



El mensajero sideral, de Galileo Galilei

Juan Espinoza G.
juan.espinoza@umce.cl
Departamento de Física
Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación

INTRODUCCIÓN

La siguiente guía didáctica tiene como propósito presentar una historia del desarrollo de la Física y Astronomía, como aspectos de la Naturaleza de la Ciencia (NdC), utilizando el libro de divulgación científica *El mensajero sideral*, de Galileo Galilei. En este breve libro el autor expone las primeras observaciones astronómicas realizadas con un telescopio y cómo ellas cambiaron el pensamiento acerca del mundo físico y las leyes que lo rigen. En la portada del libro, tal como un noticiero sideral (*Sidereus Nuncius*), Galileo Galilei manifiesta que en él se dan a conocer importantes y muy admirables observaciones e invita a todos a contemplarlas, pero especialmente a filósofos y astrónomos, las que fueron observadas por el autor de este breve tratado, por medio de un catalejo, recientemente logrado por él, dirigiéndolo hacia la superficie de la Luna, a innumerables estrellas fijas en la Vía Láctea, a nebulosas y, especialmente, apuntando el instrumento hacia cuatro planetas que giran alrededor de Júpiter con distintos intervalos y períodos, pero con velocidades sorprendentes, los que desconocidos hasta hoy, han sido observados por vez primera por el autor.

La utilización didáctica de esta obra se puede hacer a nivel de Educación Media y Superior. En Educación Media se pueden analizar algunas secciones, puesto que la obra abarca varias temáticas de la Física y Astronomía. Por lo tanto, se sugiere que a medida se vayan viendo los contenidos de cada nivel, como trabajo de resumen, se lean las secciones pertinentes.

Esta guía didáctica se elabora sobre la base del modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación. A nivel universitario, en particular, se tiene que revisar también la conceptualización acerca de la naturaleza de la ciencia.

Situación problemática

El programa guía de actividades propuesto aquí responde a la siguiente problemática central:

¿Cuáles son las principales ideas, sobre la base de las observaciones astronómicas descritas en "El mensajero sideral" de Galileo Galilei, que rompieron con una visión geocéntrica del sistema solar, y cómo esas ideas han impactado en la evolución de la Física y la Astronomía modernas?

Índice

- I.- Introducción
- II.- El telescopio
- III.- Observación de la Luna
- IV.- Las estrellas fijas, la Vía Láctea y nebulosas
- V.- Júpiter y sus lunas
- VI.- Otras observaciones astronómicas de Galileo
- VII.- Conclusiones

Introducción

Actividad 1.- Antes de leer el libro "El mensajero sideral", consideren y respondan de manera individual, los siguientes interrogantes:

- a) ¿Qué sabes acerca de la obra del científico Galileo Galilei?
- b) ¿Cuál fue su contribución a la Física?
- c) ¿Cuáles fueron sus principales contribuciones al desarrollo de la Astronomía?
- d) ¿Quién inventó el telescopio? ¿Fue Galileo Galilei?
- e) ¿Cómo funciona un telescopio astronómico refractor?
- f) ¿Cómo funciona el telescopio construido por Galileo Galilei? ¿Cuál es la diferencia con el anterior?
- g) ¿Cuáles fueron las contribuciones de Galileo a la Astronomía consignadas en "El mensajero sideral"?
- h) ¿Cuáles eran las evidencias que servían de base al modelo geocéntrico de sistema solar y universo?
- i) ¿Qué observaciones de Galileo y sus contemporáneos contribuyeron a aceptar el modelo heliocéntrico y a rechazar el modelo geocéntrico?

Actividad 2.- Escriban cada una de sus opiniones, reflexiones y conocimientos a los interrogantes anteriores. Discutan en forma grupal las reflexiones individuales.

Actividad 3.- Lean parcial o completamente el libro "El mensajero sideral" de Galileo Galilei, siguiendo las instrucciones del profesor.

