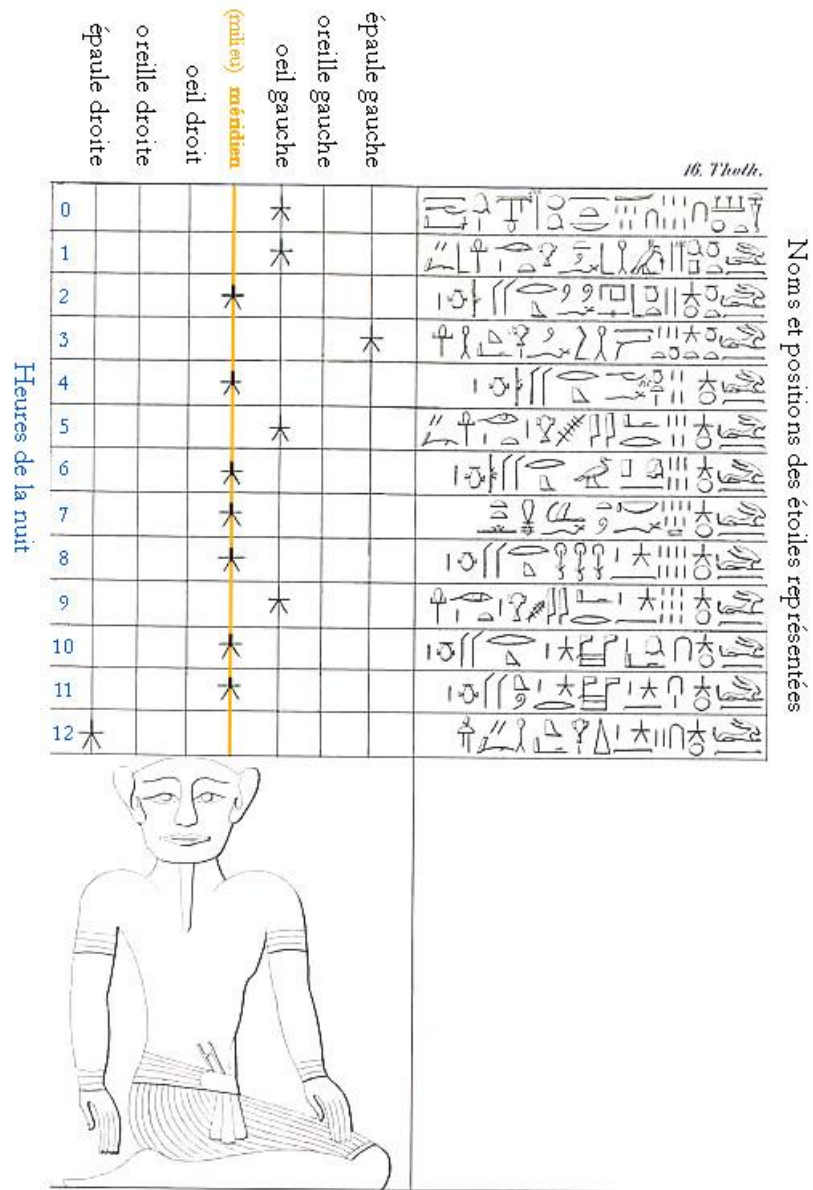
中國最古老的天文臺，世界十二古天文臺之一
河南省登封市告成觀星臺。



臺體北壁正中有一凹槽，凹槽南壁上下垂直，東西兩壁有明顯收分，凹槽上部架有橫樑，形成觀星臺的高表，它與臺下的石圭組成測量日影長度的圭表裝置，因為元代的這一設置比以往的八尺測量之表高出5倍，故稱為高表。

古希臘天文學

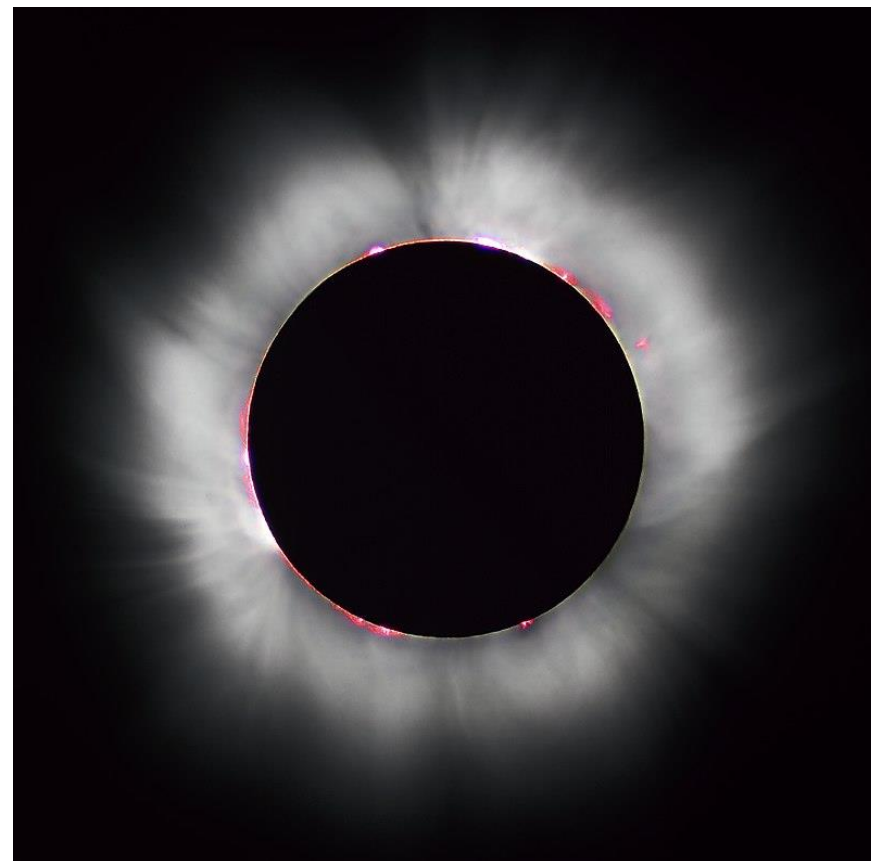
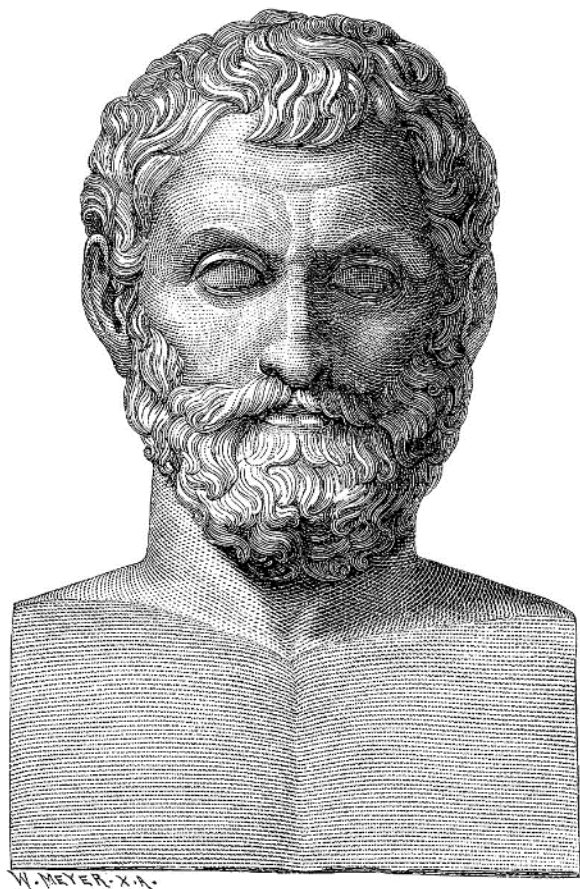




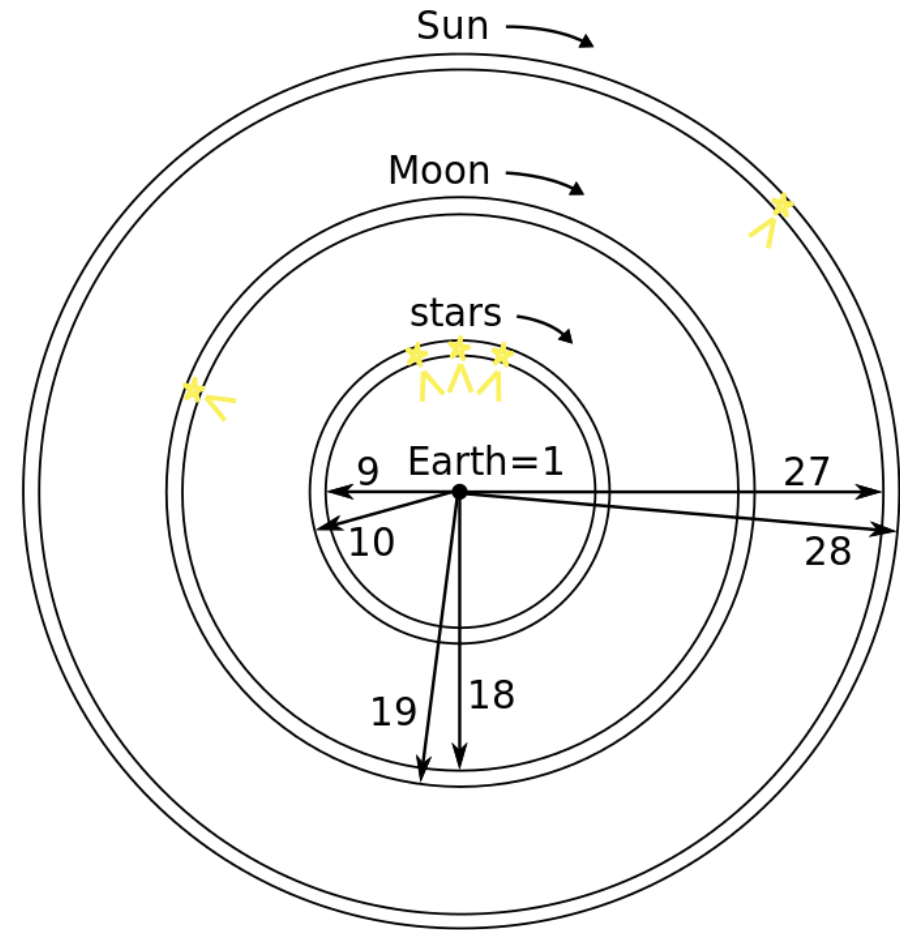
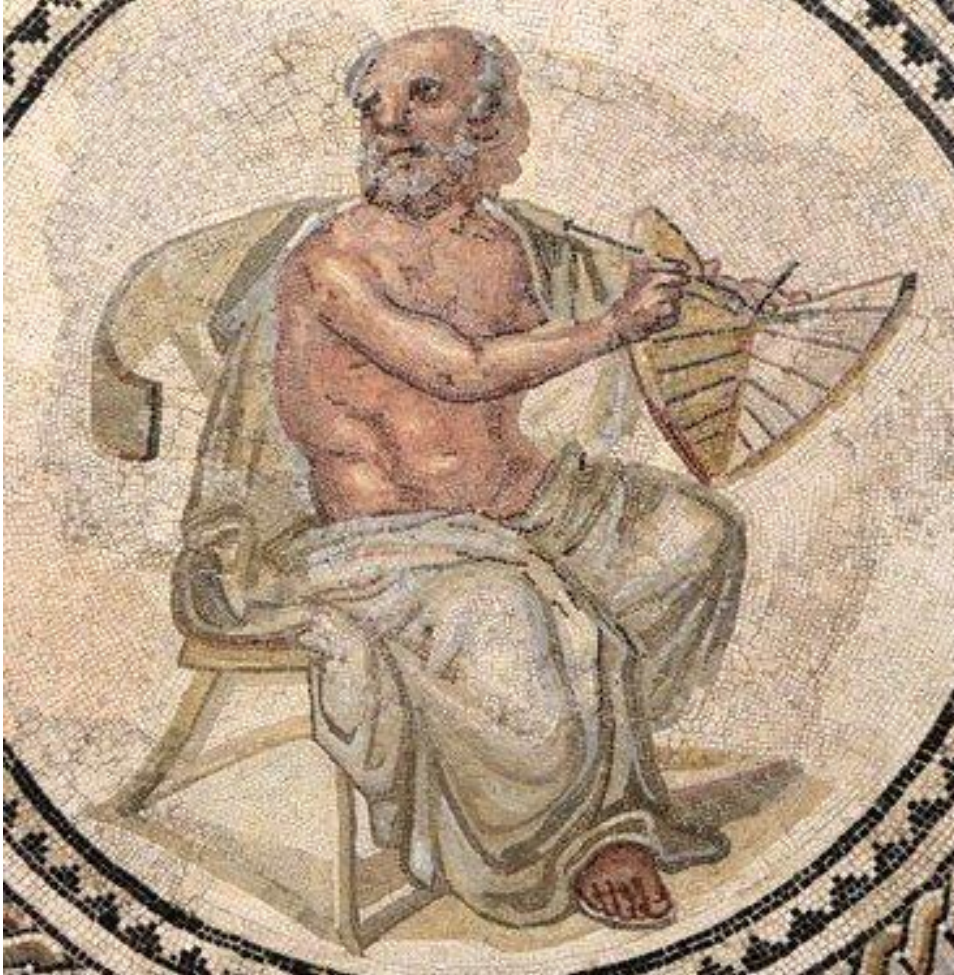
古埃及文明的Star clock

