

# Sistem bumi-bulan-matahari: Fase-fase dan Gerhana

**Rosa M. Ros**

Perkumpulan Astronomi Dunia, Technical University of Catalonia  
(Barcelona, Spanyol)

## Ringkasan

Kegiatan berikut ini berkaitan dengan fase-fase bulan, gerhana matahari, serta gerhana bulan. Fenomena gerhana-gerhana ini juga digunakan untuk mengukur jarak dan diameter pada sistem tata surya Bumi-Bulan-Matahari.

Kemudian, aktifitas sederhana akan memungkinkan seseorang mengukur *longitude* dan tinggi dari permukaan bulan. Asal mula gelombang pasang juga akan dipaparkan.

## Tujuan

- Untuk memahami mengapa bulan memiliki fase-fase.
- Untuk memahami penyebab terjadinya gerhana bulan.
- Untuk memahami mengapa gerhana matahari dapat terjadi.
- Untuk menentukan jarak dan diameter antara Bumi-Bulan-Matahari.
- Untuk memahami asal mula terjadinya gelombang pasang.

## Posisi relatif

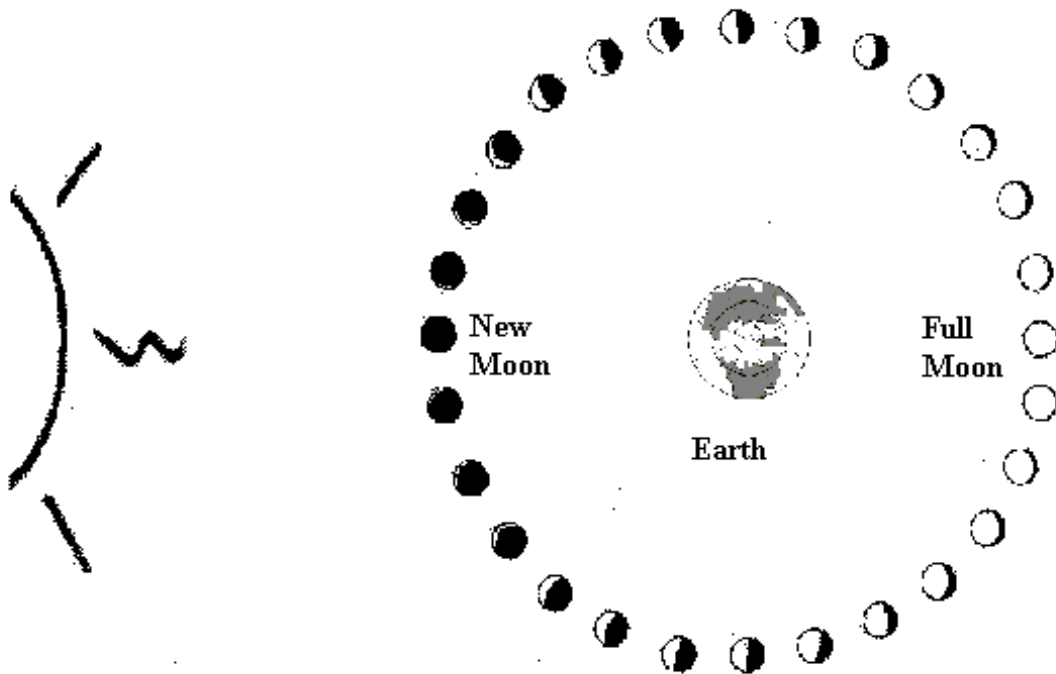
Istilah “gerhana” digunakan untuk berbagai macam fenomena. Namun secara umum, gerhana terjadi ketika suatu benda menghalangi benda lain: dalam hal ini, posisi relatif antara Bumi dan Bulan (obyek-obyek tak tembus cahaya) menjadi penyebab terhalangnya sinar matahari.

Gerhana matahari terjadi ketika Matahari terhalang oleh Bulan, saat Bulan terletak di antara Matahari dan planet kita. Gerhana semacam ini selalu terjadi selama fase Bulan baru (Gambar 1).

Gerhana bulan terjadi ketika Bulan melintasi bayangan dari Bumi. Yaitu pada saat Bulan berada di sisi yang berlawanan dari posisi Matahari, sehingga gerhana bulan selalu terjadi selama fase bulan baru (Gambar 1).

Bumi dan Matahari bergerak sepanjang orbit elips, namun pada bidang yang berbeda. Orbit Bulan memiliki sudut inklinasi 5 derajat terhadap ekliptik (bidang orbit Bumi mengelilingi matahari). Kedua bidang ini bersilangan pada sebuah garis yang disebut Garis Simpul.

