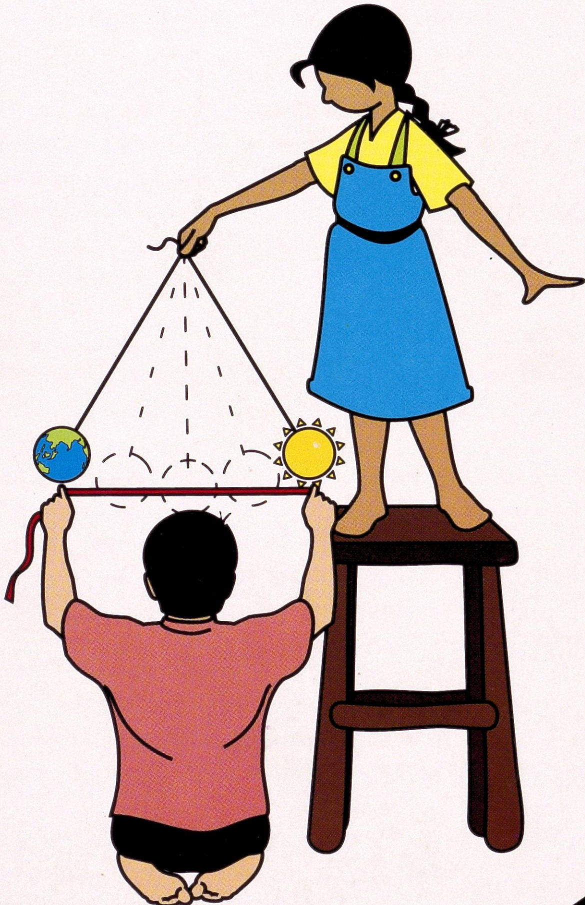
# MEASURING THE UNIVERSE WITH A STRING AND A STONE

## Transit of Venus Experiment 2004

Dr. Vivek Monteiro



## THE SUN IN YOUR HANDS.

### MAKING A LOW COST HIGH POWERED SOLAR OBSERVATORY

## The Right to Know.

**'Copy right'** : This concept is becoming increasingly obsolete. Like the sun and fresh air, knowledge can be free. Instead, today access to knowledge is sought to be restricted, so that knowledge can be controlled, censored, bought and sold for the profit of those who own and control knowledge.

Denial of access to knowledge is an old tradition in every country. Every exploitative system has found it necessary to deny the common people access to quality knowledge. So with modern capitalism. In our country, denial of access to knowledge as well as the struggle to gain access for all are both ancient traditions. **Shambuka and Eklavya** were heroes and victims of that tradition.

Access to quality knowledge for all is a real possibility in today's world. But the obstacles which come in the way of achieving this possibility must be removed for that to happen. The knowledge monopolies must be systematically broken and eliminated. This is a political task- which is why the science movement cannot shy away from political issues like the cost, content and quality of school education, declining state support for quality universal education, new patent and copyright laws which are modern forms of knowledge denial. This is a challenge for all those who are working towards mass science.

Instead of copyright, what we assert is ' **THE RIGHT TO KNOW** ': All users/readers are hereby invited to distribute, copy, modify, improve and disseminate as widely as possible the contents of this booklet. No further payment is necessary, other than what you have already paid for this booklet.

We would however appreciate an acknowledgment.

## Introduction

On June 8, 2004, the transit of Venus (TOV) will be visible from most parts of the world. The entire transit will be visible from India. Occurring after 121 years, there is nobody alive today who has witnessed a TOV. None occurred in the twentieth century.

In the history of science, the TOV occupies an important place because it was the first time in human history when the astronomical unit (AU), the distance of the Sun from Earth, was measured with reasonable accuracy. Measuring the astronomical unit was the missing link in the edifice of Newton's Solar System. This was first achieved in 1761. The distance of the Sun from Earth was something that Newton and Galileo did not know.

That TOV can be used to measure the AU was proposed in a paper by Edmund Halley. Halley could not implement his proposal, because no TOV occurred during his lifetime. Halley's method involves some delicate measurements and fairly arduous spherical trigonometrical calculations.

It is well known that in 1639 Jeremiah Horrocks was the first to observe a transit of Venus. What is not so well known is that he also attempted to measure the AU during that experiment using Venus as a gauge. For this he had to make a simplifying assumption about the relative sizes of Earth and Venus. He made the wrong assumption - that both Earth and Venus subtend the same angle at the Sun, and ended with a measure for the AU which was about 40% too small.

With another, equally plausible, but different assumption, however, the measurement of the AU becomes so simple that any eighth standard school student can do it. This booklet tells you how this can be done by anyone. This gives rise to the possibility of a mass scientific experiment on June 8th 2004, involving millions of school students all over the world. In this booklet, the series of activities for this mass scientific experiment is outlined in a form that can be used by any school teacher or high school student.

## Measuring the Universe with a String and a Stone.

In the third century BC a Greek scientist Eratosthenes first measured the size of the Earth. This was undoubtedly one of the ten greatest scientific experiments of entire history. However, it appears that Eratosthenes did not discover the method he used. It was discovered two hundred years earlier by a man named Anaxagorus, who was trying something else, something bigger, something far more ambitious.