Actividad 4.- Investiguen acerca de los acontecimientos históricos, artísticos, literarios, científicos y religiosos, ocurridos durante un siglo, desde los años 1550 hasta los años 1650, período de la revolución científica, aproximadamente, y de los aportes de Galileo y Kepler a la ciencia. Completar una tabla como la siguiente, considerando un intervalo de 20 años.

| Año | Vida religiosa | Vida artística y literaria | Vida científica | Acontecimientos en Europa |
|------|----------------|----------------------------|--|---------------------------|
| 1550 | | | - Nicolás Copérnico propone modelo heliocéntrico (1543) - Nace Galileo Galilei (1564) | |
| 1570 | | | | |
| 1590 | | | | |
| 1610 | | | - Publicación de "El mensajero sideral" | |
| 1630 | | | | |
| 1650 | | | | |

El telescopio

Actividad 5.- ¿Cuál es el origen de la invención del telescopio? Indagar acerca de una visión histórica de la invención del telescopio.

Actividad 6.- ¿En qué consiste un telescopio astronómico refractor? ¿Cuáles son sus partes principales y cómo funciona?

Actividad 7.- ¿Cómo funciona el telescopio construido por Galileo Galilei? ¿Cuál es la diferencia con el anterior?

Actividad 8.- ¿Cuáles son las principales características ópticas de un telescopio? Referirse específicamente a: diámetro del objetivo, tipos de lentes, distancias focales del objetivo y del ocular, tipo de imagen, aumento, razón focal del instrumento, entre otros parámetros. Dar una definición de cada uno de ellos.

Actividad 9.- Con lentes adecuadas como objetivo y ocular, armar un modelo de telescopio refractor tipo Galileo y Kepler. ¿Qué clase de lentes se emplean para cada uno de ellos? ¿Cómo debe ser la distancia focal de la lente objetivo comparada con la del ocular? ¿Cuál es el aumento del telescopio que armaron? Comparar con el aumento del catalejo construido por Galileo Galilei.

Actividad 10.- Repetir el procedimiento planteado por Galileo en "El mensajero sideral" para determinar el aumento de su anteojito o catalejo. Comparar con un procedimiento óptico actual para determinar el aumento de un telescopio.

Actividad 11.- Con los telescopios armados en la Actividad 9, u otros que se puedan conseguir, ya que con el telescopio más barato que se pueda adquirir en el comercio, se obtienen aumentos mayores que los de Galileo, repetir las observaciones astronómicas que aparecen en "El mensajero sideral".

Actividad 9.- Con lentes adecuadas como objetivo y ocular, armar un modelo de telescopio refractor tipo Galileo y Kepler. ¿Qué clase de lentes se emplean para cada uno de ellos? ¿Cómo debe ser la distancia focal de la lente objetivo comparada con la del ocular? ¿Cuál es el aumento del telescopio que armaron? Comparar con el aumento del catalejo construido por Galileo Galilei.

Actividad 10.- Repetir el procedimiento planteado por Galileo en "El mensajero sideral" para determinar el aumento de su anteojito o catalejo. Comparar con un procedimiento óptico actual para determinar el aumento de un telescopio.

Actividad 11.- Con los telescopios armados en la Actividad 9, u otros que se puedan conseguir, ya que con el telescopio más barato que se pueda adquirir en el comercio, se obtienen aumentos mayores que los de Galileo, repetir las observaciones astronómicas que aparecen en "El mensajero sideral".

Observación de la Luna

Actividad 12.- Al observar la Luna, ¿se observan más detalles de la superficie de la Luna en algunas de sus fases que en otras? ¿En cuáles? ¿Cómo se explica esta observación?