Gerhana terjadi ketika Bulan berada dekat dengan Garis Simpul. Jika kedua bidang ini berhimpit, gerhana akan terjadi jauh lebih sering dari nol hingga tiga kali per tahun.



Gambar 1: Gerhana Matahari terjadi saat Bulan terletak di antara Matahari dan Bumi (Bulan baru). Gerhana Bulan terjadi saat Bulan melintasi bayangan kerucut dari Bumi (yaitu, Bumi terletak di antara Matahari dan Bulan purnama).

## Model topeng

### Model Wajah Tersembunyi

Bulan memiliki dua gerakan: rotasi dan terjemahan yang memiliki durasi kurang lebih sama, yaitu sekitar empat minggu. Ini adalah alasan bahwa dari Bumi kita dapat selalu melihat superfice setengah bulan yang sama.

Kita akan melihat situasi ini dengan model yang sederhana. Kita mulai dengan menempatkan sukarelawan yang memainkan peran Bumi dan hanya satu sukarelawan "Bulan" dengan topeng putih. Kami menempatkan sukarelawan "Bulan" di depan Bumi, memandangi ke Bumi, sebelum mulai bergerak. Jadi jika Bulan bergerak 90 derajat dalam orbitnya mengelilingi Bumi, ia juga harus berputar 90 derajat dengan sendirinya dan karenanya akan terus mencari di depan Bumi, dan seterusnya. Kami akan bertanya kepada sukarelawan Bumi apakah ia dapat melihat wajah Bulan yang sama atau dapat melihat bagian yang berbeda. Kami mengulangi situasi yang sama empat kali, selalu bergerak 90°. Jelas bahwa setiap 90°, artinya setiap minggu, Bumi selalu dapat melihat bagian yang sama dari bulan, bagian belakang kepala voluteer tidak pernah terlihat.

## Model Fase Bulan

Untuk menjelaskan fase Bulan, yang terbaik adalah menggunakan model dengan senter atau dengan proyektor (yang akan mewakili Matahari) dan minimum lima sukarelawan. Salah satunya akan terletak di pusat yang mewakili Bumi dan yang lain akan menempatkan diri di sekitar "Bumi" pada jarak yang sama untuk mensimulasikan berbagai fase Bulan. Untuk membuatnya lebih menarik, sebaiknya setiap "Bulan" mengenakan topeng putih yang meniru warna bulan. Mereka semua harus menghadapi "Bumi" karena kita tahu bahwa Bulan selalu menawarkan sisi yang sama dengan Bumi (gambar 2). Kami akan menempatkan senter di atas dan di belakang salah satu sukarelawan ini, dan mulai memvisualisasikan fase-fase (seperti yang terlihat dari Bumi, yang ada di tengah). Sangat mudah untuk menemukan bahwa kadang-kadang topeng benar-benar ringan, kadang-kadang hanya seperempat dan kadang-kadang tidak sama sekali (karena senter "Sun" ada di belakang "Bulan" dan cahayanya menyilaukan pemandangan itu). Semakin banyak jumlah relawan "Bulan", semakin banyak fase yang bisa dilihat.

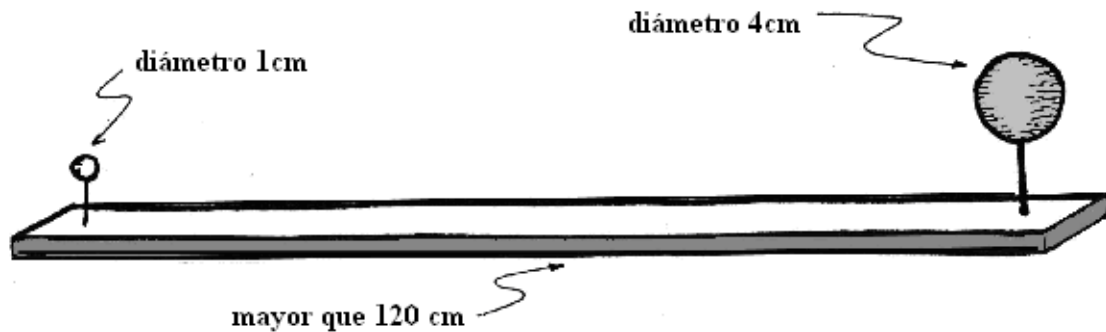


Gambar 2: Model Bumi-Bulan dengan sukarelawan (untuk menjelaskan fase dan wajah Bulan yang terlihat).

## Model Bumi Bulan

Tidak mudah untuk memahami dengan jelas geometri yang mendasari fase-fase Bumi, serta gerhana matahari dan bulan. Oleh sebab itu, model sederhana diajukan untuk memfasilitasi pemahaman tentang seluruh proses ini.