Anaxagorus lived at a time when the Greeks were beginning to systematize geometry. As everybody knows, geometry arose from measuring land.

Anaxagorus had the crazy idea of putting together geometry and astronomy to measure the universe. He wanted to obtain both the distance of the Sun from Earth, and its size. He got an answer of about 6500 kilometers for the Sun's distance, and about 60 kilometers for the size of the Sun. So sure was he of his calculations that he was willing to pay the heavy personal price of banishment for standing by his predictions.

Both his answers were wrong, of course, though there was no error in his calculations. The only mistake was in one of his assumptions. Anaxagorus assumed the world was flat. Though he was wrong, he had obtained the right answer to a different question - the question answered by Eratosthenes two hundred years later - "How big is the Earth"?

Eratosthenes put in the right assumption - that the Earth was a sphere, and deduced that 6500 kilometers was not the distance of the Sun, but the radius of the Earth.

How far is the Sun ?

This question remained a mystery for thousands of years till the 18th century and beat the best minds. Even the great Galileo and Newton did not know the answer to this basic question. But Anaxagorus was right in one important point. He had discovered that the Sun is approximately 110 times as far as it is big. He may have been wrong, but what he had done was among the greatest of breakthroughs in science.

**An Extraordinary Possibility.**

Nobody can taste science merely by reading books. The only way to taste science is to do it. The thrill of discovery is even sweeter than the joy of doing. **The year 2004 offers us an extraordinary possibility** : Every child in school who knows eighth standard mathematics will be able to do and understand for himself / herself two of the ten greatest scientific experiments of human history to answer the following questions.

- **How big is the Earth ?**
- **How far is the Sun ?**
- **How big is the Sun?**

To answer the first question, we will have to observe the beautiful sight of the Sun setting into the ocean on a clear day at a beach on the west coast of India. To answer the second and third question, we will have to observe the Sun on a very special day : the **8th of June 2004.** On that day will occur the extremely rare ***Transit of Venus***.

Between now and June 8, 2004 we will have to do a few more simple experiments. To do these great experiments in science we will not need any fancy expensive apparatus. We will need a string and a stone, a pocket mirror and a watch. But even if we don't have a watch it doesn't really matter. We can make one with a string and a stone.

*"Simplicity is the Essence of Generality"*

-M.K. Gandhi

## About this booklet.

This booklet is in two parts. In part A we learn how to construct *a low cost / high magnification solar observatory to observe the transit of Venus.* In part B we use the TOV to *measure the distance of the Sun from Earth.* And we will have to learn a little mathematics as follows:

1. What is an angle?
   How can we measure angles with a string and stone?

2. What is a ratio of two numbers?

3. The sum of the angles of a triangle is always the same.

4. Similar triangles and their properties.

5. How to deal with large numbers?

6. The importance of approximation.

7. Pythagorus theorem.

We measure the universe by measuring angles, lengths and time intervals with the string and the stone. That's all. That's how simple it is.

## Contents.

# A

## SUN IN YOUR HANDS.

## HOW TO BUILD YOUR OWN SOLAR OBSERVATORY

Astronomical observatories are built to observe and study the stars and galaxies in the universe. To study the stars and galaxies we need to use telescopes in order to gather and concentrate the faint light of these stars. This is because the stars are so distant from us.

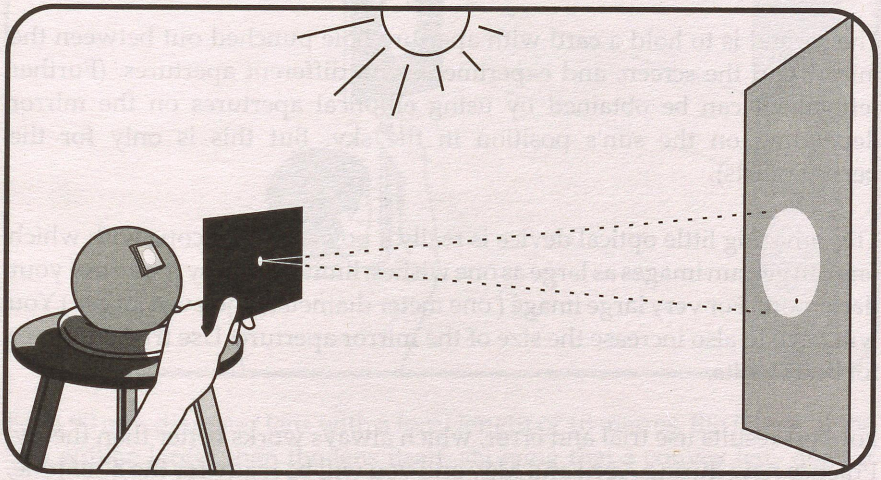
The Sun is our nearest star. To study the Sun we do not need to gather and concentrate its light. On the contrary, we need to dilute the intensity of it's light before we can comfortably observe it. We can build a high power solar observatory which will give us images of the Sun with only a pocket mirror. With some or all of the materials in the following list you can make your own Solar observatory to image the Sun and observe the Transit of Venus..