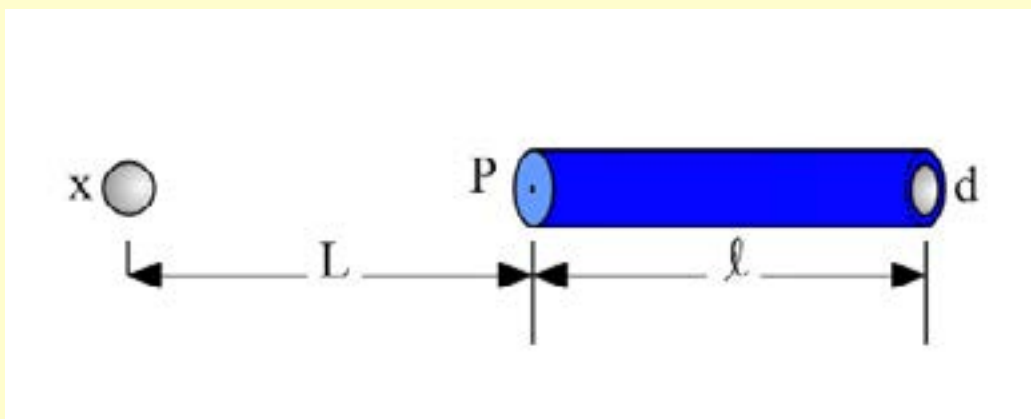
Actividad 13.- ¿Cómo se explica el origen de las fases de la Luna? ¿Cuál es el nombre de las principales fases lunares? Armar un modelo básico, utilizando una ampollita encendida y una esfera de plástico, para demostrar las fases lunares. ¿Qué representa la ampollita encendida y la esfera de plástico? ¿Qué representa la Tierra?

Actividad 14.- ¿Cuántas clases diferentes de características superficiales se observan al utilizar un telescopio o binoculares? Describan cada una de las siguientes características del relieve lunar: cráteres, mares, océanos, montes, valles, cordilleras, etc.

Actividad 15.- En "El mensajero sideral" Galileo menciona varios conceptos en la descripción del movimiento de la Luna, vista desde la Tierra, tales como: cuadratura, oposición, conjunción. ¿Cómo se definen estos conceptos en Astronomía?

Actividad 16.- ¿Cómo medir el diámetro de la Luna? El método que se propone aquí es mediante la utilización de una cámara de orificio, la que consiste en un tubo de aproximadamente 1 metro de longitud con uno de los extremos cubierto con un trozo de papel de aluminio al se hace un orificio con un alfiler. El otro extremo se cubre con papel translúcido o diamante, como pantalla. Para obtener una imagen de la Luna llena en la pantalla, se apunta la cámara de orificio hacia la Luna, ajustando la posición del tubo hasta que se forme la imagen en la pantalla translúcida. Medir el diámetro de la imagen en milímetros. ¿Cuánto es el tamaño de la imagen?

Actividad 17.- Para el diámetro de la Luna, en esquema se representan: la Luna de diámetro x , el agujero P de la cámara de orificio y la imagen de la Luna de diámetro d formada en la pantalla de la cámara.



Donde:

x = diámetro de la Luna

L = distancia Tierra - Luna

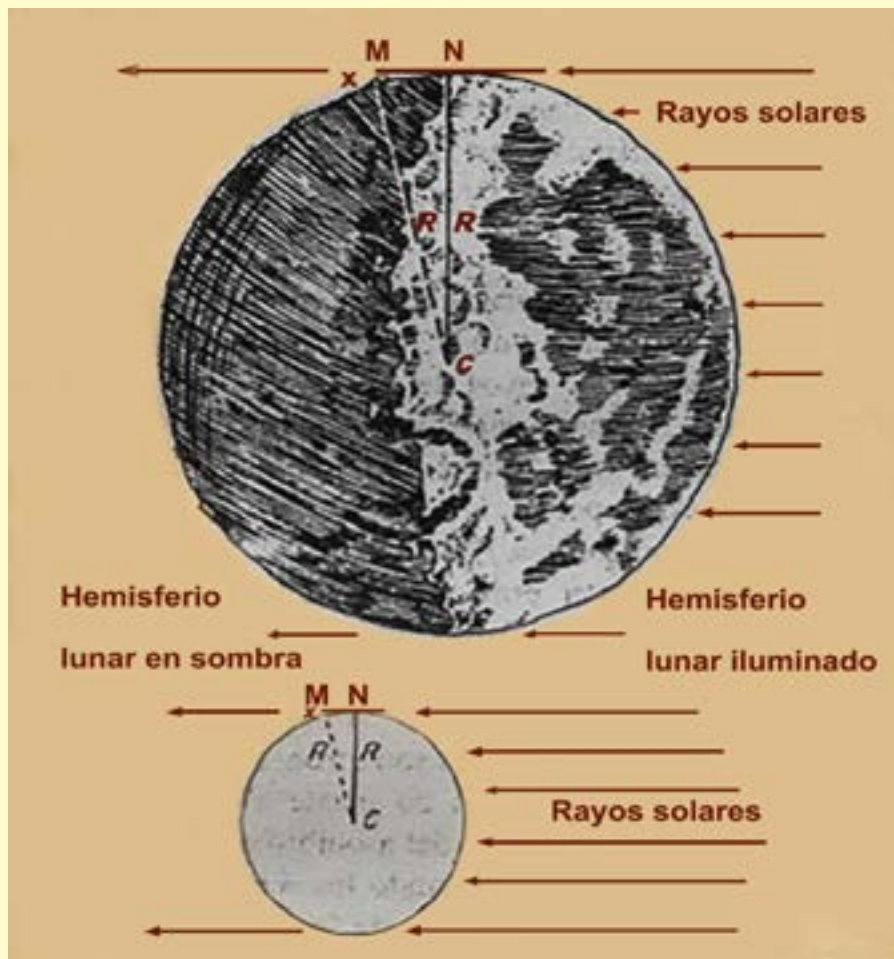
d = diámetro de la imagen de la Luna en la cámara de orificio