Tancapkan dua paku (sekitar 3 atau 4 cm) pada papan kayu sepanjang 125 cm. Paku-paku ini harus berjarak 120 cm. Dua bola yang masing-masing berdiameter 4 cm dan 1 cm diletakkan pada dua paku tersebut (Gambar 3).



Gambar3: Model Bumi dan Bulan.

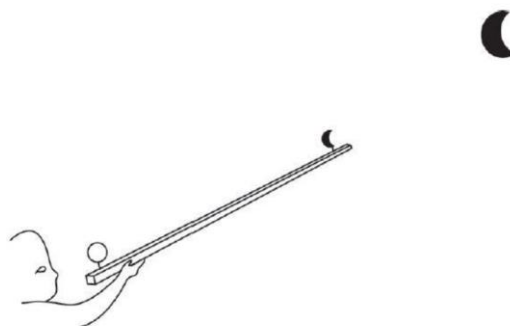
Penting untuk memperhatikan ukuran relatif berikut sebab ukuran tersebut mewakili model skala sistem Bumi-Bulan.

Diameter Bumi	12.800 km	4 cm
Diameter Bulan	3.500 km	1 cm
Jarak Bumi-Bulan	384.000 km	120 cm
Diameter Matahari	1.400.000 km	440 cm = 4,4 m
Jarak Bumi-Matahari	150.000.000 km	4.700 cm = 0.47 km

Tabel 1: Jarak-jarak dan diameter dari sistem Bumi-Bulan-Matahari.

## Reproduksi Fase-fase Bulan

Di suatu tempat dengan cuaca cerah, ketika Bulan terlihat di siang hari, arahkan model ini ke Bulan yang terlihat tersebut sehingga bola kecil mengarah pada Bulan (Gambar 4). Pengamat berada di belakang bola yang mewakili Bumi. Bola yang merepresentasikan Bulan akan terlihat sebesar Bulan yang sesungguhnya dan dengan fase yang juga sama. Dengan mengubah arah model, fase Bulan yang berbeda akan terbentuk sebab pencahayaan oleh sinar Matahari bervariasi. Bola Bulan perlu dipindah-pindahkan untuk mendapatkan keseluruhan fase-fasenya.



Gambar 4: Menggunakan model di teras sekolah.

Aktivitas ini lebih baik dilakukan di luar ruangan, tetapi jika langit berawan, dapat pula dilakukan di dalam ruangan dengan alat proyektor sebagai pengganti sumber cahaya.

### Reproduksi Gerhana Bulan

Model ini dibuat sedemikian hingga bola kecil Bumi menghadap Matahari (Lebih baik menggunakan proyektor untuk menghindari menatap matahari secara langsung) dan bayangan Bumi menutupi Bulan (Gambar 5a dan 5b) sebab bola ini lebih besar daripada bola Bulan. Ini adalah cara yang mudah untuk membentuk kembali gerhana bulan.



Gambar 5a dan 5b: Simulasi gerhana Bulan.



Gambar 6: Komposisi fotografi dari gerhana Bulan. Satelit kita melintasi bayangan kerucut dari Bumi.

## Reproduksi gerhana Matahari

Model diletakkan sedemikian hingga bola Bulan menghadap Matahari (lebih baik menggunakan proyektor) dan bayangan Bulan harus diproyeksikan pada bola Bumi. Dengan melakukan ini, sebuah gerhana matahari akan terbentuk kembali dan sebuah titik kecil akan terlihat pada suatu bagian dari Bumi (Gambar 7a dan 7b).



Gambar 7a dan 7b: Simulasi gerhana matahari

Tidak mudah untuk menghasilkan situasi ini karena sudut inklinasi dari model harus diatur dengan baik (itu sebabnya mengapa peristiwa gerhana matahari lebih sedikit daripada gerhana bulan).



Gambar 8: Detai gambar sebelum Gambar 9



Gambar 9: Foto gerhana matahari yang diambil dari ISS pada tahun 1999 dari atas suatu bagian dari permukaan Bumi.

### *Observasi-observasi*

- Gerhana bulan hanya dapat terjadi pada saat bulan purnama dan gerhana matahari hanya dapat terjadi pada saat Bulan baru.
- Gerhana matahari hanya dapat dilihat pada sebagian kecil daerah di permukaan Bumi. Suatu hal yang jarang terjadi untuk Bumi dan Bulan yang berada cukup selaras untuk
- Membentuk suatu gerhana, sehingga hal ini tidak terjadi setiap Bulan baru maupun Bulan purnama.