- Ball and Mirror Solar Projector
- Pinhole Projector - Sun Card
- Very Long Focal Convex Lens Projector
- Simple Telescope Projector
- Solar Filter

## A.1. Imaging the Sun with a ball and mirror projector

This is by far the simplest method to project the Sun's image, which works because the sunlight intensity is so strong. This experiment can be done in any room which has a window or door opening outside, and which can be sufficiently darkened by putting dark cloth over the places from where light enters the room. Complete darkness is not necessary. Just how much darkness is needed you can discover for yourself by trial and error. However, the darker the room the better the results.

You can make a powerful sun telescope at very low cost with a plastic ball and mirror. The ball provides a sensitive but steady mount. As in any good telescope the mount is as important as the optics. The optics is provided by the pocket mirror, If you don't have a hollow plastic ball, a watermelon can also provide a good mount.



Make a small hole in the plastic ball and fill the hollow with sand as fully as possible. Seal the hole with tape.

Now cover the mirror with an opaque paper screen except for a circular disc of diameter 2 cm at its center. Your optics is ready. Fix the mirror on the ball with adhesive tape.

A cylindrical ring forms the base for the ball and mirror. The ball can be set at any angle in its base. The sand inside adds to its weight and makes it stable. Your solar telescope is now ready for use. (see coloured **plate 1**.)

Place the ball and mirror on a stool outside the room in the sunshine. Adjust the angle of the mirror so that it projects the sun into the darkroom on a white screen . Increase the distance of the mirror from the screen to around 30-40 metres. At this distance you will get a nice big image of the sun around 35 cm in diameter. (see coloured **plates 2 & 3**.)

Believe it or not, but with this simple projector you can actually see sunspots on the sun. There are two ways to improve the resolution of the image. The first is to adjust the distance between the projector and the screen till you get the sharpest image of the sunspots.

The second is to hold a card with aperture hole punched out between the mirror and the screen, and experiment with different apertures. (Further refinement can be obtained by using elliptical apertures on the mirror depending on the sun's position in the sky. But this is only for the perfectionists).

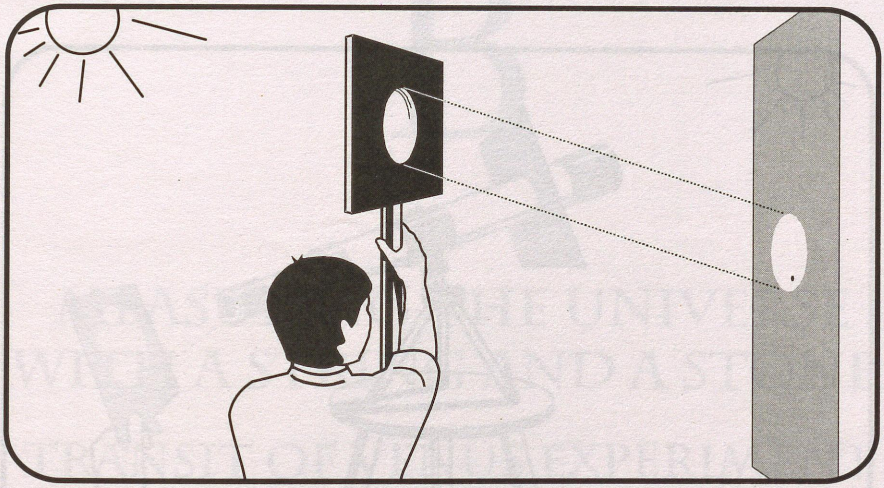
This amazing little optical device is really a powerful telescope with which one can get sun images as large as one wishes, limited only by the size of your dark room. For very large image ( one meter diameter, and even larger ) You will have to also increase the size of the mirror aperture. Use trial and error for best results.

For best results use trial and error, which always works better than theory. Practice now during April and May and you will be ready for the 8th of June, 2004.

## A.2. Imaging the Sun with a Very Long Focal Length (VLFL) convex lens.

It is commonly believed that a convex lens concentrates the light from the Sun. This however is true only if the focal length is small. As the focal length of the lens increases the size of the Sun's image increases. The relation is the same as for a pinhole projector. *Image diameter = focal length of lens / 110.*

For a very long focal length (VLFL), the diameter of the Sun's image can be quite large, larger than the lens itself. Navnirmiti has developed VLFL lenses with focal lengths of 4 metres and 10 metres. The second lens gives a large image of the sun more than 9 cm in diameter.