l = longitud de la cámara de orificio

Dibujar en el esquema anterior, el trazado de los rayos de luz provenientes de los extremos de la Luna, y que forman su imagen en la pantalla. ¿Qué propiedad de la luz se está empleando al hacer el trazado?

Actividad 18.- ¿Son semejantes los triángulos formados por los rayos de luz? ¿Qué relación matemática se cumple entre los lados correspondientes de los triángulos semejantes del esquema? Sabiendo que la Luna está a una distancia de 384 400 km de la Tierra, calcular el diámetro de la Luna. Recuerden que se conoce el diámetro de la imagen de la Luna y la longitud de la cámara de orificio.

Actividad 19.- Esta actividad tiene el propósito de determinar la altura de montañas y paredes de cráteres de la Luna, mediante un procedimiento análogo al que utilizó Galileo hace más de 400 años. La figura siguiente fue adaptada del libro "El nacimiento de una nueva Física" de Bernard Cohen, que estudia la historia de la mecánica celeste desde la Física antigua de Aristóteles, los trabajos de Copérnico, Galileo y Kepler, hasta las consecuencias de la gravitación universal. Esta figura ilustra el método empleado por Galileo para calcular la altura de las montañas de la Luna. Analizar el método y comparar con el empleado por Galileo en "El mensajero sideral". Aplicar al cálculo de una montaña lunar específica de una fotografía de la Luna.



En la figura, el punto N marca el límite entre las zonas iluminada y oscura de la Luna. El punto M es un punto brillante observado en la zona oscura; Galileo supuso, con razón, que el punto brillante era el pico de una montaña cuya base permanecía en sombras debido a la curvatura lunar. Entonces, pudo calcular el radio de la Luna conociendo la distancia del satélite a la Tierra y pudo estimar la distancia NM con el telescopio. Según el teorema de Pitágoras, $CM^2 = MN^2 + CN^2$, o bien, pues r es el radio y x la altura de la montaña,

$$(r + x)^2 = r^2 + MN^2, \text{ o sea}$$

$$r^2 + 2rx + x^2 = r^2 + MN^2, \text{ o sea}$$

$$x^2 + 2rx - MN^2 = 0$$

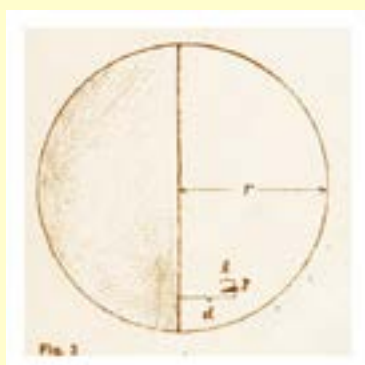
ecuación que permite hallar fácilmente el valor de x , la altura de la montaña.