古文明的天文觀測大部分是與季節、氣候、曆法或天象的預警有關。
真正天文學的發展主要來自於希臘文明 (400 BC)以後，首先使用科學的方法來研究天體的現象與運動。

希臘天文學家塞利斯(Thales of Miletus, c. 624/623–c. 548/545 BC)根據美索不達米亞(Mesopotamia)人的天文觀念—四季的變化與季節的長短，太陽在星座間位置的變化週期，預測了西元前585年5月28日所發生的一次日蝕。他認為星星與太陽並不是神，而可能是一個火球。

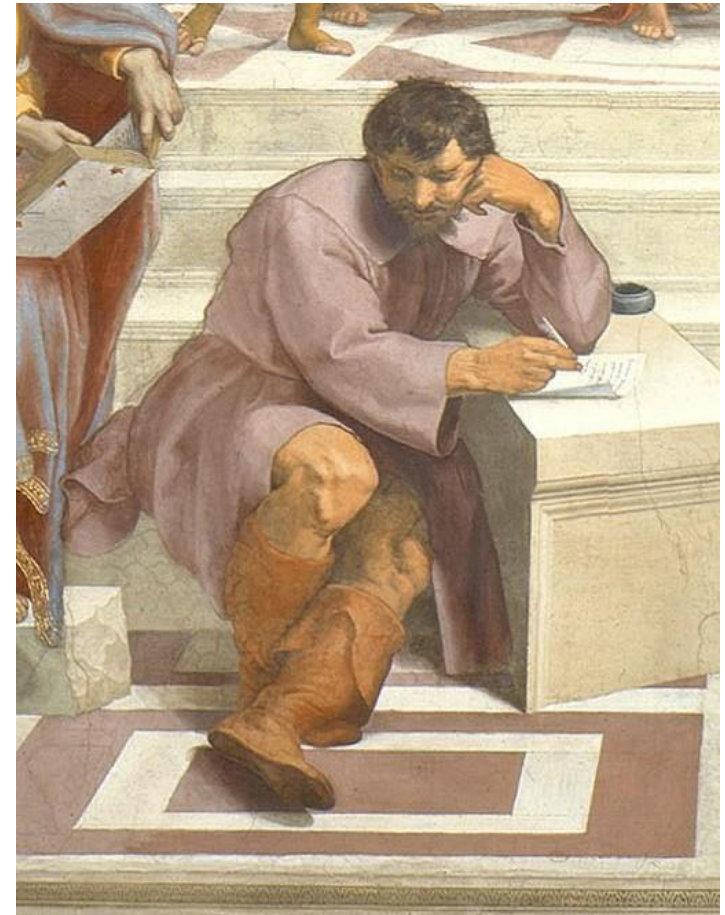
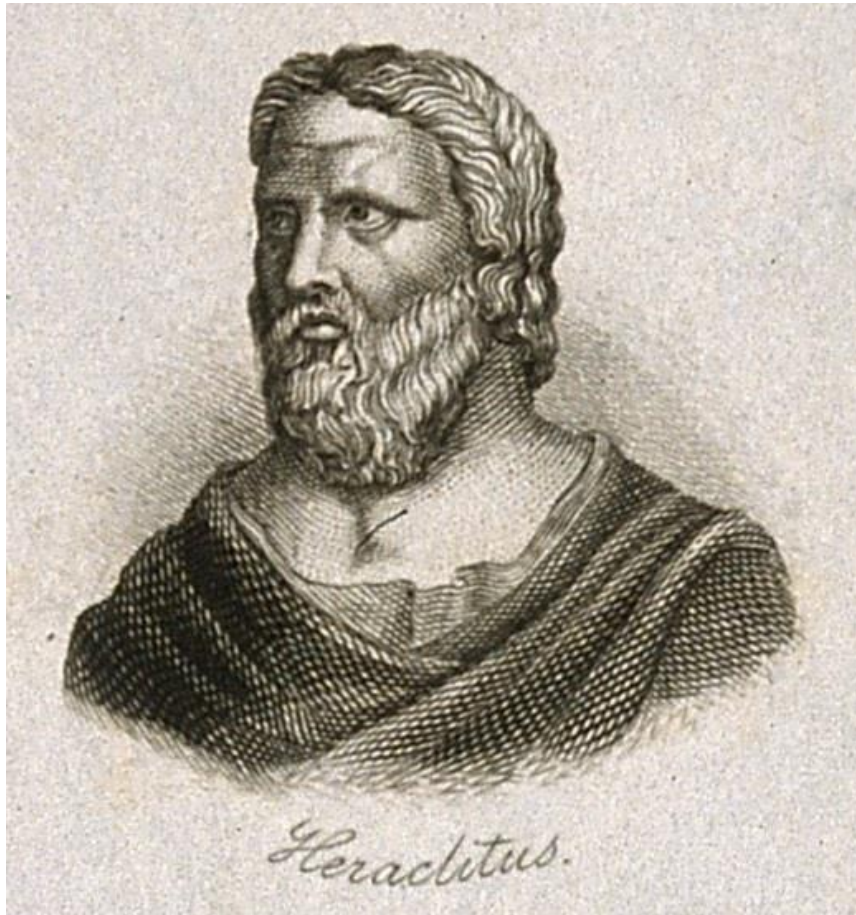


塞利斯的學生Anaximander(c. 610 – c. 546 BC)認為物質是由不滅的元素 **Apeiron** 所組成，他並試著畫出太陽、月球、行星與地球之間的距離。



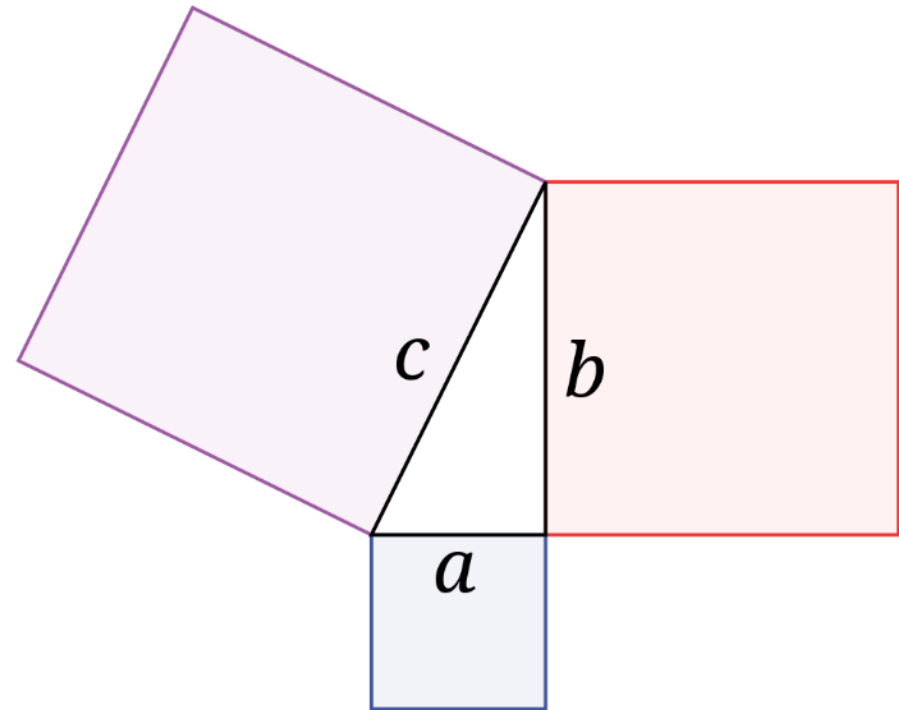
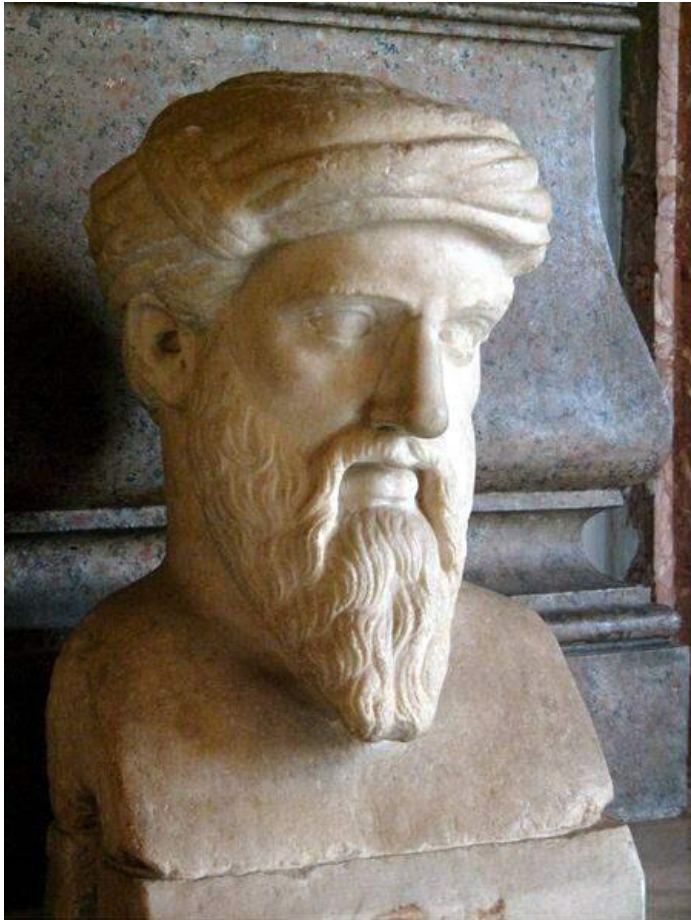
Anaximander的宇宙地圖

塞利斯的另一個學生Heraclitus(c. 535 – c. 475 BC)認為宇宙並不是由神或人類創造的，但它是永恆的，而且他認為最理想的宇宙是無序的。



畢達哥拉斯(Pythagoras, c. 570 – c. 495 BC)發明畢氏定理(Pythagorean theorem)，是數學、音樂之父，也是最早的實驗科學家之一。

他由月相圖(月的盈虧)推測月球是球狀的，進一步推測地球與其他星體也是球狀的。環繞著它的地球、太陽、月球、五大行星及恆星。



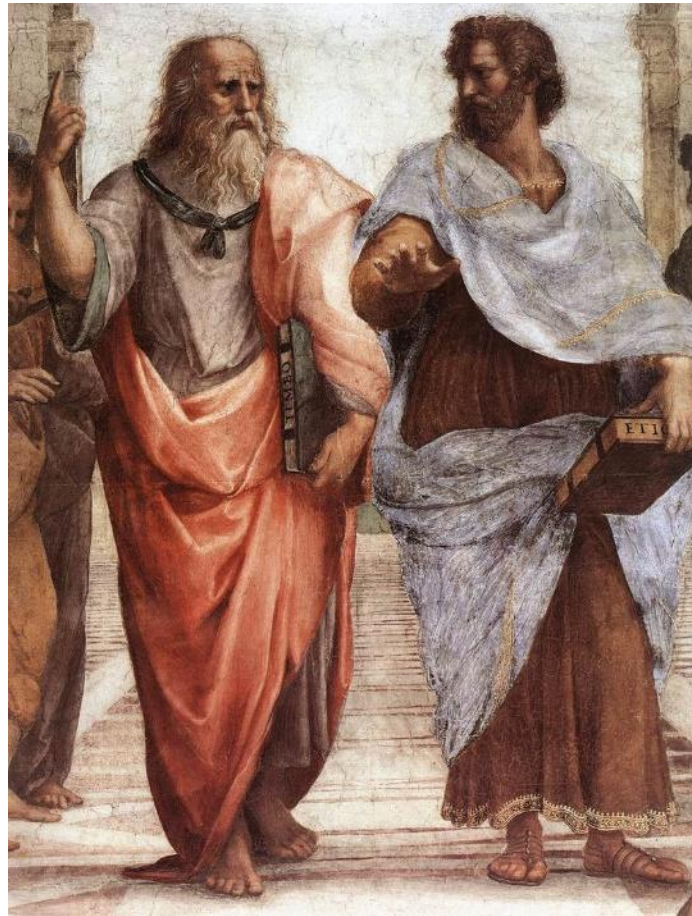
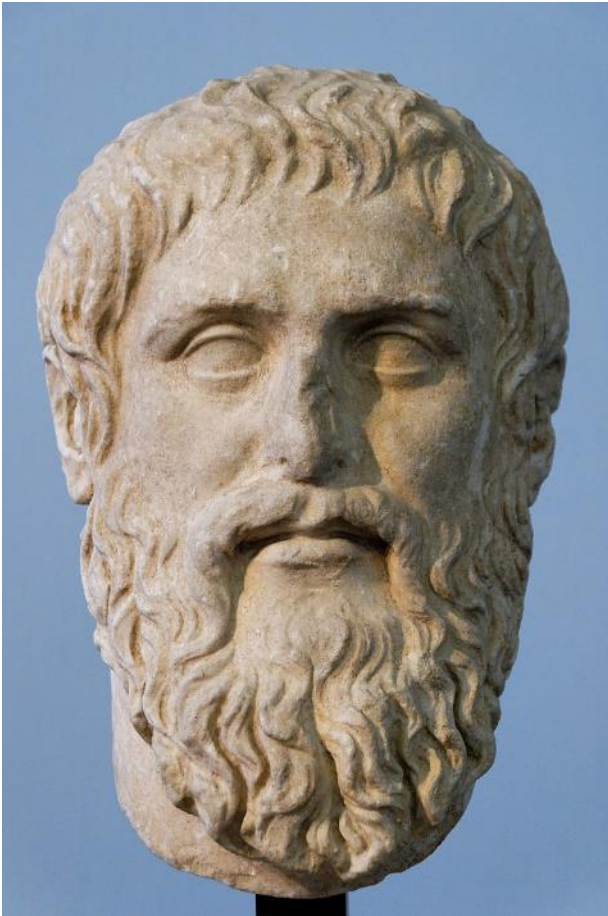
直角邊的平方和等於斜邊的平方。