## Model Matahari-Bulan

Untuk memvisualisasikan sistem Matahari-Bumi-Bulan yang menitikberatkan khusus pada jarak, kita perhatikan sebuah model baru yang mempertimbangkan sudut pandang kebumihan dari Matahari dan Bulan. Pada kasus ini kita akan mengajak para siswa dan siswi untuk menggambar dan mengecat Matahari yang besar, berdiameter 220 cm (diameter lebih dari 2 meter) pada selembar kain dan kita akan tunjukkan pada mereka bahwa mereka dapat menghalangi pandangan terhadap matahari ini dengan sebuah Bulan kecil berdiameter 0.6 cm (diameter kurang dari 1 cm).

Akan sangat membantu jika bola Bulan ini digantikan oleh sebuah lubang berukuran sama pada suatu papan kayu untuk memastikan posisi Bulan dan pengamat.

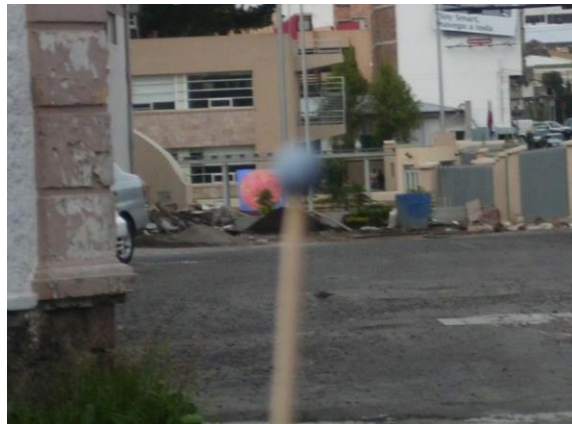
Pada model ini, Matahari diletakkan persis 235 meter dari Bulan, dan pengamat berada 60 cm dari Bulan. Para siswa akan merasa terkejut saat mereka dapat menghalangi pandangan mereka terhadap matahari yang besar tersebut hanya dengan sebuah bulan yang amat kecil. Perbandingan 400 kali lipat terhadap ukuran dan jarak adalah hal yang tidak mudah untuk dibayangkan, sehingga baik untuk ditunjukkan pada mereka dengan contoh seperti ini agar mereka paham mengenai skala jarak ukuran sesungguhnya di alam semesta. Seluruh



latihan dan kegiatan ini membantu mereka (dan mungkin kita) untuk memahami hubungan spasial antar benda angkasa pada saat terjadinya gerhana matahari. Metode ini jauh lebih baik dibandingkan dengan membaca sederetan angka pada buku.

Diameter Bumi	12.800 km	2,1 cm
Diameter Bulan	3.500 km	0,6 cm
Jarak Bumi-Bulan	384.000 km	60 cm
Diameter Matahari	1.400.000 km	220 cm
Jarak Bumi-Matahari	150.000.000 km	235 cm

Tabel 2: Jarak-jarak dan diameter dari sistem Bumi-Bulan-Matahari.



Gambar 10: Model Matahari. Gambar 11: Mengamati Matahari dan Bulan dalam model.

## Mengukur diameter Matahari

Kita dapat mengukur diameter Matahari dengan cara yang berbeda-beda. Di sini kita peragakan sebuah metode sederhana menggunakan kamera lubang jarum. Kita dapat melakukannya dengan sebuah kotak sepatu atau tabung yang terbuat dari karton yang berfungsi sebagai sumbu untuk aluminium foil.

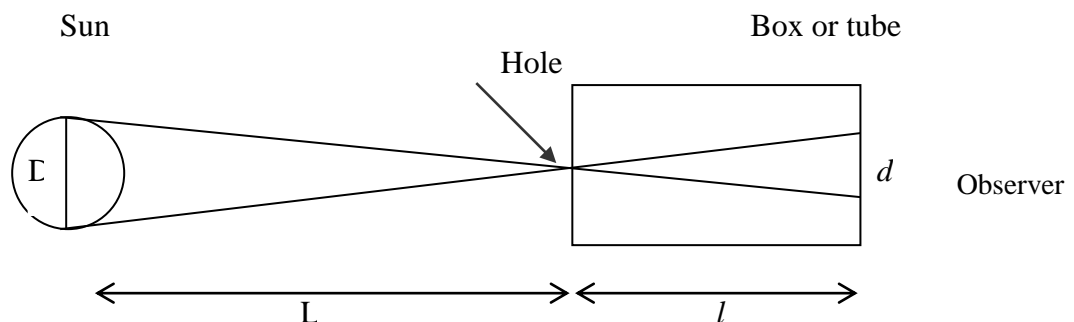
1. Tutup salah satu ujung tabung dengan kertas minyak yang sedikit transparan, dan ujung lainnya dengan aluminium foil dimana akan dibuat sebuah lubang kecil menggunakan jarum (Gambar 12 dan 13).
2. Kita harus mengarahkan ujung yang berlubang ke Matahari dan melihatnya melalui ujung tabung yang tertutup kertas minyak. Kita ukur diameter,  $d$ , dari bayangan matahari yang tercetak pada kertas minyak tersebut.