Actividad 20.- Otro método para determinar la altura de las montañas de la Luna, muy similar al anterior, es el siguiente. Para esto se tienen las fotografías de las figuras 1 y 2, tomadas del Harvard Project Physics, 1975.

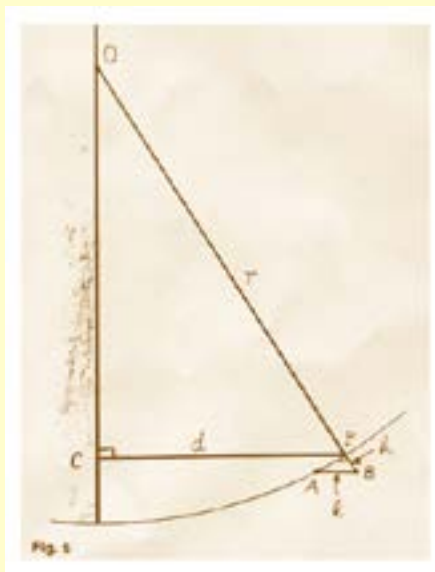
a) La figura 1 corresponde a la Luna en su cuarto creciente y la figura 2 a la parte encuadrada de la figura 1. La imagen de la Luna, captada con un telescopio, no corresponde a cómo se observa en el cielo, puesto que el telescopio forma una imagen invertida del objeto. La zona encuadrada de la figura 1 está ampliada en la figura 2 y es la montaña Pitón de la Luna.



b) Los esquemas siguientes permiten mostrar la geometría del procedimiento para determinar la altura de la montaña. ¿Qué suposiciones se hacen?



c) ¿Qué relación nos permite determinar la altura de la montaña de la Luna? De la figura 5 es posible obtener una relación mediante la aplicación de triángulos semejantes.



d) Se puede probar geoméricamente de la figura que el triángulo pequeño BPA es semejante al triángulo PCO. Los lados correspondientes de los triángulos semejantes son proporcionales, de modo que se puede expresar como:

$$\frac{h}{l} = \frac{d}{r}$$

- e) ¿Cuál es la altura de Pitón, en cm, en la fotografía?
- f) El diámetro de la Luna es 3476 km. ¿Cuál es la escala de la fotografía?
- g) ¿Qué valor numérico se obtiene para la altura real de Pitón?
- h) ¿Cuál de las mediciones tiene más incerteza? ¿Cuál es su estimación del error de la altura de la montaña?
- i) Si se usan métodos más complicados que el que se usó aquí, se encuentra que Pitón es de alrededor de 2,3 km de altitud (y de aproximadamente 22 km de diámetro en la base). Su valor obtenido, ¿difiere del aceptado en más que su error experimental? Si es así, ¿puede sugerir por qué?

Actividad 21.- Tipos de relieves superficiales de la Luna. Para esta actividad se debe disponer de distintas fotografías de la Luna (o se podrían tomar las propias fotografías), siguiendo el procedimiento que se indica a continuación:

- a) Examinen las fotografías de la superficie de la Luna, realizando esquemas de las características más grandes de la superficie.
- b) Identifiquen por su nombre los principales mares y cráteres.
- c) ¿Qué son los mares de la Luna? ¿Cómo se describen?
- d) Describan y busquen el nombre de otros relieves lunares como cráteres, montañas, cordilleras, etc.
- e) Determinen el tamaño de algunos relieves lunares de las fotografías, usando una regla graduada en milímetros. ¿Qué dato de la Luna necesitan conocer o medir?
- f) Seleccionen cinco relieves lunares (mares o cráteres grandes) y midan sus diámetros hasta la décima de mm.
- g) ¿Qué detalles superficiales pueden observar a simple vista de la Luna?
- h) ¿Cómo se pueden describir algunas características superficiales de la Luna?
- i) ¿Cómo se puede fotografiar la Luna? Nombrar y describir distintos procedimientos para efectuarlo.

Las estrellas fijas, la Vía Láctea y nebulosas

Actividad 22.- Usando un planetario virtual como el Stellarium, por ejemplo, buscar el cielo que observó Galileo Galilei desde Florencia, en enero de 1610. Para esto es necesario conocer las coordenadas sobre la superficie de la Tierra de Florencia (latitud y longitud). Verificar si las constelaciones y estrellas que menciona en su "El mensajero sideral" estaban presentes en esa fecha y la hora.