Anaxagoras(c. 510 – c. 428 BC)證實了月蝕(Lunar eclipse)的原因，由月面上地球的影子的觀測，幫助建立了地球是球形的理論。



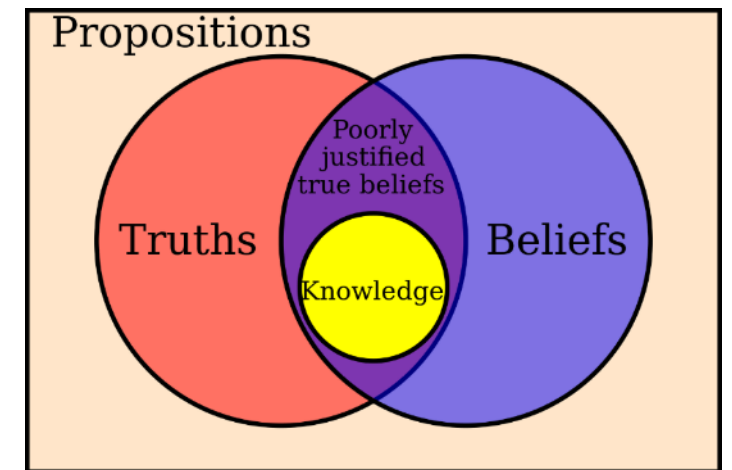
2019年7月16日的月偏食，當晚部份太陽光受地球所擋，致使月面出現缺角。

哲學家柏拉圖(Plato, 428/427 or 424/423–348/347 BC)認為哲學是來自於天文學，因為日夜和四季給我們時間的觀念與探索宇宙特性的動力，從這些來源引導著我們建立哲學的概念。

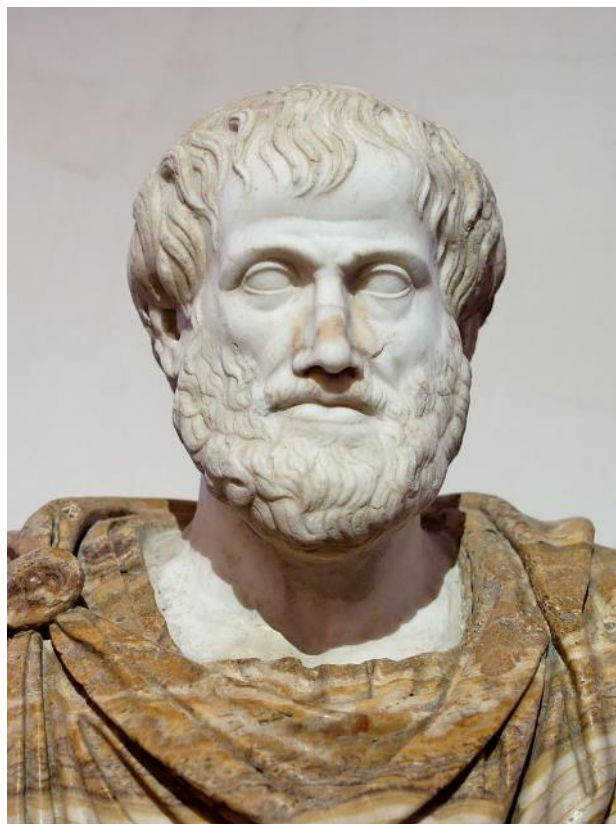


雅典學院的柏拉圖手指向天，象徵他認為品德來自於智慧的「形式」世界。

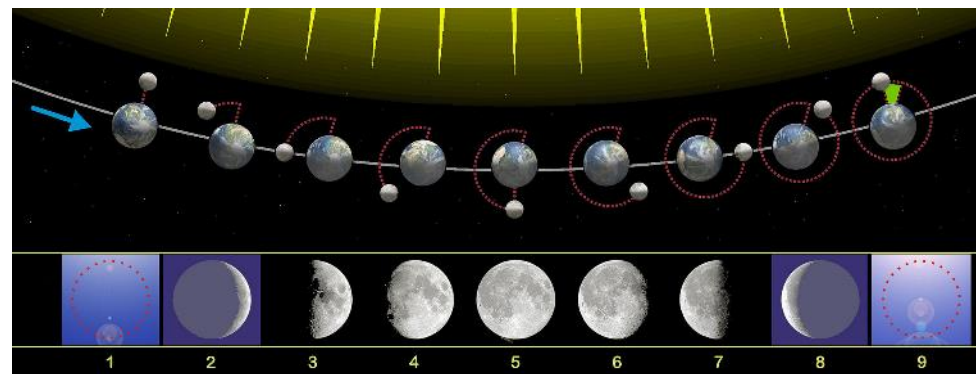
而亞里斯多德則手指向地，象徵他認為知識是透過經驗觀察所獲得的概念。



亞里士多德(Aristotle, 384–322 BC)主張由絕對的對稱、簡單與完美的抽象概念來瞭解所觀測的事物。他認為宇宙是球狀而有限的，以地球為中心，行星與其他星體是在以地球為中心的球殼上運行，這些球殼可以不同的速度旋轉。他是傑出的實驗家，他觀測的結果如下：由觀測上弦月，推測月球是介於太陽與地球之間。由不同的緯度有不同的恆星在天頂上，可以推測地球是球形的。由沒有明顯的恆星視差的觀測結果，推測地球相對於恆星的運動是很小的。



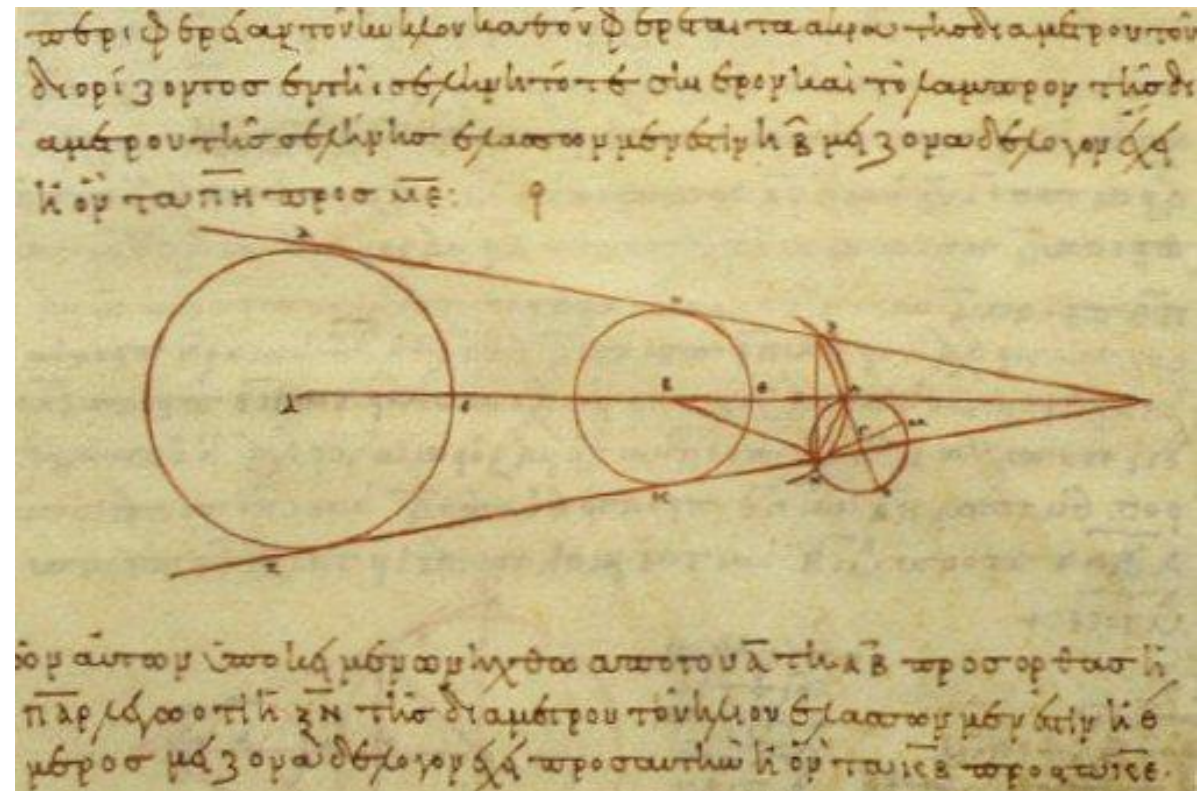
上弦月：北半球右側的50%可見



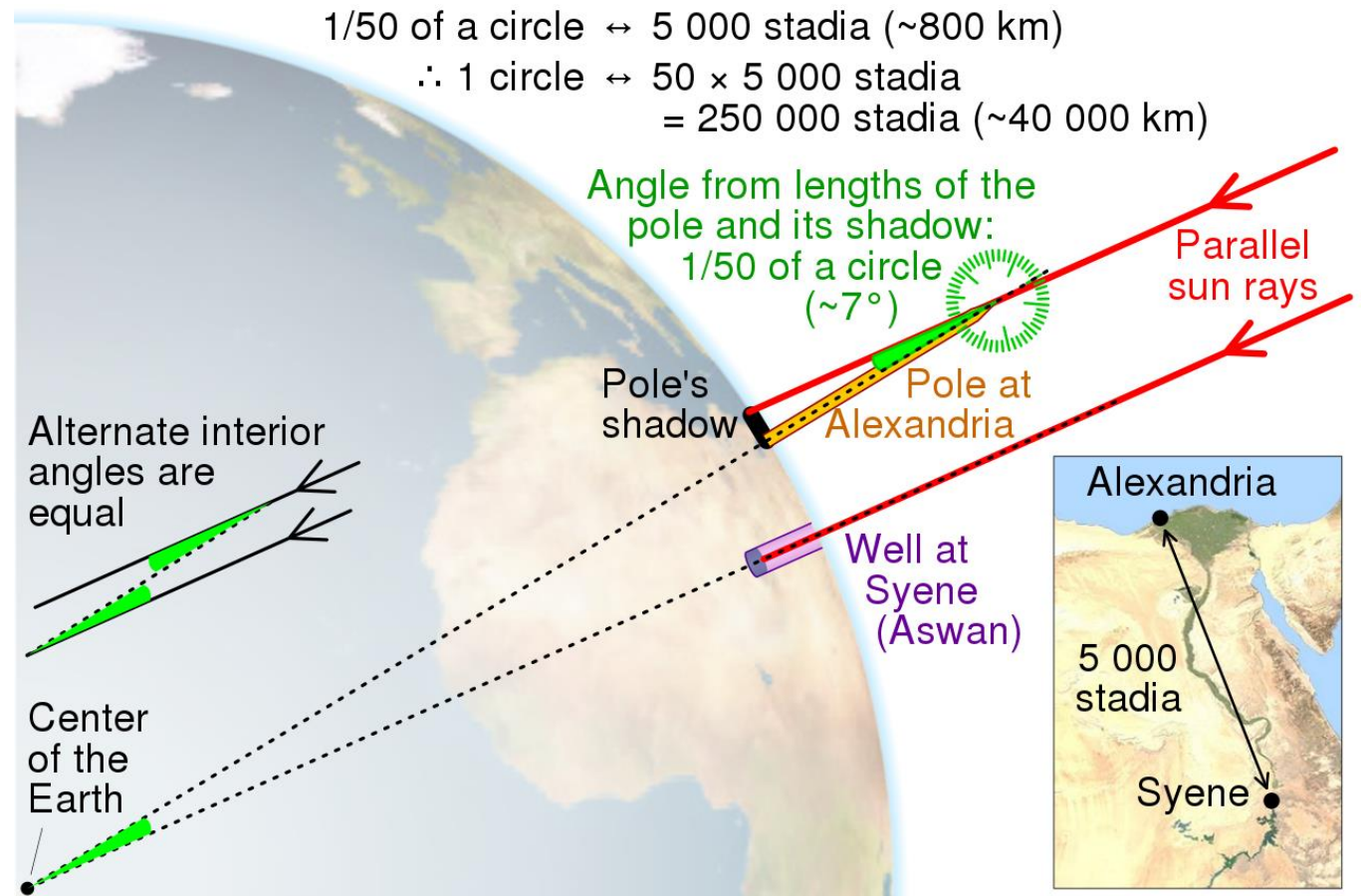
在北半球看見的月相，在南半球看見的每一個都會是上下左右倒置的。

阿里斯塔克斯(Aristarchus of Samos, c. 310 – c. 230 BC)從日蝕、月蝕中月球與地球的陰影的相對大小與角度，推測月球小於地球，太陽大於地球，他估計到地球的直徑是月球的三倍。根據埃拉托色尼所計算的地球周長42000公里，他認為月球的周長應為14000公里。事實上，月球的周長約10916公里。