Fig. 12 and 13: Model of the pinhole camera.

Untuk menghitung diameter Matahari, perhatikan Gambar 14, dimana kita tunjukkan dua buah segitiga yang sebangun.



Gambar 14: Geometri yang mendasari perhitungan.

Disini kita dapat menerapkan hubungan:

$$\frac{D}{L} = \frac{d}{l}$$

Dan kita juga dapat menemukan formula diameter Matahari, D:

$$D = \frac{d \cdot L}{l}$$

Dengan mengetahui bahwa jarak dari Matahari ke Bumi adalah =150.000.000 km, panjang tabung meter, dan diameter bayangan matahari pada kertas minyak adalah , kita dapat menghitung diameter Matahari, . (Ingat bahwa diameter matahari adalah 1.392.000 km)

Dengan cara yang sama kita dapat mengukur diameter bulan saat Purnama, dengan mengetahui bahwa jarak bulan adalah 400.000 km dari Bumi.

## Sizes and Distances in the Earth-Moon-Sun system

Aristarchus (310 to 230 BC) deduced the proportion between the distances and radii of the Earth-Moon-Sun system. He calculated the radius of the Sun and Moon, the distance from the Earth to the Sun and the distance from the Earth to the Moon in relation to the radius of the Earth. Some years afterwards, Eratosthenes (280-192 BC) determined the radius of our planet and it was possible to calculate all the distances and radii of the Earth-Moon-Sun system.

The proposal of this activity is to repeat both experiments as a student activity. The idea is to repeat the mathematical process and, as closely as possible, the observations designed by Aristarchus and Eratosthenes.

### Aristarchus's experiment again

#### *Relationship between the Earth-Moon and Earth-Sun distances*

Aristarchus determined that the angle between the Moon-Sun line and the Earth-Sun line when the moon is in quarter phase is  $\alpha=87^\circ$  (figure 15).

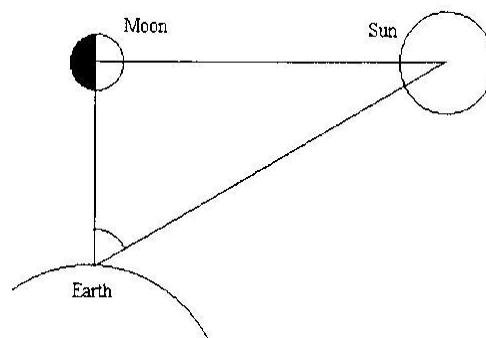


Fig. 15: Relative position of the Moon in quarter phase.

Nowadays we know that he was slightly wrong, possibly because it was very difficult to determine the precise timing of the quarter moon. In fact this angle is  $\alpha = 89^\circ 51'$ , but the process used by Aristarchus is perfectly correct. In figure 15, if we use the definition of secant, we can deduce that

$$\cos \alpha = ES/EM$$

where ES is the distance from the Earth to the Sun, and EM is the distance from the Earth to the moon. Then approximately,

$$ES = 400 EM$$

(although Aristarchus deduced  $ES = 19 EM$ ).

### *Relationship between the radius of the Moon and the Sun*

The relationship between the diameter of the Moon and the Sun should be similar to the formula previously obtained, because from the Earth we observe both diameters as  $0.5^\circ$ . So both ratios verify

$$R_S = 400 R_M$$

### *Relationship between the distance from the Earth to the Moon and the lunar radius or between the distance from the Earth to the Sun and the solar radius*

Aristarchus supposes the orbit of the moon as a circle around the Earth. Since the observed diameter of the Moon is  $0.5$  degrees, the circular path ( $360^\circ$ ) of the Moon around the Earth would be 720 times the diameter. The length of this path is  $2\pi$  times the Earth-Moon distance, i.e.  $2 R_M 720 = 2 \pi EM$ . Solving, we find

$$EM = (720 R_M)/\pi$$

Using similar reasoning, we find

$$ES = (720 R_S)/\pi$$

This relationship is between the distances to the Earth, the lunar radius, the solar radius and the terrestrial radius.

### *Relationship between the distances from the Earth to the Sun and to the Moon, the lunar radius, the solar radius and the terrestrial radius.*

During a lunar eclipse, Aristarchus observed that the time required for the Moon to cross the Earth's shadow cone was twice the time required for the Moon's surface to be covered (figures 16a and 16b). Therefore, he concluded that the shadow of the Earth's diameter was twice the diameter of the Moon, that is, the ratio of both diameters or radius was 2:1. Today, it is known that this value is 2.6:1.