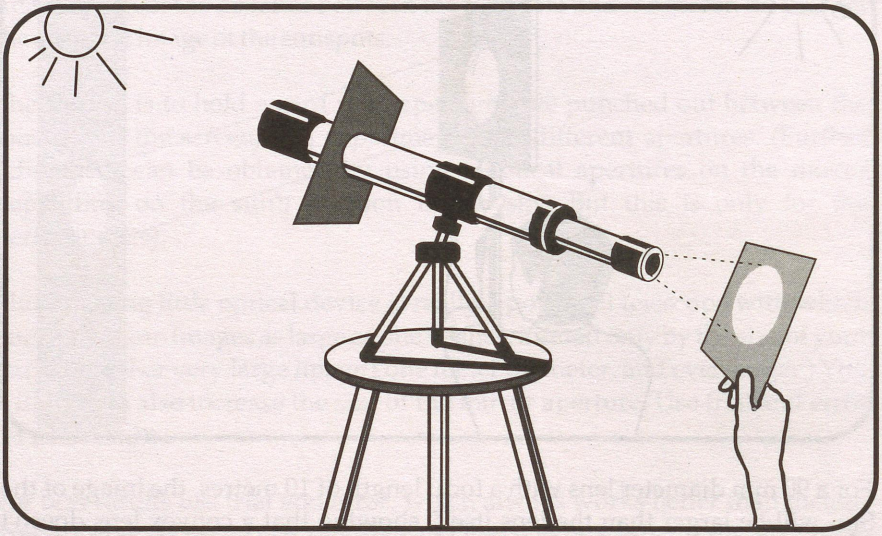


For a 90 mm diameter lens with a focal length of 10 metres, the image of the Sun will be larger than the lens itself, showing that a convex lens doesn't necessarily concentrate light. Using a VLFL convex lens, fixed within a cardboard shade with a hole cut in the centre, you can get a nice big image of the Sun on which sunspots are clearly visible, if the lens is of good quality. (see coloured **plate 4**.)

Where can you get a good quality VLFL convex lens? These are not easily available and have to be specially ground and polished. They are also available at the Navnirmiti centres in Mumbai and Pune.

## A.3. Imaging the Sun with telescope.

You can make a simple telescope with which to project Sun' image. Though it is possible to look directly at the Sun through the telescope **with a proper filter**, **we do not recommend this method** as most common filters are not safe, and a telescope concentrates light making eye damage more likely. The safer method is to project the Sun's image with your telescope. A simple telescope can be made with only two lenses. The front lens (objective) has long focal length (about 1 metre is ideal), and the eyepiece should have a short focal length of around 5 cm or less. You will also require one long tube (1 metre), and another tube which slides inside the longer tube. (see coloured **plate 5**.) The tubes can be effectively and easily made in the shape of triangular prisms out of mount board as is shown in the photographs.



The telescope can be used for projecting Sun's image as shown in the figure and photographs. The advantage of this method is that with good lenses you can get excellent resolution and study some details of the Sun's image. A lens kit to make your own simple telescope is available at low cost at Navnirmiti centres.

# B

# MEASURING THE UNIVERSE WITH A STRING AND A STONE.

## TRANSIT OF VENUS EXPERIMENT

## B.1. What we can measure with a string and a stone.

1. We can measure lengths.
2. We can measure angles.
3. We can measure Time.

### B.1.1. We can measure lengths.

Use a 1 metre length of string as your measuring instrument. You can divide it into one hundred equal parts and use it to measure length in centimetres.

### B.1.2. We can measure angles.

Fig. 1.

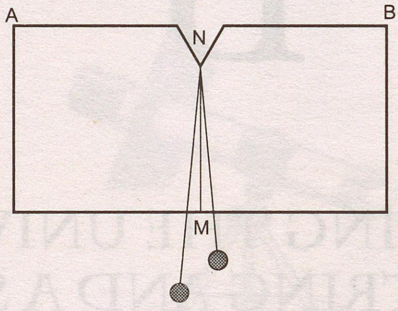
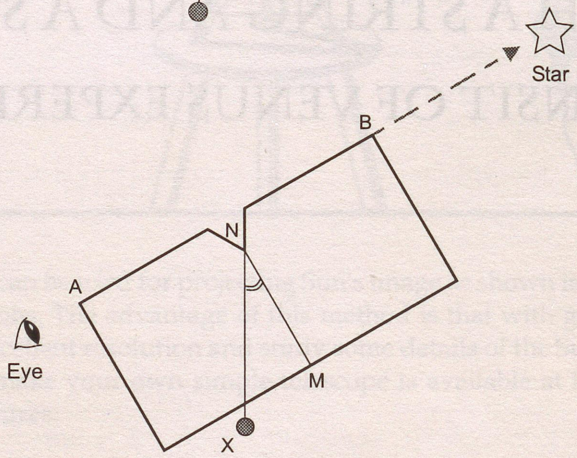



Fig. 2.