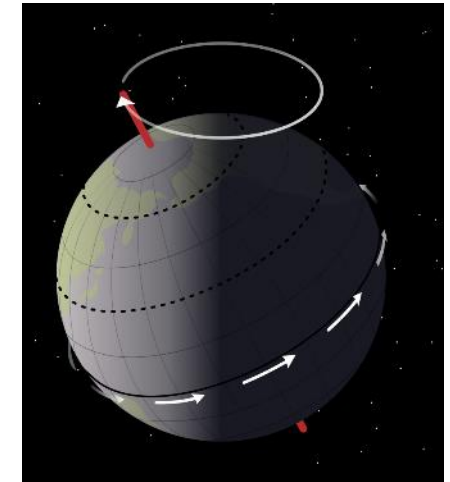
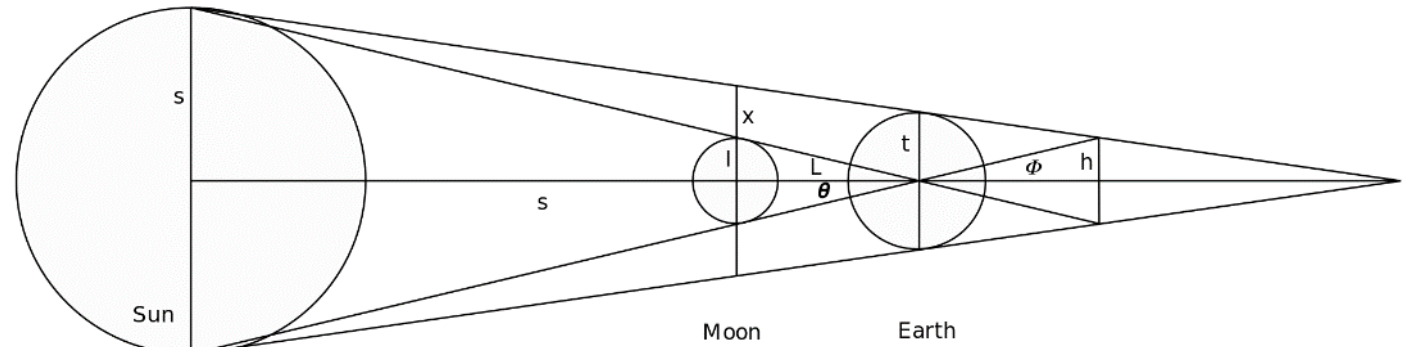
再由月球的上弦月至下弦月之間的夾角，推測出太陽至地球的距離為月球與地球之間距離的10倍。



厄拉托西尼(Eratosthenes, c. 276 BC– c. 195/194 BC)在夏至日當太陽經過西奈(Syene)的天頂，照著井底的時候，他在亞歷山大城測量太陽距天頂的角度等於兩城的緯度差，再測兩城的距離，則可測量地球的周長。

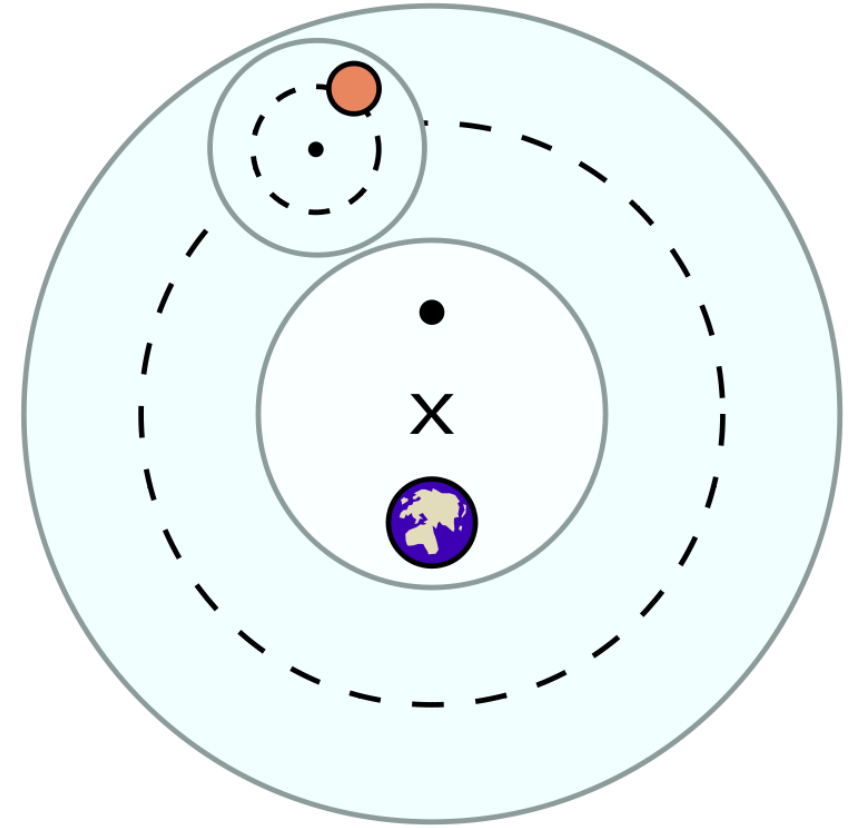


伊巴谷斯(Hipparchus, c. 190 – c. 120 bc)從精確地觀測星體的位置並與古星圖比較，使他可以相當準確的預測任何一天太陽和月亮的位置，並使他發現了歲差(Precession)的現象，制定了包含850顆星的星表。

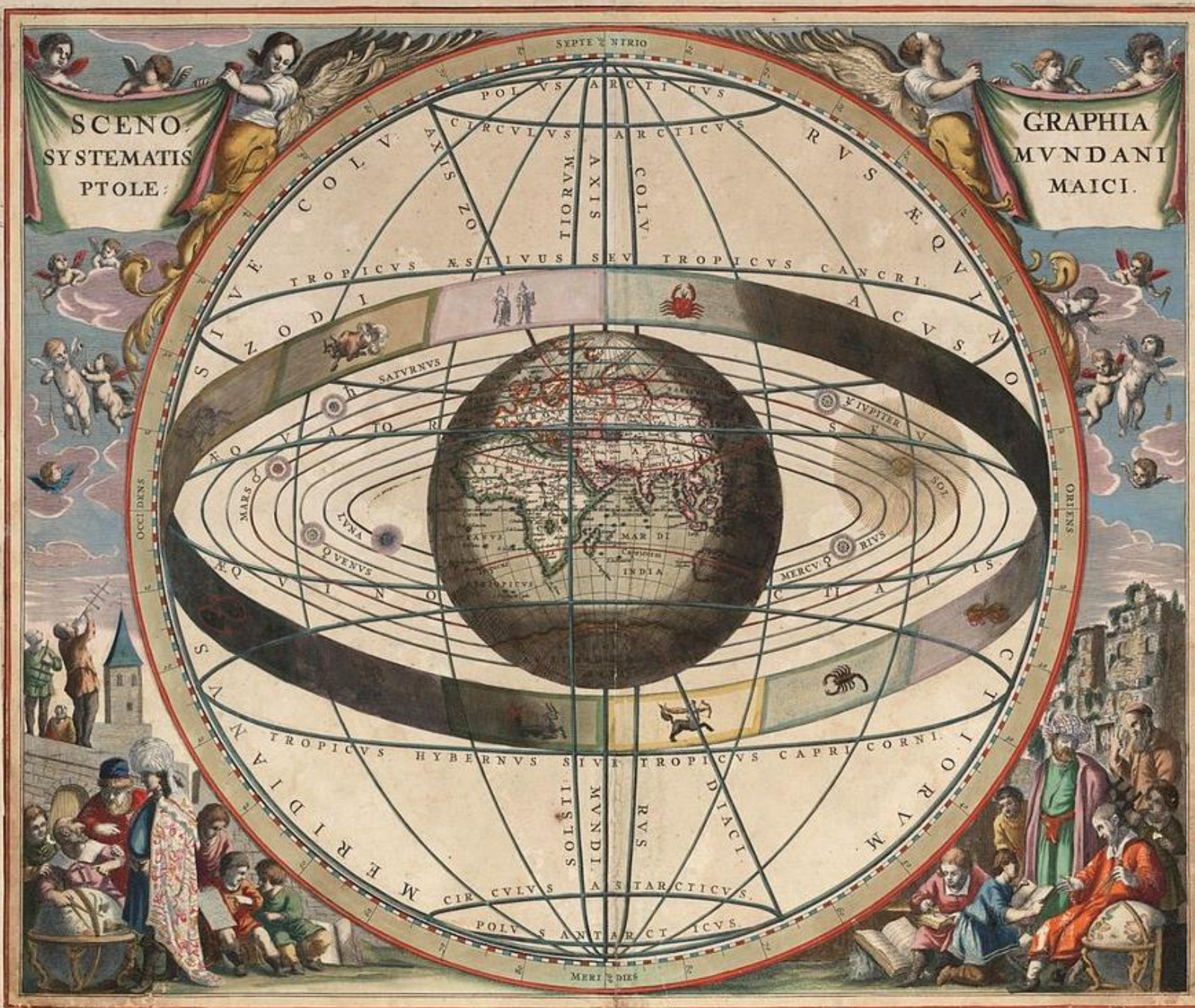


托勒密(Ptolemy, c. AD 100 – c. 170)著有Almagest，主張地心說。

用周轉圓理論一本輪(小圓)與均輪(大圓)來解釋行星逆行，認為宇宙間任何星體繞地球運行的軌道皆為完美的圓形，托勒密的學說與宇宙模型主宰了西方天文學思維將近1500年。



托勒密系統的主要架構：行星以偏心點為圓心繞本輪(小圓)、均輪(大圓)兩個正圓轉動。



托勒密的宇宙系統圖

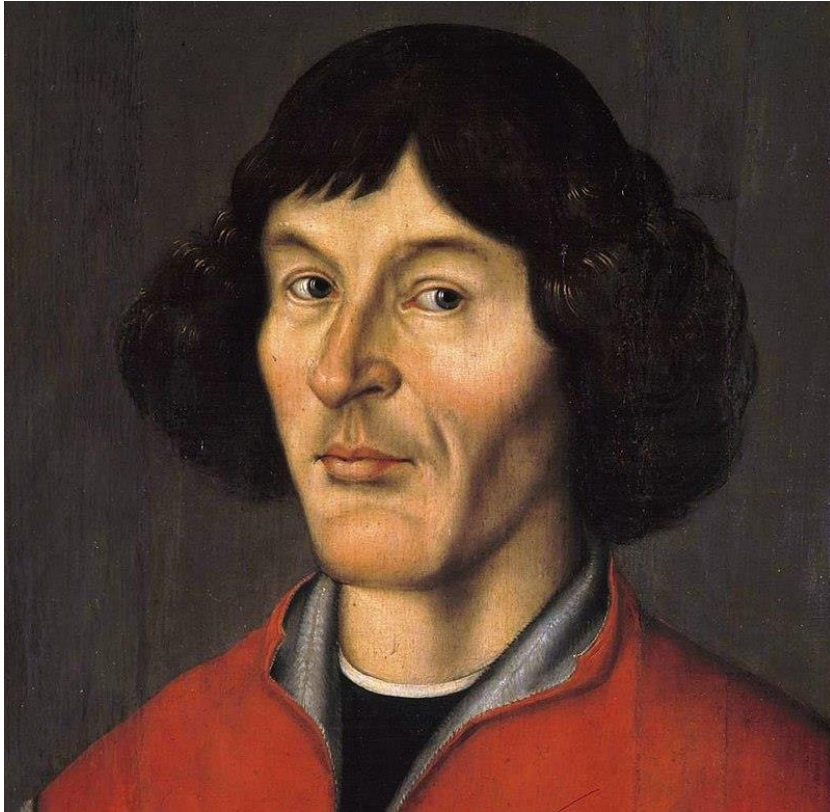
天文學(科學)的黑暗期(AD150~1500)：托勒密之後，希臘文化完全墜入黑暗的境界。羅馬帝國崩潰，人們放棄了希臘的知識傳統，在基督教義的主宰，服從古人的權威，採取聖經中的宇宙觀，天文學和一切科學的發展都受到阻礙，再加上宗教戰爭，阿拉伯人的侵入，更毀壞了希臘文化在東方的幾個中心，很多無價的手稿都付諸一炬，從此進入科學的黑暗時期。



近代天文學的起源



波蘭的哥白尼(Nicolaus Copernicus, 19 February 1473 – 24 May 1543), 24歲開始他的第一次天文觀測。他以各種不同的方法分析行星的運動，發現如果以太陽為中心，將地球視為另一個繞著太陽的行星，可以更簡單地分析與預測太陽系的行星運轉(日心說)。1512年建立了「哥白尼理論」：太陽是在太陽系的中心，行星繞著太陽運行，月球繞著地球運行，恆星是在無法測量的遠處。1543年，他出版天體運行論(*De revolutionibus orbium coelestium*)。



NICOLAI CO
PERNICI TORINENSIS
DE REVOLUTIONIBVS ORBI
um coelestium, Libri VI.