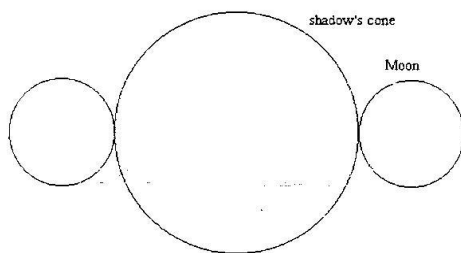


Fig. 16a: Measuring the cone of shadow.

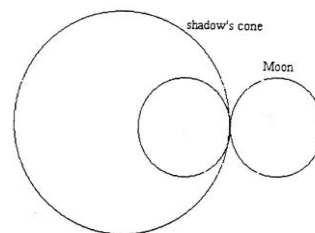


Fig.16b: Measuring the diameter of the Moon.

### *Final Summary*

Taken into account the last results, (figure 17)

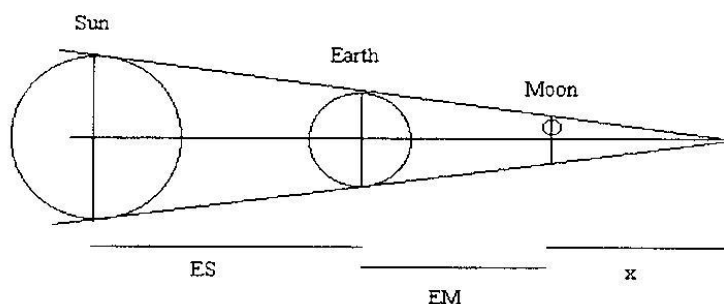


Fig. 17: Shadow cone and relative positions of the Earth-Moon-Sun system

we deduce the following relationship:

$$x / (2.6 R_M) = (x+EM) / R_E = (x+EM+ES) / R_S$$

where  $x$  is an extra variable. Introducing into this expression the relationships  $ES = 400 EM$  and  $R_S = 400 R_M$ , we can delete  $x$  and after simplifying we obtain,

$$R_M = (401/1440) R_E$$

This allows us to express all the sizes mentioned previously as a function of the Earth's radius, so

$$R_S = (2005 / 18) R_E, \quad ES = (80200 / \pi) R_E, \quad EM = (401 / (2\pi)) R_E$$

where we only have to substitute the radius of our planet to obtain all the distances and radii of the Earth-Moon-Sun system.

### **Measurements with students**

It's a good idea to repeat the measurements made by Aristarchus with students. In particular, we first have to calculate the angle between the Sun and the quarter moon. To make this measurement it is only necessary to have a theodolite and know the exact timing of the quarter moon.

So we will try to verify if this angle measures  $\alpha = 87^\circ$  or  $\alpha = 89^\circ 51'$  (although this precision is very difficult to obtain).

Secondly, during a lunar eclipse, using a stopwatch, it is possible to calculate the relationship between the following times: "the first and last contact of the Moon with the Earth's shadow cone", i.e., measure the diameter of the Earth's shadow cone (figure 17a) and "the time necessary to cover the lunar surface," that is a measure of the diameter of the moon (figure 20b). Finally, it is possible to verify if the ratio between both is 2:1 or is 2.6:1 or it is different.

The most important objective of this activity is not the result obtained for each radius or distance. The most important thing is to point out to students that if they use their knowledge and intelligence, they can get interesting results with few resources. In this case, the ingenuity

of Aristarchus was very important to get some idea about the size of the Earth-Moon-Sun system.

It is also a good idea to measure with the students the radius of the Earth following the process used by Eratosthenes. Although the experiment of Eratosthenes is well known, we present here a short version of it in order to complete the previous experience.

### *Eratosthenes' experiment, again*

Eratosthenes was the director of the Alexandrian Library. In one of the texts of the library, he read that in the city of Syena (now Aswan) the day of the summer solstice, the solar noon, the Sun was reflected in the bottom of a well, or what it is the same the stick did not produce shadow. He noted that the same day, at the same time, a stick produced no shadow in Alexandria. From this, he deduced that the surface of the Earth could not be flat, but it should be a sphere (figures 18a and 18b)

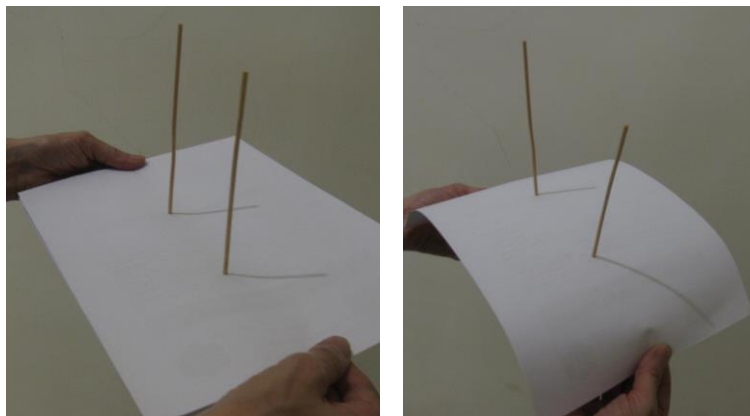


Fig. 18a and 18b: In the flat surface the two sticks produce the same shadow, but when the surface is curved shadows are different.