Actividad 23.- En el libro de Galileo se mencionan las estrellas fijas y las estrellas errantes, ¿cuál es la diferencia entre ambas, si es que las hay?

Actividad 24.- Analizar la siguiente observación de Galileo, narrada en "El mensajero sideral" al utilizar su telescopio: "por más que se tenga un mayor aumento del instrumento, las estrellas fijas, y también las errantes, se ven como puntos". Con los telescopios modernos, para aficionados y los de observatorios grandes, ¿se puede revelar el diámetro de una estrella? ¿Qué métodos se utilizan actualmente para determinar el diámetro de una estrella? ¿Se pueden resolver los tamaños de los planetas del sistema solar con un telescopio para aficionados?

Actividad 25.- ¿Qué es una constelación? ¿Cuáles son las constelaciones que son observadas por Galileo Galilei con su telescopio, nombradas en "El mensajero sideral"?

Actividad 26.- Comparar los dibujos de constelaciones, realizados por Galileo, con ilustraciones o fotografías de esas mismas constelaciones, o también observarlas con un telescopio para aficionados. ¿Con qué detalle hizo Galileo sus observaciones? ¿Y las que ustedes hacen con un telescopio actual?

Actividad 27.- ¿A qué se denomina Galaxia en “El mensajero sideral”? ¿Es el mismo concepto de galaxia que tenemos actualmente?

Actividad 28.- ¿Qué es la Vía Láctea que se menciona en “El mensajero sideral”? Comparar con el concepto de Vía Láctea actual.

Actividad 29.- ¿Qué es una nebulosa en la época de Galileo? Comparar con el concepto actual de nebulosa.