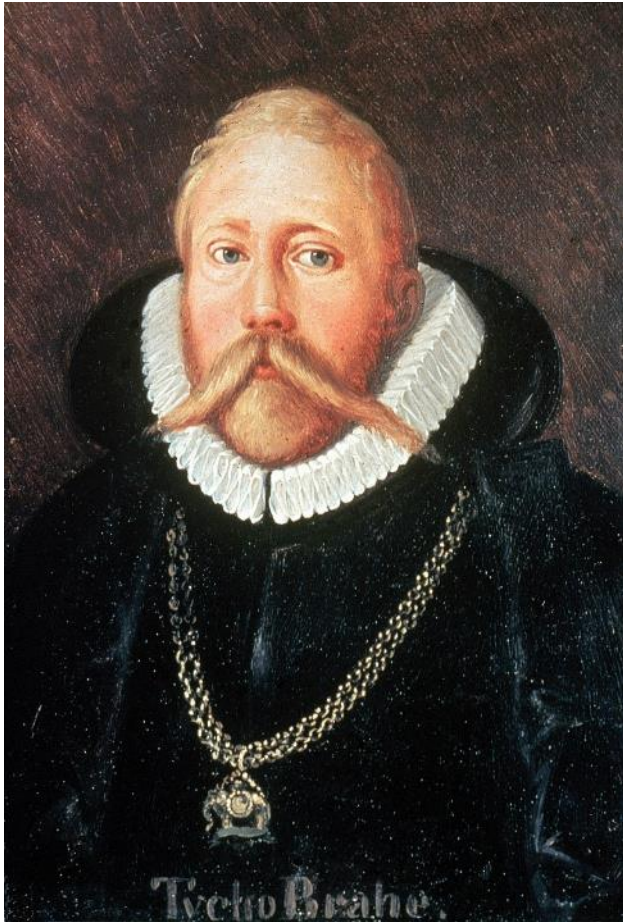
.Habes in hoc opere iam recens nato, & ædito,
studiose lector, Motus stellarum, tam fixarum,
quàm erraticarum, cum ex ueteribus, tum etiam
ex recentibus obseruationibus restitutos: & no
uis insuper ac admirabilibus hypothesibus or
natos. Habes etiam Tabulas expeditissimas, ex
quibus eisdem ad quoduis tempus quàm facilli
me calculare poteris. Igitur eme, lege, frue.

Ἀγαμέμνων ἰδὲν ἐστίν.

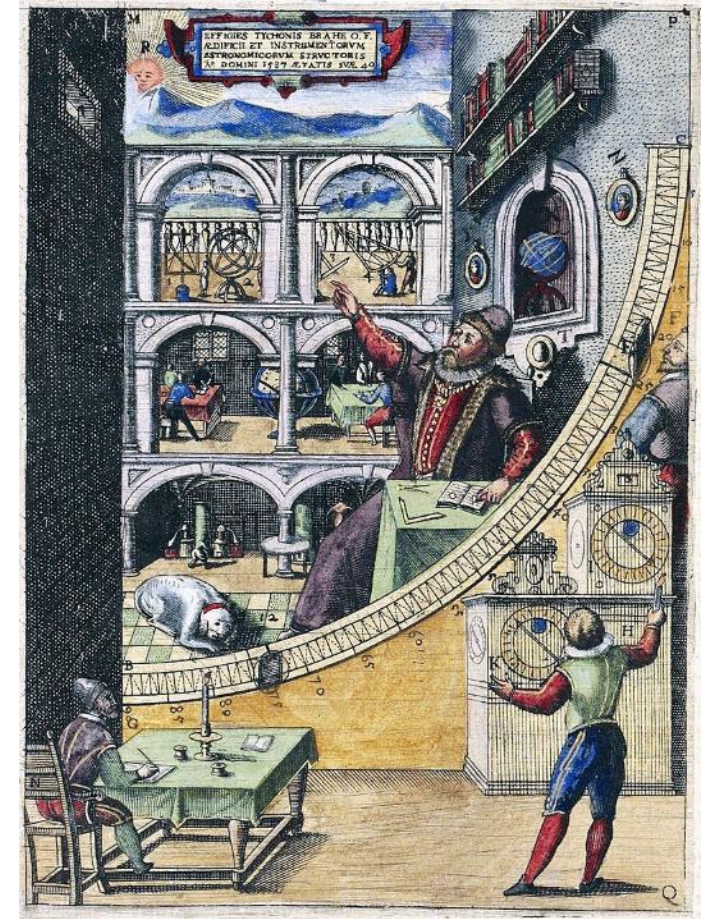
Norimbergæ apud Ioh. Petreium,
Anno M. D. XLIII.

第谷·布拉赫(Tycho Brahe, 14 December 1546 – 24 October 1601)是一位傑出的觀測者，出身於丹麥的貴族家庭，喜歡天文研究。

西元1576年，在丹麥國王Frederick II的資助下，在哥本哈根附近的赫芬島(Hven)上修建一所龐大的天文台Uraniborg，從1576～1596的20年內，他做了大量精確的觀測。



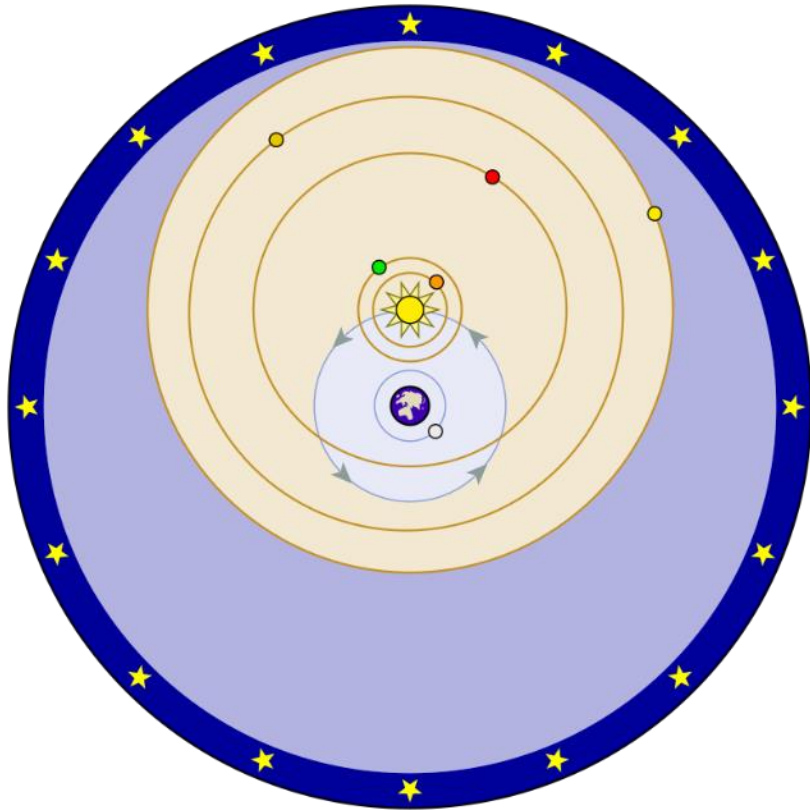
Frederick II of Denmark



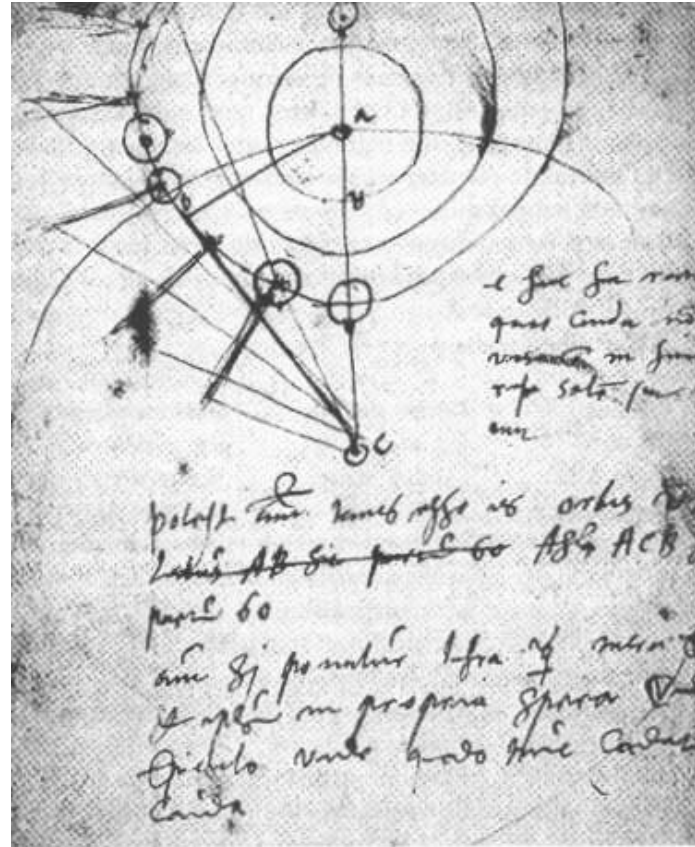
但是他不是一位高明的理論家，因為宗教的緣故及觀測不到日視差，他不願意採取哥白尼的理論，他主張一種半日心半地心的混合體系去解釋他的觀測。(行星繞著太陽，太陽再率領行星繞著地球。)

1599年他離開Uraniborg到布拉格，替迷信占星術的奧皇魯道夫二世觀測天文。

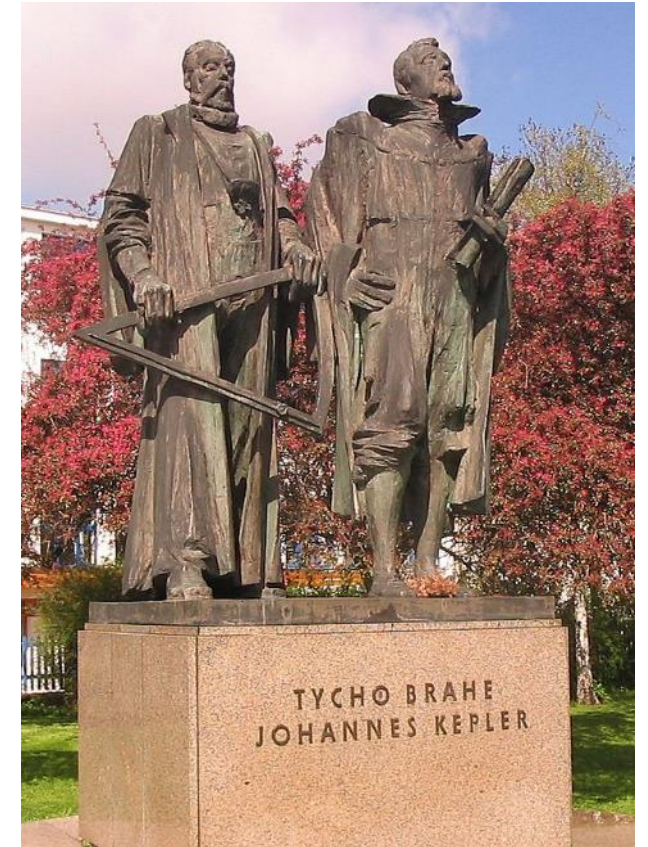
1601年去世，臨死前他將畢生觀測的資料贈給克卜勒。(克卜勒在1600年擔任他的助手)