Consider two stakes placed perpendicular to the ground, in two cities on the Earth's surface on the same meridian. The sticks should be pointing toward the center of the Earth. It is usually better to use a plumb where we mark a point of the wire to measure lengths. We should measure the length of the plumb from the ground to the mark, and the length of its shadow from the base of the plumb to the shadow of the mark.

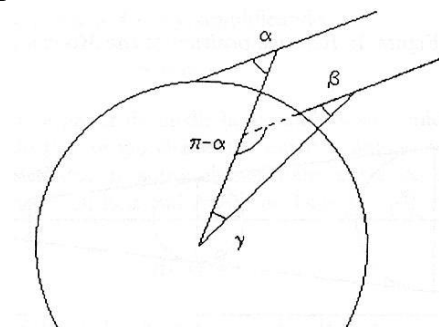


Fig. 19: Placement of plumbs and angles in the Eratosthenes experiment.

We assume that the solar rays are parallel. The solar rays produce two shadows, one for each plumb. We measure the lengths of the plumb and its shadow and using the tangent definition, we obtain the angles  $\alpha$  and  $\beta$  (figure 19). The central angle  $\gamma$  can be calculated imposing that the sum of the three angles of the triangle is equal to  $\pi$  radians. Then  $\pi = \alpha + \beta + \gamma$  and simplifying

$$\gamma = \alpha - \beta$$

where  $\alpha$  and  $\beta$  have been obtained by the plumb and its shadow.

Finally establishing a proportionality between the angle  $\gamma$ , the length of its arc  $d$  (determined by the distance above the meridian between the two cities), and  $2\pi$  radians of the meridian circle and its length  $2\pi R_E$ , we find:

$$\gamma/d = 2\pi/(2\pi R_E)$$

Then we deduce that:

$$R_E = d/\gamma$$

where  $\gamma$  has been obtained by the observation and  $d$  is the distance in km between both cities. We can find  $d$  from a good map. .

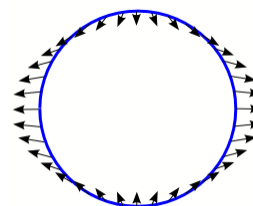
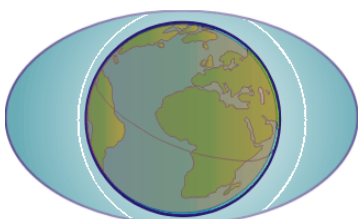
In the Eratosthenes situation, the angle  $\beta$  was zero and  $\gamma = \alpha$ , and the distance between Alexandria and Syena route, he can obtain a good result of the terrestrial radius.

It should also be mentioned that the purpose of this activity is not the accuracy of the results. Instead, we want students to discover that thinking and using all of the possibilities you can imagine can produce surprising results.

## Tides

Gelombang pasang adalah naik dan turunnya permukaan air laut akibat efek kombinasi dari rotasi Bumi dan gaya gravitasi yang dihasilkan oleh Bulan dan Matahari. Bentuk dasar lautan dan pantai pada zona pesisir juga memengaruhi gelombang pasang, namun pengaruhnya kecil. Gelombang pasang terbentuk dengan periode sekitar 12 ½ jam.

Gelombang pasang umumnya disebabkan oleh gaya tarik menarik antara Bulan dan Bumi. Tingginya gelombang pasang terjadi pada sisi Bumi yang menghadap bulan dan membelakangi bulan (Gambar 20). Gelombang pasang yang rendah terjadi pada titik-titik pertengahan.



Gambar 20: Efek gelombang pasang. Gambar 21: Efek pada air yang berbeda percepatan relatifnya terhadap Bumi pada area yang berbeda di lautan.