Júpiter y sus lunas

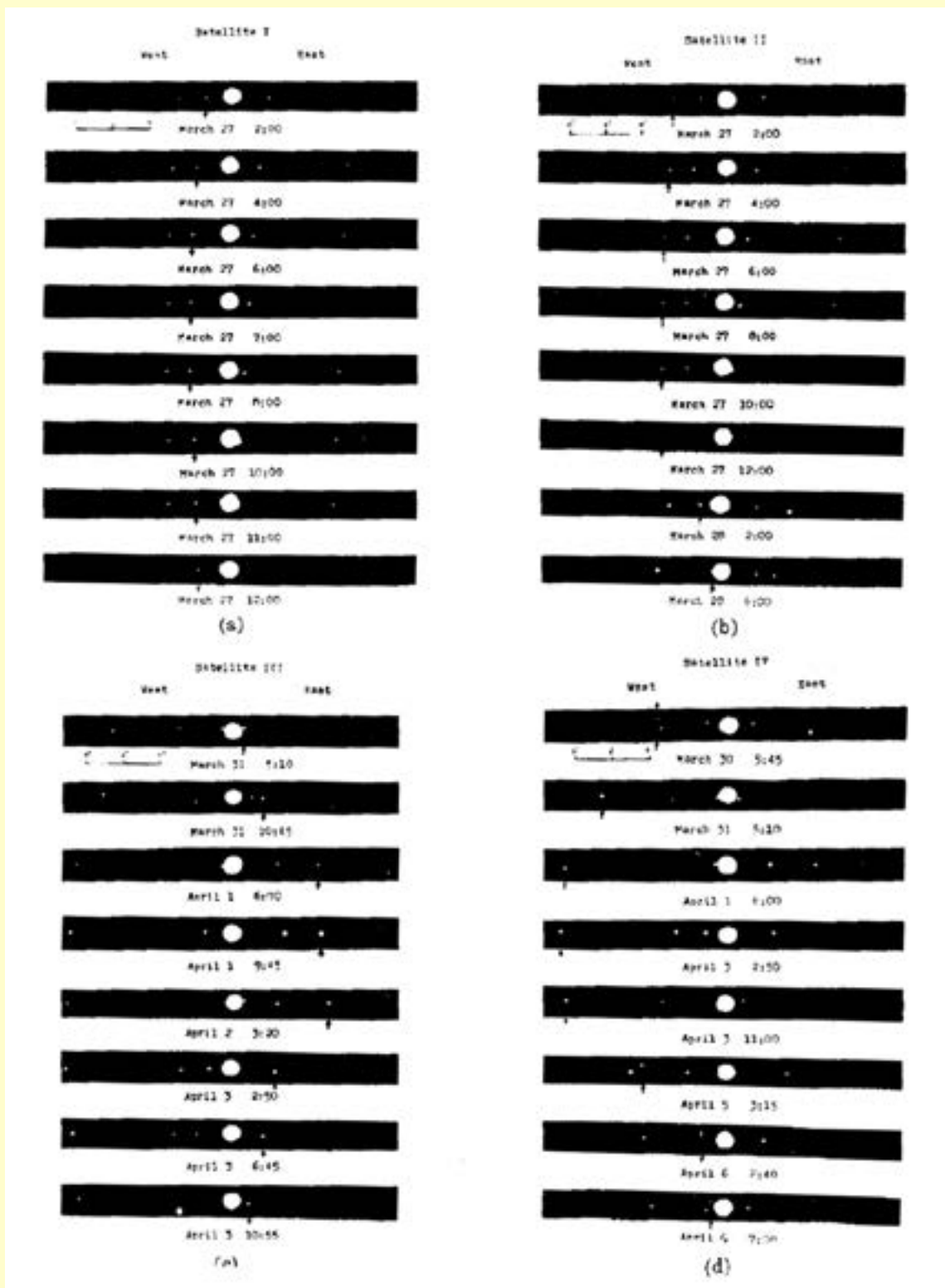
Actividad 30.- Usando un programa de planetario virtual como, por ejemplo, el Stellarium, buscar el cielo que observó Galileo Galilei desde Florencia, en enero de 1610 y ubicar la posición del planeta Júpiter en esas fechas. Como se mencionó en la Actividad 22, es necesario conocer las coordenadas sobre la superficie de la Tierra, en Florencia (latitud y longitud). Buscar la trayectoria del planeta Júpiter a través de las constelaciones que estaban presentes en esas fechas y la hora que se menciona en “El mensajero sideral”. Ahora se tiene el cielo completo observado por Galileo. ¿Cuáles otros planetas estaban en el cielo en esa época?

Actividad 31.- En el libro, Galileo menciona que sus observaciones las realizó una hora después del ocaso. ¿Cuál es el significado astronómico de ocaso? ¿En qué intervalo de tiempo realizó Galileo sus observaciones del planeta Júpiter y sus satélites?

Actividad 32.- ¿Cómo denominó Galileo a los satélites de Júpiter? ¿Cómo se les denomina actualmente?

Actividad 33.- ¿Cuáles otros datos menciona Galileo Galilei en su “El mensajero sideral”? ¿Es posible que con estos datos -más la aplicación de las leyes de Kepler, que a la fecha de publicación del libro no se conocían- es posible determinar algún dato del sistema de Júpiter, tal como su masa, el período de los satélites, etc.?

Actividad 34.- Empleando las leyes de Kepler, determinar la masa de Júpiter mediante el movimiento de sus satélites. El propósito de la actividad consiste en determinar la masa de Júpiter mediante una serie de fotografías del movimiento de los satélites galileanos en su separación angular máxima. Las fotografías fueron tomadas en el foco primario de un telescopio reflector Cassegrain entre el 26 de marzo y el 7 de abril de 1969, cuando la distancia entre la Tierra y Júpiter era aproximadamente 4,46 UA. En cada serie de ocho fotografías, el satélite pasó por su distancia angular máxima del planeta como se ve desde la Tierra. La escala está indicada al comienzo de la serie de fotografías de la página siguiente. Plantear un procedimiento para determinar la masa del planeta Júpiter. Se puede revisar un procedimiento en el “Manual de actividades de Astronomía” (2009) el que fue adaptado del artículo “An experiment for studying Kepler’s laws and planetary masses from satellite motions” de Roger B. Culver, en la revista American Journal of Physics, noviembre 1971.