第谷的系統

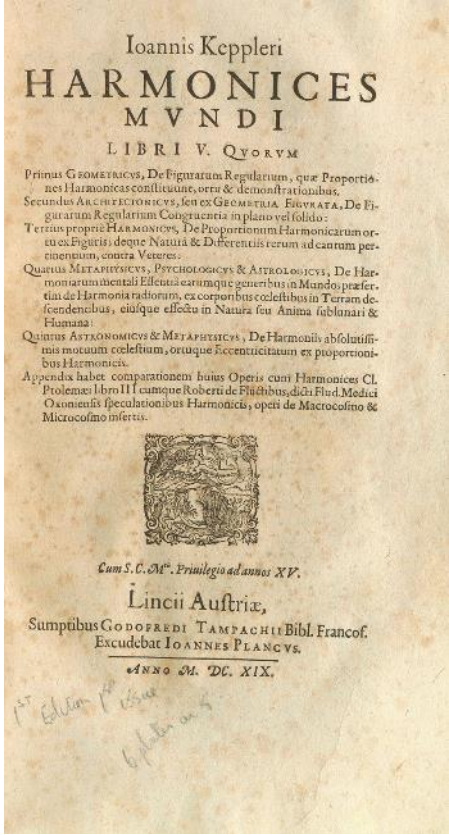


第谷的筆記

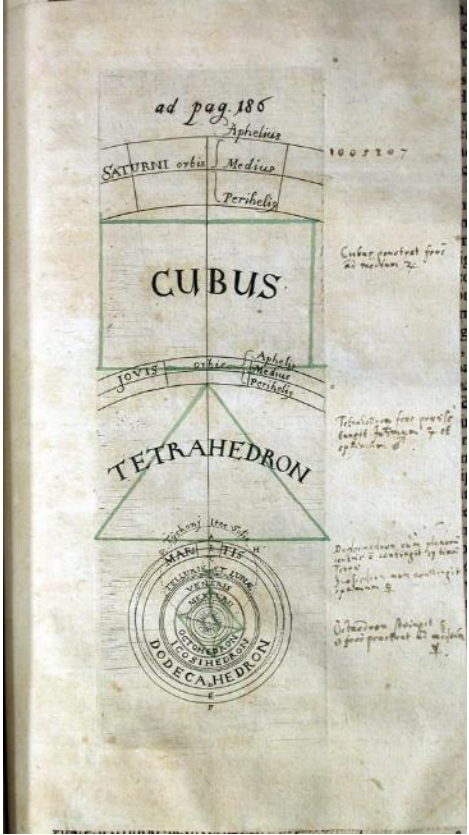


第谷和克卜勒

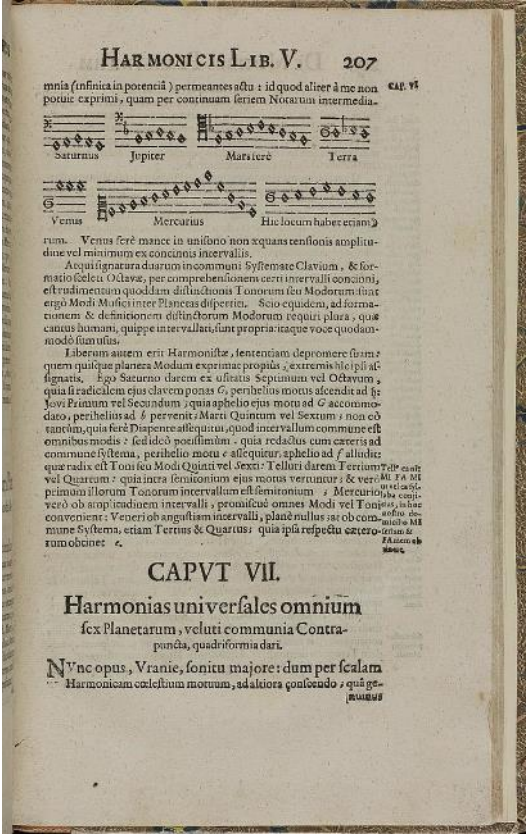
克卜勒(Johannes Kepler, December 27, 1571 – November 15, 1630)主張哥白尼系統，1619年出版*Harmonices Mundi* (*The Harmony of the Worlds*)，天球和諧論試圖承襲畢達哥拉斯的理論，以內接正多面體來探討各行星軌道之間的幾何關係。



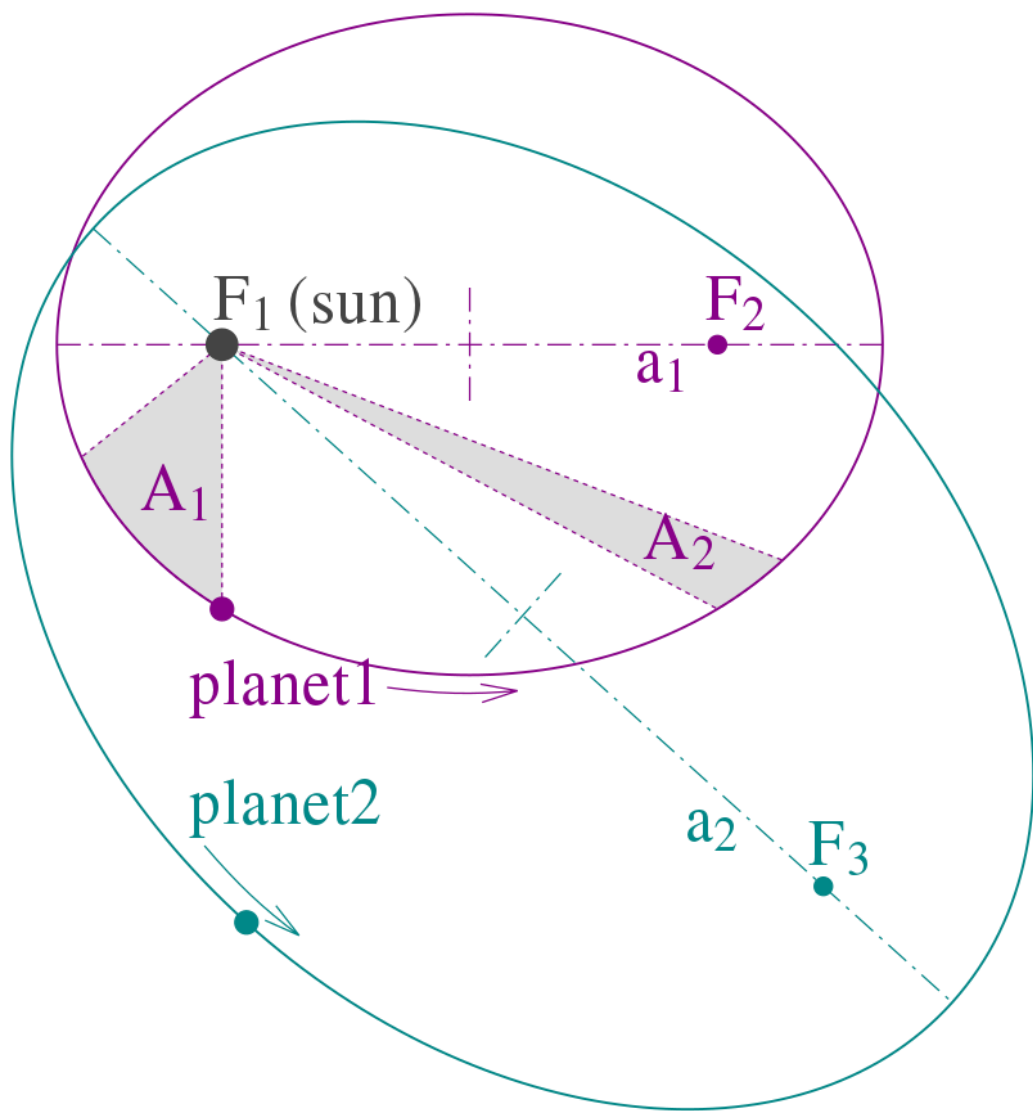
1619年第一版封面



關於完美多面體的
幾何和諧



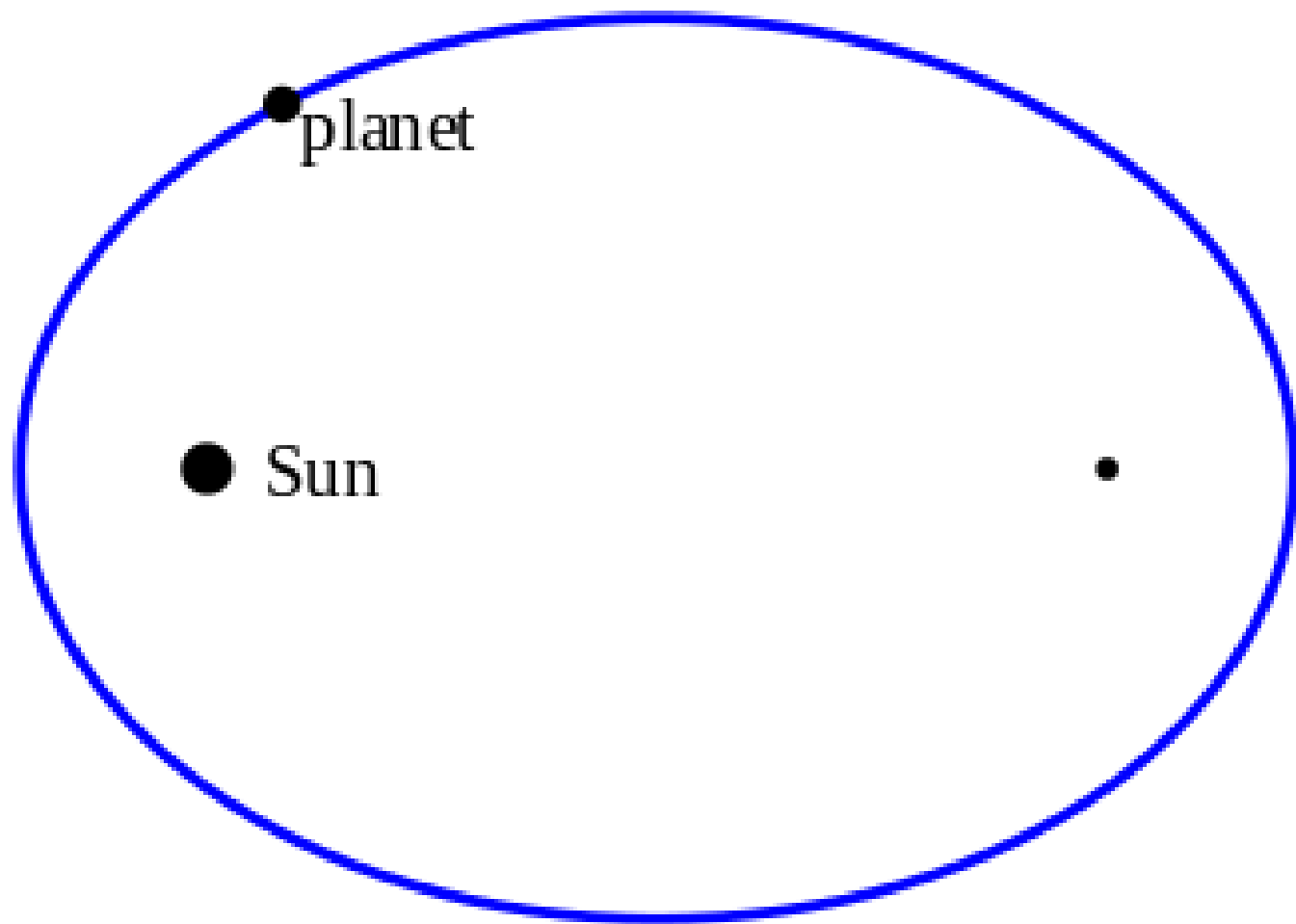
The scales of each of the six known planets, and the moon, placed on five-line staves.



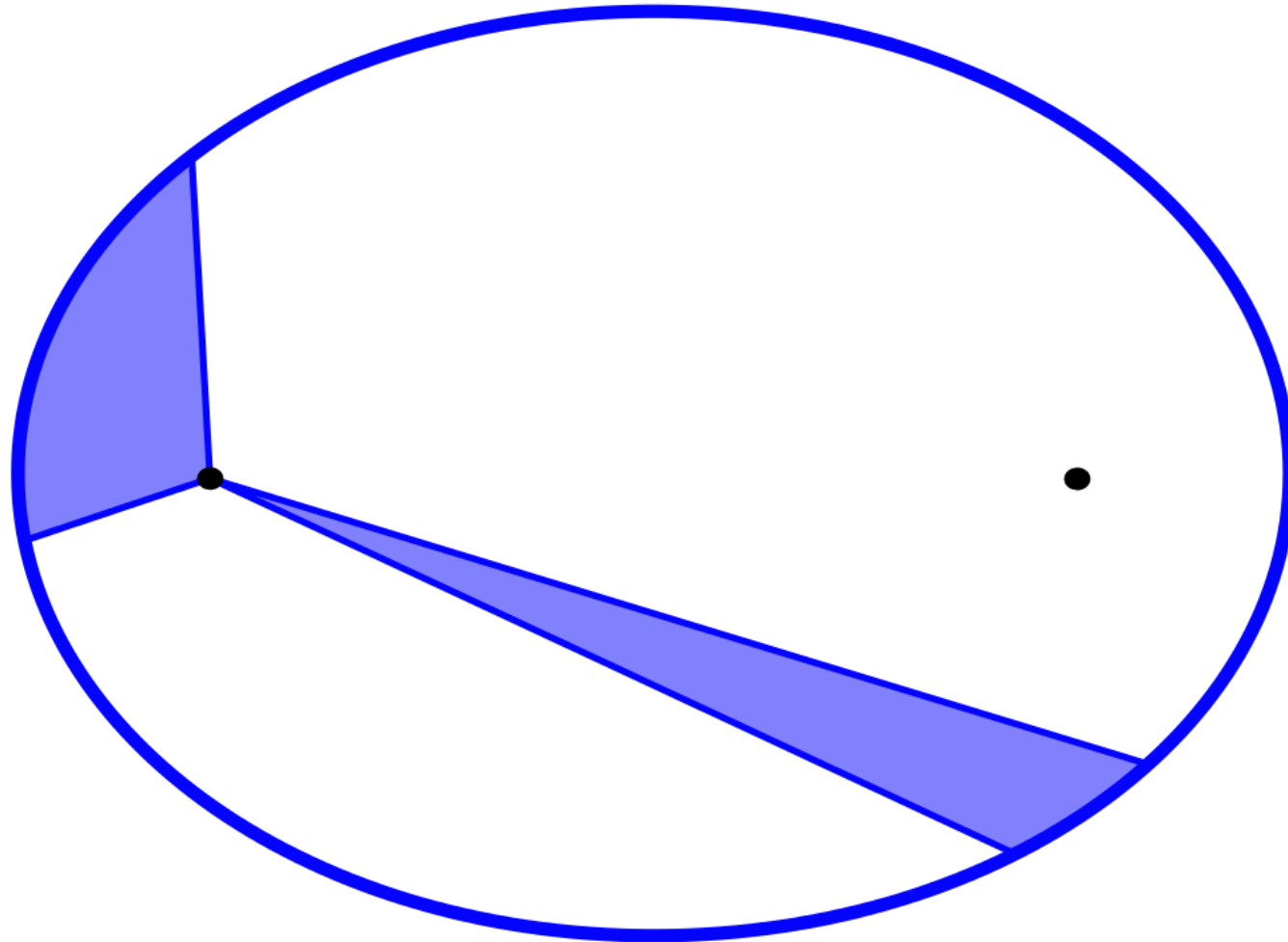
他根據第谷·布拉赫的觀測資料，仔細地計算分析，認為火星的軌道不可能是圓形的，必須是橢圓的，才能與數據資料相符合。