Fenomena gelombang pasang telah diketahui sejak jaman purba, namun penjelannya baru ada setelah adanya penemuan hukum Newton tentang Gravitasi Universal (1687),

$$F_g = G \frac{m_T \times m_L}{d^2}$$

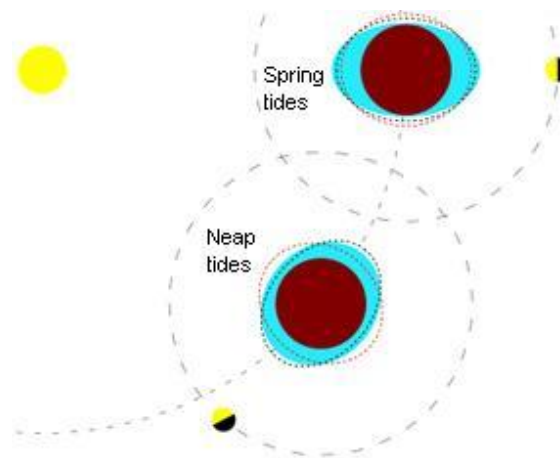
Bulan memancarkan gaya gravitasi pada Bumi. Ketika ada gaya gravitasi, ada pula percepatan gravitasi menurut hukum ke dua Newton ( $F = m a$ ). Sehingga percepatan pada Bumi yang disebabkan oleh bulan adalah

$$a_g = G \frac{m_L}{d^2}$$

Dimana  $m_L$  adalah massa bulan dan  $d$  adalah jarak dari bulan ke suatu titik pada Bumi.

Bagian yang padat di Bumi ini bertekstur keras dan, oleh karenanya, kita dapat perhatikan seluruh percepatan pada bagian padat ini yang dikenakan pada pusat Bumi. Namun, air bersifat cair dan mengalirkan percepatan tertentu yang bergantung pada jarak terhadap bulan. Jadi percepatan pada sisi yang terdekat dengan bulan lebih besar dari sisi yang paling jauh. Akibatnya, permukaan lautan akan memunculkan elipsoida (Gambar 21).

Elipsoida tersebut selalu meregang ke arah Bulan (Gambar 19) dan bumi akan berputar ke bawah. Sehingga setiap titik di Bumi akan mengalami pasang naik yang diikuti dengan pasang turun sebanyak dua kali per hari. Tentunya periode antar gelombang pasang sedikit lebih banyak dari 12 jam dan alasannya adalah karena bulan berotasi mengelilingi Bumi dengan periode sinus sekitar 29,5 hari. Artinya, akan berjalan sejauh  $360^\circ$  dalam 29,5 hari, sehingga bulan akan bergerak di langit hampir mencapai  $12,2^\circ$  setiap hari atau  $6,6^\circ$  setiap 12 jam. Karena tiap jam di Bumi berotasi sekitar  $15^\circ$ , maka  $6,6^\circ$  ekuivalen dengan 24 menit, artinya tiap gelombang pasang bersiklus 12 jam dan 24 menit. Karena waktu tempuh antara gelombang pasang tinggi dan gelombang pasang rendah kurang lebih setengah dari periode ini, maka waktu yang dibutuhkan untuk gelombang pasang tinggi berubah menjadi gelombang pasang rendah, dan sebaliknya, adalah sekitar 6 jam 12 menit.



Gambar 22: Gelombang pasang naik dan pasang surut.

Karena kedekatannya, pengaruh Bulan pada gelombang pasang adalah yang terkuat. Namun Matahari juga memiliki dampak pada gelombang pasang. Ketika Bulan dan Matahari berada pada satu kesinambungan (Bulan baru) atau kebalikannya (Bulan purnama), pasang naik terjadi. Ketika Bulan dan Matahari memancarkan gaya gravitasi yang saling tegak lurus (Perempat Pertama dan Perempat Terakhir), Bumi akan mengalami pasang surut (Gambar 22).

## Bibliography

- Alonso, M., Finn, E. *Física – un curso universitario*. Volume I. Ed. Edgard Blucher, 1972
- Broman, L., Estalella, R., Ros, R.M., *Experimentos de Astronomía. 27 pasos hacia el Universo*, Editorial Alambra, Madrid, 1988.
- Broman, L., Estalella, R., Ros, R.M., *Experimentos de Astronomía*, Editorial Alambra, Mexico, 1997.
- Fucili, L., García, B., Casali, G., “A scale model to study solar eclipses”, *Proceedings of 3rd EAAE Summer School*, 107, 109, Barcelona, 1999
- Lanciano, N., *Strumenti per i giardino del cielo*, Edizioni junior, Spaggiari Eds, Roma, 2016
- Reddy, M. P. M., Affholder, M. *Descriptive physical oceanography: State of the Art*. Taylor and Francis. 249, 2001.
- Ros, R.M., Lunar eclipses: Viewing and Calculating Activities, *Proceedings of 9<sup>th</sup> EAAE International Summer School*, 135, 149, Barcelona, 2005.
- Ros, R.M., Viñuales, E., Aristarchos’ Proportions, *Proceedings of 3<sup>rd</sup> EAAE International Summer School*, 55, 64, Barcelona, 1999.
- Ros, R.M., Viñuales, E., El mundo a través de los astrónomos alejandrinos, *Astronomía, Astrofotografía y Astronáutica*, 63, 21. Lérida, 1993.