# THE PLATES

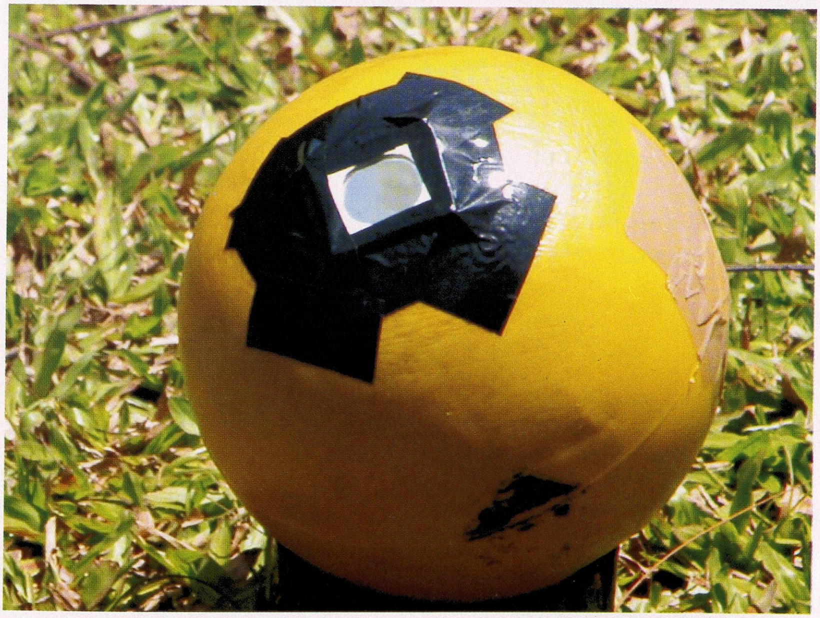
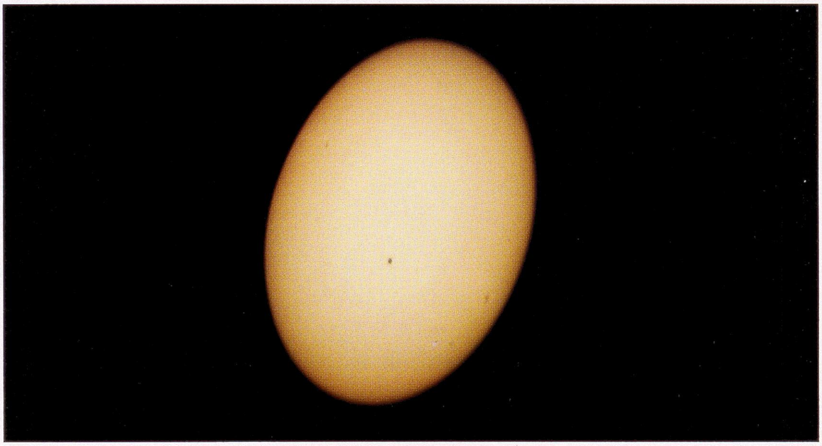


Plate 1. The Ball and Mirror Solar Projector

Plates 2 & 3. Adjusting the solar projector on its mount. 30 metres away on a white screen in a dark room, a large image of the Sun is obtained . Here sun spots are clearly visible.



Plates 4. Four metres below the VLFL lens, a sharp image of the Sun is obtained.


Plate 5. The low cost telescope is made with mountboard and two lenses.

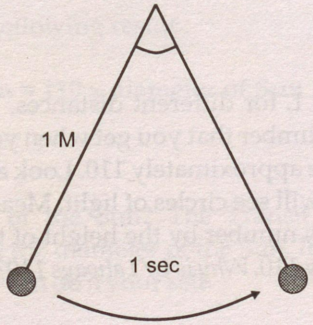
We make an *angle dangle metre.*

1. Take a piece of string about a metre long. Tie two small stones at each end.
2. Take a rectangular piece of stiff cardboard. Make a notch in one edge, near the middle. Hang the string from the notch so that the two stones dangle on either side of the card. This is your angle-dangle metre.
3. At the notch, draw the perpendicular NM (Fig. 1.)
4. To measure the angle of a star, or the angle of the top of a distant tower, hold A near to the eye, and hold the cardboard on that A, B and the star are all in a straight line, along the line of sight (Fig. 2.)
5. In this position, the stone on the string hangs down N X. Measure the angle XNM. This is the angle of the star with the horizontal.

**B.1.3. We can measure time.**

We can construct a one second pendulum with a one metre string with a stone. A one metre pendulum takes about one second swing from one side to the other (Fig. 3.)

Fig. 3.



## B.2. The Sun card

### B.2.1.

Take a card the size of a post card. Punch a small hole near the centre of the card with a paper punch. Also punch a slightly larger hole in the card at some distance from the first hole. Hold the card in direct sunlight, so that it casts a shadow on the ground. Increase the height of the card and observe the shadow. You will observe two circular images of the Sun within the shadow.

### B.2.2.

Observe what happens to the images as you increase or decrease the distance between the card and the screen (ground).

a. As the distance increases or decreases, the sizes of the circular images increase and decrease.
b. At any given distance, both the images are approximately the same size.
c. One image is brighter than the other, but both are approximately the same size.

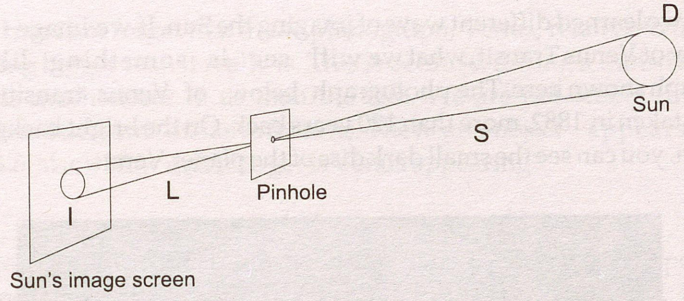
### B.2.3.

Measure with a centimetre scale the diameter '**I**' of the circular image. Also measure the distance '**L**' between the card and the screen. Divide **L** by **I**. You will get a number which is approximately 100 ( more accurately, about 110).