他建立了克卜勒三大定律 (Kepler's laws of planetary motion)：用來描述行星運動，而且可精確地預測行星的位置。

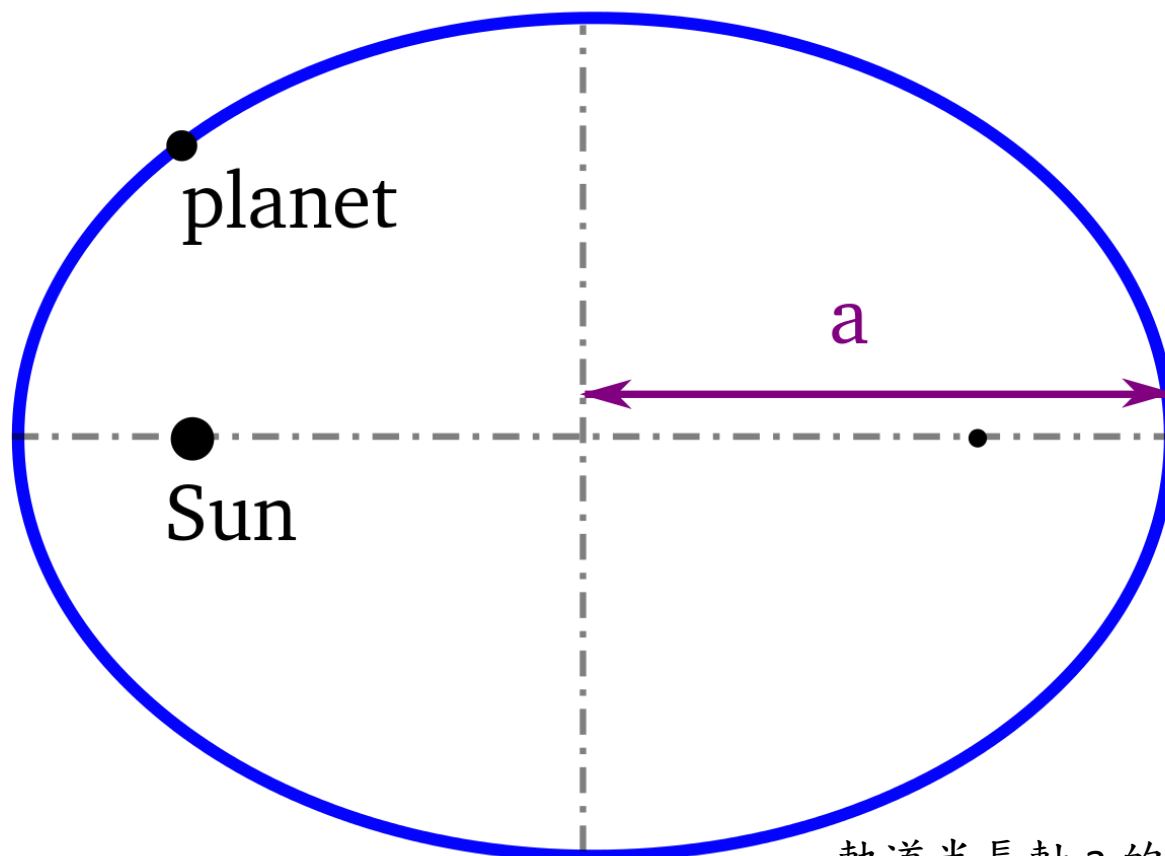
克卜勒的第一定律，也稱為橢圓定律、軌道定律：每一個行星都沿著各自的橢圓軌道環繞太陽，而太陽位在橢圓的一個焦點中。



克卜勒第二定律，也稱為等面積定律：在相等時間內，太陽和運動著的行星的連線所掃過的面積都是相等的。這一個定律實際揭示行星繞太陽公轉的角動量守恆。



克卜勒第三定律，也稱為週期定律：各個行星繞太陽公轉週期的平方和它們的橢圓軌道的半長軸的立方成正比。由這一個定律可以導出：行星與太陽之間的重力與半徑的平方成反比，這是艾薩克·牛頓的萬有引力定律的重要基礎。



軌道半長軸 a 的三次方與週期 p 平方的比為常值。

伽利略(Galileo Galilei, 15 February 1564 – 8 January 1642)是重要的實驗物理學家，他曾經在比薩斜塔(Leaning Tower of Pisa)研究自由落體(Falling bodies)實驗。

他觀測物體運動的情形，提出靜者恆靜，動者恆動的觀念，影響牛頓建立力學系統。



Galileo Galilei

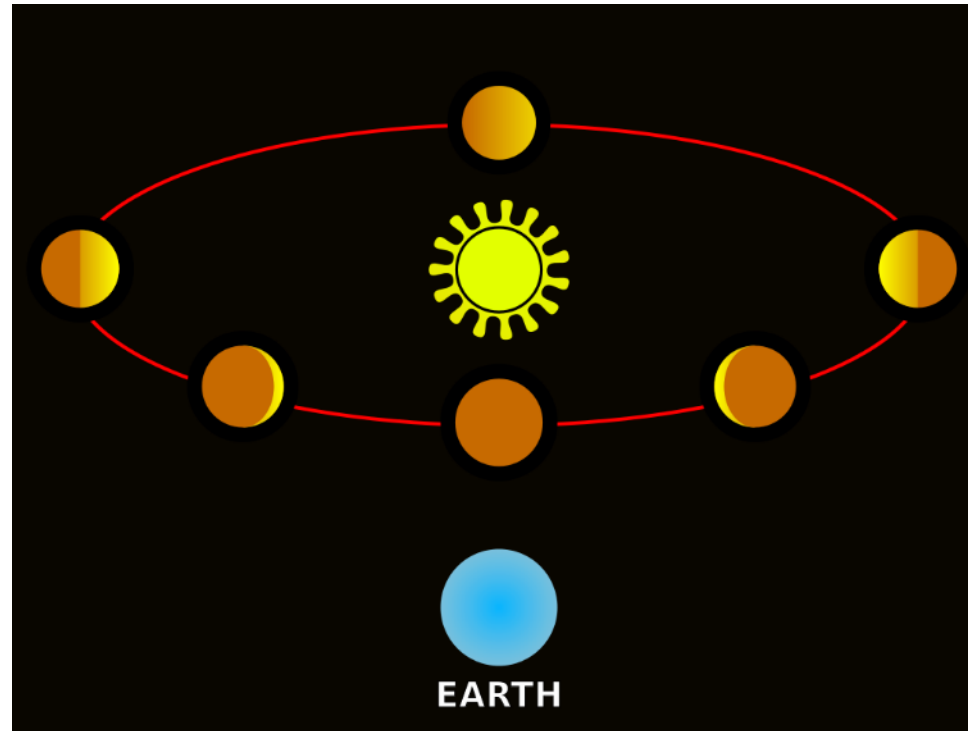


1610年伽利略經由望遠鏡發現木星(Jupiter)的四顆主要衛星，這是哥白尼體系(Copernican heliocentrism)的一個強而有力的證據。

他也觀測到金星(Venus)與水星(Mercury)的相位(盈虧)，更支持日心說理論，1632年他出版“關於托勒密和哥白尼兩大世界體系的對話”(Dialogo sopra i due massimi systemi del mondo, tolemaico e copernicano)。



伽利略經由望遠鏡發現了木星(Jupiter)的四顆主要衛星。

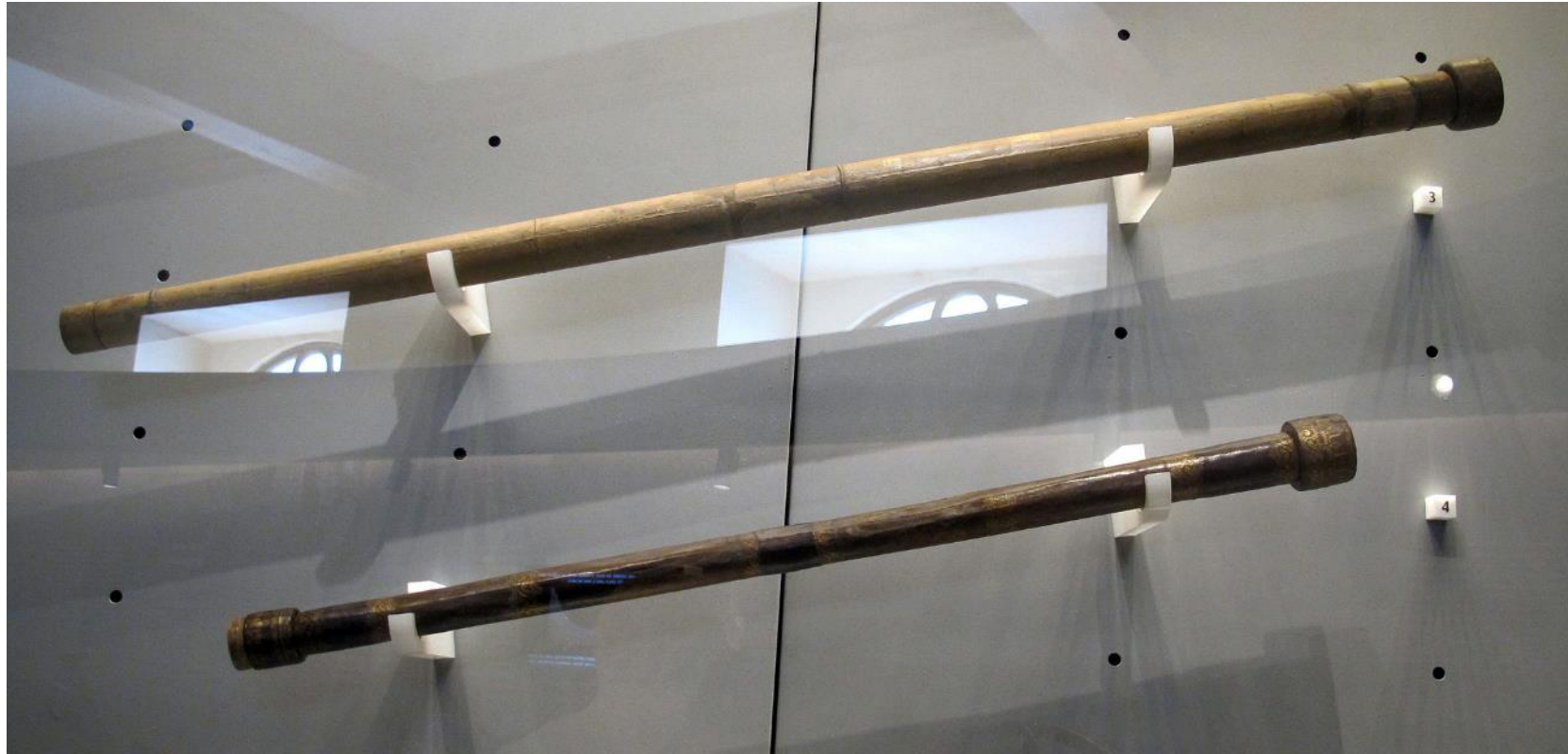


1610年伽利略觀察金星在軌道上的位置相對於地球的圖。

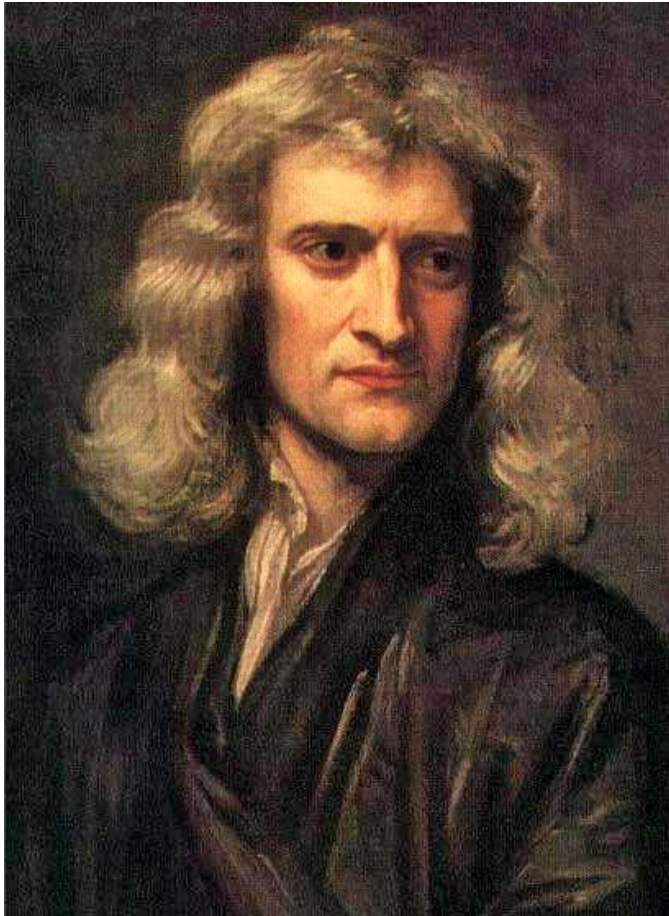


金星的相位和其表觀直徑的變化。

望遠鏡的觀測結果提供更多更精確的觀測資料來驗證克卜勒的運動定律。



牛頓(Isaac Newton, 25 December 1642 – 20 March 1726/27)是一位偉大的物理學家，他發明了微積分、力學三大運動定律(Newton's laws of motion)、萬有引力定律(Newton's law of universal gravitation)，並研究光的性質，發明反射式望遠鏡(Reflecting telescope)。