Otras observaciones astronómicas de Galileo

Actividad 35.- Otro de los descubrimientos astronómicos realizado por Galileo con su telescopio fue que el planeta Venus mostraba fases como la Luna, y que brilla con luz reflejada y no propia. Esto significaba que Venus se asemejaba a la Luna en este aspecto, y también a la Tierra, ya que Galileo había demostrado con anterioridad que nuestro planeta carece de luz propia y sólo refleja la del Sol. Este es otra semejanza entre los planetas y la Tierra y un conflicto más con la antigua concepción astronómica. Mostrar que las fases de Venus, que se ilustran en la figura siguiente, tienen una explicación sobre la base de un modelo heliocéntrico y no de un modelo geocéntrico.



Actividad 36.- Otras observaciones realizadas por Galileo Galilei, y que no aparecen en "El mensajero sideral" son las observaciones de las manchas solares, ya que fueron hechas posteriormente a la publicación de este libro. ¿Cómo es posible hacer estas observaciones con instrumentos disponibles en un laboratorio de enseñanza de la Astronomía?

Conclusiones

Actividad 37.- ¿Cuáles eran las evidencias que servían de base al modelo geocéntrico del sistema solar y el universo?

Actividad 38.- ¿Cuáles fueron las conclusiones de Galileo Galilei al observar, con su telescopio, la Luna y Júpiter y sus satélites, descritas en "El mensajero sideral"?

Actividad 39.- ¿Qué observaciones de Galileo y sus contemporáneos contribuyeron a aceptar el modelo heliocéntrico y a rechazar el modelo geocéntrico?

Actividad 40.- ¿Cómo la observación de las fases de Venus y de las manchas solares permitió a Galileo Galilei rechazar el modelo geocéntrico?

Referencias

- Galileo Galilei, (1610). "El mensajero de los astros", introducción de José Babini; traducción del latín en Editorial Eudeba (1964), Colección Los Fundamentales.
- Galileo Galilei, (1610). "Noticiero sideral" Edición conmemorativa del cuarto centenario de la publicación de "Siderius Nuncius", traducida del latín de la edición de Venecia, Museo Nacional de Ciencia y Tecnología (2010). Esta edición se puede encontrar online en: http://www.muncyt.es/stfls/MUNCYT/Publicaciones/sidereus_castellano.pdf en el que aparece, como prefacio, el artículo "Galileo, observador e intérprete de los cielos", escrito por Ramón Núñez Centeno y José Manuel Sánchez Ron.
- Bernard Cohen, (1970, 3ª edición), "El nacimiento de una nueva Física". Colección Ciencia Joven, Editorial Eudeba.
- Gerald Holton y Duane H.D. Roller, (1963). "Fundamentos de la Física Moderna", Editorial Reverté.
- Espinoza, J. (2009). "Manual de actividades de Astronomía". Trabajo inédito.
- Harvard Project Physics (1975) Unity: Motion in the heavens. Editorial Holt, Rinehart and Winston.
- Culver, R. B. (1971). "An experiment for studying Kepler's laws and planetary masses from satellite motions". Revista American Journal of Physics, november 1971.
- Gingerich, Owen (2011). "Galileo, the impact of the Telescope, and the Birth of Modern Astronomy". Proceedings of the American Philosophical Society, Vol. 155, N°2, june 2011. Artículo en internet.
- Gingerich, Owen (2011). "Kepler, Galileo and the birth of modern Astronomy". The role of Astronomy in society and culture. Proceedings IAU symposium N° 260, 2009. Artículo en internet.
- Galileo Galilei. Wikipedia. Artículo en internet con la biografía y obra del científico.
- Álvarez García, J.L. (2009). "Luz y sombra de Galileo Galilei". Revista mexicana de Física 55 (2) 221-227, diciembre 2009. Artículo online.
- Biro, Susana. (200). "Admirables maravillas. Galileo y el telescopio". Revista digital universitaria vol. 10, N° 10, octubre 2009.
- Coronado, G. (2009). "El Sidereus Nuncius: Galileo y el uso científico del telescopio". Revista de Filosofía Universidad de Costa Rica. Artículo online.