### B.2.4.

You can measure I and L for different distances. Then both **I** and **L** will change. However, the number that you get when you divide **L** by **I** will not change. It will always be approximately 110. Look at the shade of a tall tree. Within this shade you will see circles of light. Measure the diameter of the largest circle, divide this number by the height of the tree. You will get an answer of approximately 110. *Why is **L/I** always 110?*

Fig. 4.




$$L/I = S/D = 110$$

In a pinhole camera the ratio **L/I** is equal to **S/D** where **D** is the diameter of the Sun and **S** is its distance. Since **S/D** is constant, therefore **L/I** is always the same i.e. **110.**

**B.2.5.**
This number is the first hint of the Sun's distance. It tells us that the Sun's distance is approximately 110 times the Sun's diameter. But what is the diameter of the Sun? We will learn about this in the experiments to follow.

**B.2.6.**
For now , we have the following result :

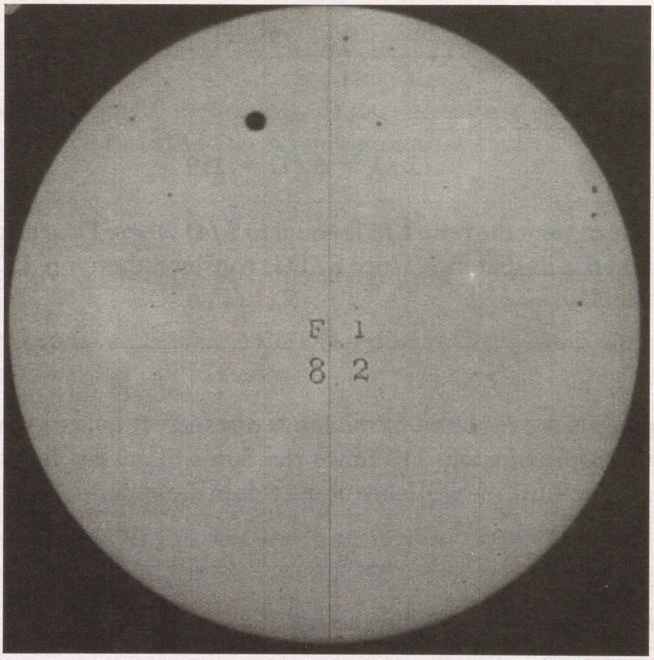
**Distance of Sun = 110 x diameter of Sun**

**B.2.7.**
What is the diameter of the Sun? The Transit of Venus gives us an opportunity to measure the diameter of the Sun. It tells us **'How Big is the Sun?'**. Here is how you can do it your self.

## B.3. TOV image.

**B.3.1.**
In part A we learned different ways of imaging the Sun. If we image the Sun on the day of Venus Transit, what we will see is something like the photograph shown here. The photograph below, of Venus transiting the Sun, was taken in 1882, more than 120 years back. On the bright background of the Sun, you can see the small dark disc of the planet Venus.

Fig. 5.




**B.3.2.**
Measure as accurately as possible, the diameter '**D**' of the Sun in the image.

**B.3.3.**
Measure as accurately as possible the diameter '**V**' of Venus in the image.

**B.3.4.**
Divide **D** by **V**, you will get a number which is approximately equal to 33.

**B.3.5.**
But we must not forget that in the photograph, Venus, relative to the Sun, is appearing bigger than it really is. This is because, during a transit of Venus, Venus is much closer to us than the Sun. We are not seeing two objects which are at the same distance from us. The nearer object appears larger. (See B.3.6. also). How much larger is Venus appearing?

**B.3.6.**
We know that the moon is much smaller than the Sun. But it appears to be the same size as the Sun due to the fact that it is nearer to us. There are innumerable instances of a nearer object appearing larger because of its proximity. The solar eclipse is due to this effect.

**B.3.7.**
How much larger is Venus appearing? We can calculate this from the next experiment, which involves measuring the **maximum angle between the Sun and Venus** as seen from the Earth. We measure this angle at different times of the year. The maximum angle occurred towards the end of March 2004. The maximum angle between the Sun and Venus is about 45$^o$ (precisely 47$^o$). By a simple calculation, which is given in B.4 we deduce that Venus at the time of transit, is approximately three and half times closer to us than the Sun. Because of this, Venus appears approximately about three and a half times (more accurately 3.4 times) larger than it really is relative to the Sun.

**B.3.8.**
We must now multiply 33 by 3.4. We get 112. This means that the Sun's diameter is really about 112 times the diameter of Venus. So we now need to know the diameter of Venus. But **what is the diameter of Venus ? Before we come to this question, let us understand a little better the subject matter of point B.3.7 above.**

**B.3.9.**
Note also that we now have a simple formula for the Sun's distance :

**Sun's distance = 110 x Sun's diameter = 110 x 112 x Venus' diameter.**

## B.4. Measuring the maximum angle between Venus & the Sun.

As the Earth and Venus go around the Sun, the relative position of Venus with respect to the Sun changes. At certain times of the year, Venus is a morning star, being visible before the Sun rises. In other months it is an evening star. From September 18$^{th}$ 2003 Venus appeared as an evening star.