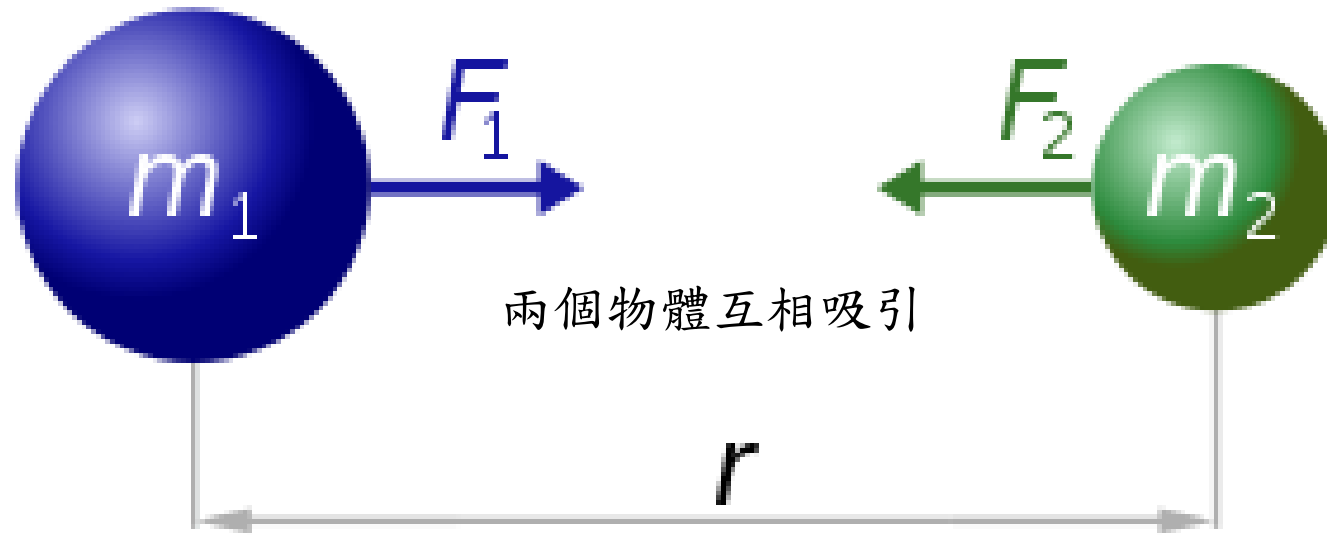


Is. Newton

1672年，牛頓向英國Royal Society展示的反射式望遠鏡(Reflecting telescope)複製品。



牛頓的萬有引力定律(Newton's law of universal gravitation)：宇宙中的任何質點都互相吸引，引力的大小與兩者質量的乘積成正比，但是與距離平方成反比。

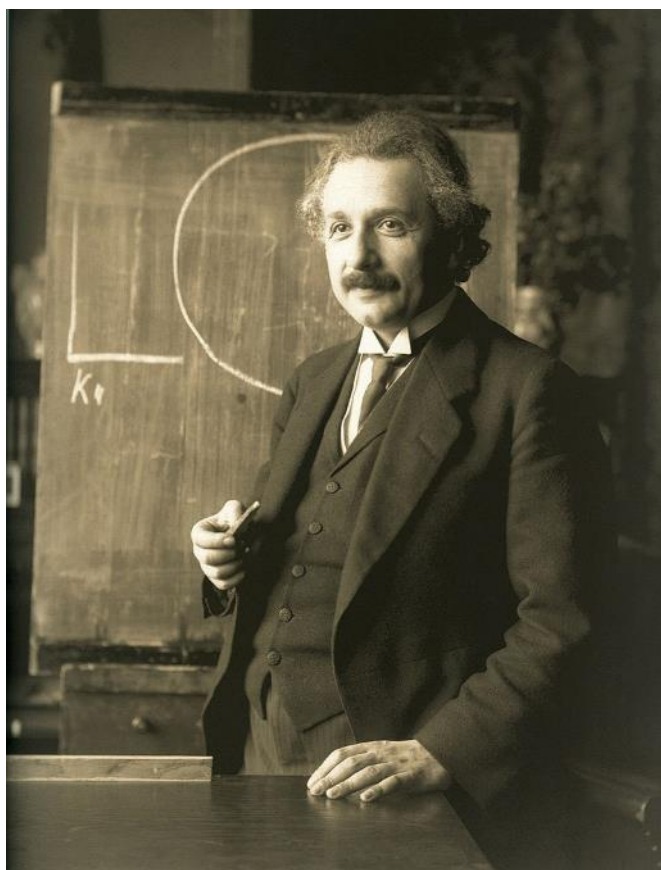


$$F_1 = F_2 = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$

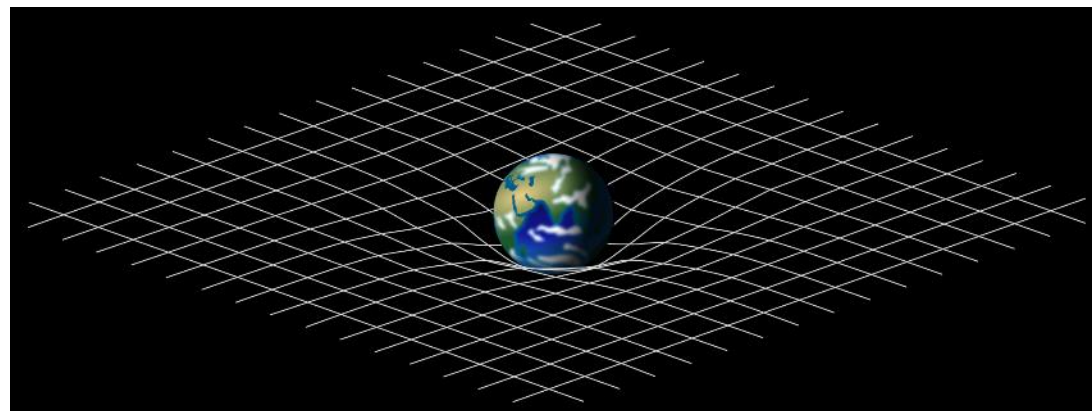
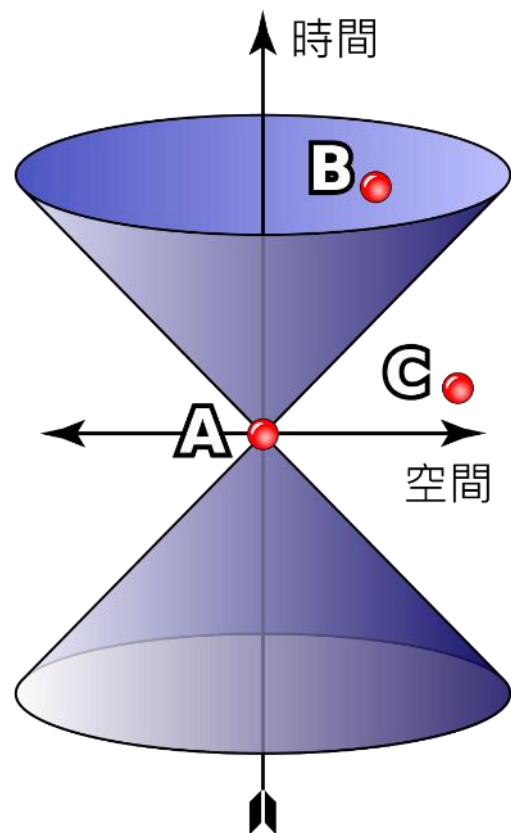
牛頓三大運動定律

- 牛頓第一定律(慣性定律)：物體所受的淨力為零時，動者恆動，靜者恆沿直線做等速運動。
- 牛頓第二定律：每一作用在物體上的力，所產生的加速度其方向與與此力相同，但是大小與物體的質量成反比($F=ma$)。
- 牛頓第三定律：作用在物體上的每一個力，皆有其反作用力。反作用力的大小與作用力相同，但是方向相反。

愛因斯坦(Albert Einstein, 14 March 1879 – 18 April 1955)是一位偉大的理論物理學家，1905年，他提出狹義相對論(Special relativity)，1907到1915年，他發展出廣義相義論(General relativity) — 物質的存在影響時空的彎曲程度。

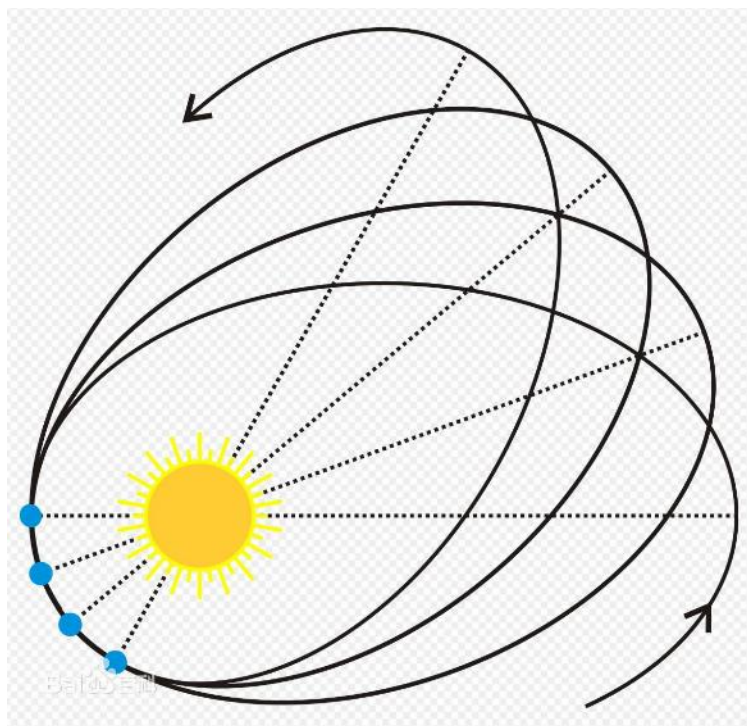


Albert Einstein

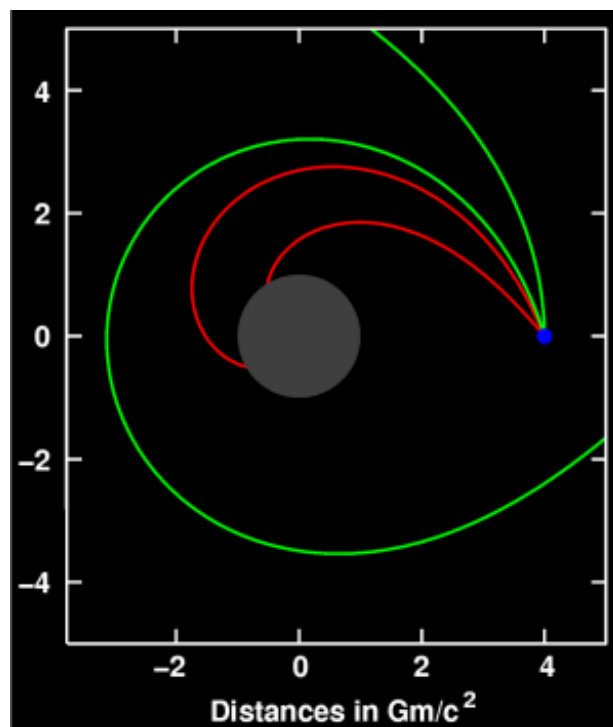


廣義相對論三大實驗的驗證

1. 水星近日點的進動 (每世紀43角秒)

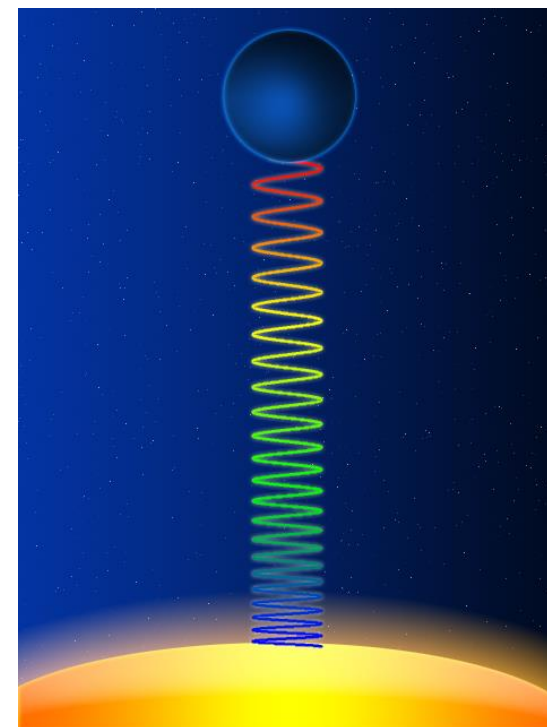


2. 星光的偏折效應



從光源(圖中藍點)發射出的光線在途經一個緻密星體(灰色區域)時發生的光線偏折。

3. 重力紅位移效應



光波從一個大質量物體表面射出時頻率會發生紅移