**B.4.1.**
We measure the angle which Venus makes with the horizon at the moment when the Sun sets. This angle increased from September to the end of March. Venus reached maximum height towards the end of March 2004.

**B.4.2.**
We can measure the angle directly with our **angle-dangle metre**. It turns out to be approximately **45 degrees**, towards the end of March 2004.

**B.4.3.**
Another way to measure the angle is to measure the time between the setting of the Sun and the setting of Venus. The maximum time turns out to be approximately three hours.

**B.4.4.**
Since the Earth rotates once in 24 hours, the stars and the Sun appear to move through an angle of 360 degrees in 24 hours. They appear to move through 15 degrees (360 degrees divided by 24 hours) in one hour. The maximum three hours time difference between the two setting times means that the maximum angle between the Sun and Venus is approximately 45 degrees.

**B.4.5.**
From these measurements, and a few plausible assumptions, (like the assumption that the Earth and Venus go around the Sun in circles with the Sun at the centre), we can calculate that the Sun-Venus and the Sun-Earth distance are approximately in the ratio of **1 : 1.414** (see B.5.)

**B.4.6.**
What this means is that at the time of transit the Sun -Earth distance and the Venus Earth distance are in the ratio **1.414 : 0.414**. From the properties of similar triangles we calculate that Venus appears to be magnified by a factor of **1.414/0.414**, which is approximately **3.4.**

## B.5. The ratio of the Sun-Earth distance to Earth-Venus distance.

Fig. 6.

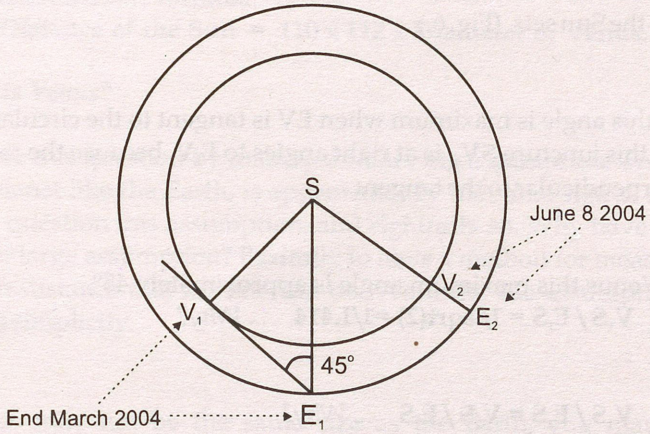
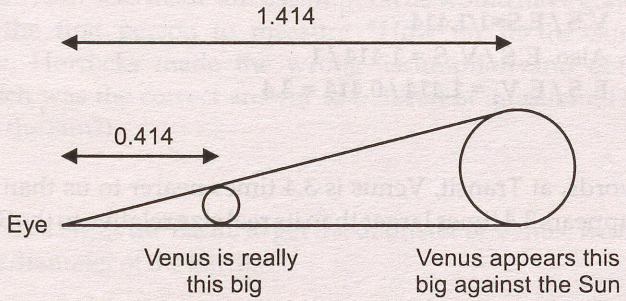



Fig. 7.




We assume that Venus and Earth both go around the Sun in circles with the Sun at center.

**B.5.1.**
Venus moves in a circle around the Sun - the inner circle.

**B.5.2.**
Earth also moves in a circle around the Sun - the outer circle.

**B.5.3.**
The angle **VES** is what we observe. It is the angle made by Venus above the horizon as the Sun sets. (Fig. 6.)

**B.5.4.**
Note that this angle is maximum when **EV** is tangent to the circular orbit of Venus. At this juncture $SV_1$, is at right angles to $E_1V_1$ because the radius of a circle is perpendicular to the tangent.

**B.5.5.**
Since for Venus this maximum angle is approximately 45°,

$$V_1S / E_1S = 1/\text{sqrt}(2) = 1/1.414 \quad \text{... } \textit{Why?}$$

**B.5.6.**

$$V_1S / E_1S = V_2S / E_2S \quad \text{... } \textit{Why?}$$

**B.5.7.**
Therefore at the transit of Venus, when Venus is at $V_2$, and Earth is at $E_2$ then

$$V_2S / E_2S = 1/1.414$$

Also $E_2S / V_2S = 1.414 / 1$

$$E_2S / E_2V_2 = 1.414 / 0.414 = 3.4$$

**B.5.8.**
In other words, at Transit, Venus is 3.4 times nearer to us than the Sun. It therefore appears 3.4 times larger than its real size relative to the Sun. (Fig. 7)

## B.6. How big is Venus?

B.6.1.
We had arrived at the formula:

**Distance of the Sun = 110 x 112 x Diameter of Venus.**

*How big is Venus?*
**B.6.2.**
We answer this question by making a rather big assumption: That Venus, being a planet like the Earth, is approximately the same size as the Earth. You may question this assumption, and rightfully so. Why have we made this rather large assumption? Basically to have a method for measuring the Earth Sun distance that anyone can do. We make the assumption in the interest of simplicity.

**B.6.3.**
But Venus may not be the same size as the Earth, you may protest. Justifiably. What we will get in that case is only a very rough idea of how far the Sun is from us. However, the assumption we have made is luckily pretty good. Venus is as big as the Earth within a margin of less than 10 percent! Had Jeremiah Horrocks made this assumption he would have gone down in history as the first person to measure "How far to the Sun?" (Like Anaxagorus, Horrocks made the wrong assumption and obtained an answer which was the correct answer to a different question : How far is Venus from the Sun?)

B.6.4.
So, if Venus is as big as the Earth, to get the diameter of Venus, we must only measure the diameter of the Earth.

B.6.5.
Because we have assumed that Venus and the Earth are the same size, we have the following formula :

**Distance of the Sun = 110 x 112 x diameter of the Earth**

B.6.6.
We now need to find out how big is the Earth to complete our calculation.

## B.7. How big is the Earth?

**B.7.1.**
We could do it by the method used by Eratosthenes. But there is a simpler method.

**B.7.2.**
Go to a beach on the west coast of your country where you can see the sun dipping below the horizon into the sea at sunset. Choose a beach with a tall building , or a high cliff, nearby. Do the following experiment with the help of a friend.

**B.7.3.**
Your friend stands on the beach. You stand on top of the building on the terrace. Because you are at a height, you can see further.

**B.7.4.**
Both of you watch the moment of the setting Sun. Because you can see further, you will continue to see the Sun even after it has dipped below the horizon for your friend on the beach.

**B.7.5.**
Your friend signals to you the moment when she sees the Sun dipping below the sea horizon. You measure the time between this moment and the moment when you see the Sun dipping below the horizon. You can measure the time with a stop watch, or with your one second pendulum.

**B.7.6.**
From a height **H**, how far can you see? Let's call this distance **X**. You can calculate **X** from Pythagorus theorem . The answer is that you can see for a distance $\mathbf{X = \sqrt{2 \times H \times R}}$, where **R** is the radius of the Earth (Fig. 8.)

**B.7.7.**
Lets say that the time measured by you in step (B.7.5.) above was half a minute. The ratio of 24 hours to half a minute is 2880.

**B.7.8.**
This is also the ratio of the circumference of the Earth to **X**.

$$\mathbf{(2 \times pi \times R)/X = (24 \times 60)/(\tfrac{1}{2}) = 2880.}$$

**B.7.9.**

From this we deduce that

$$X = (2 \times pi \times R) / 2880$$

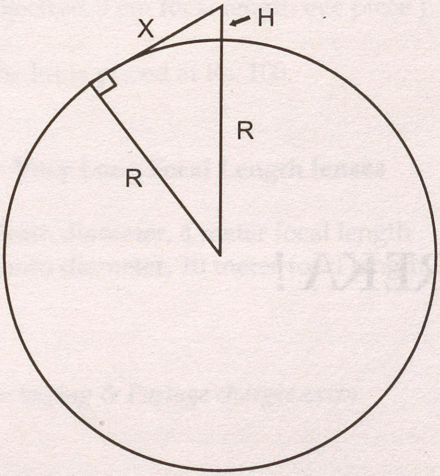
Therefore, $X^2 = (4 \times pi^2 \times R^2) / (2880)^2 = 2HR$

Therefore, $R = (2880)^2 \times H) / 2\ pi^2$

**B.7.10.**

This gives us the radius of the Earth in terms of the height of the building. All that we have to do now is to measure the height of the building. How do you measure the height of a building with a string and a stone ?

Fig. 8.




$$X^2 + R^2 = (R+H)^2$$

$$= R^2 + 2RH + H^2$$

$$X^2 = 2RH + H^2$$

We can neglect $H^2$, which is small compared to 2RH

Therefore $X^2 = 2RH$

Or $X = \sqrt{2RH}$

**B.7.11.**

In the above we assumed that the time difference was one half minute. In the actual measurement, lets say that it is **T** seconds. By the same kind of argument as in B.7.9 above, we get

$$R = [( (24 \times 60 \times 60)/T )^2] \times [H / (2 \times pi^2)]$$

## B.8. How high is the building?

Of course this is the easy part. We can measure the height of the building with a string or we can measure angles and use similar triangles. You walk a certain distance away from the building. You measure your distance from the building. Measure the angle made by the top of the building with your angle - dangle meter. When the angle is **$45^0$** stop. Measure your distance from the building. This is equal to the height of the building when the angle is $45^0$. That's all. From the height H we calculate **R** (B.7.11.) once we have **R**, we use formula :

**Distance of Sun = 110 x 112 x 2R**

# EUREKA !

## The following kits are available from Navnirmiti :

**1. Solar Filters**

Navnirmiti's solar filters conform to international safety standards and have an optical density of 5. These filters are safe for viewing the Sun and reduce the intensity of light by a factor of 100,000.

These filters are priced at Rs. 5/- each.
For more than 100, they are priced at Rs 3.50 each.
For more than 10,000 they are priced at Rs.2.50 each.

**2. Simple telescope lens kit.**

You can make a simple telescope with this kit (1 metre focal length objective, 3 cm focal length eye piece )

The kit is priced at Rs. 100.

**3. Very Long Focal Length lenses**

| | |
|---|---|
| 75mm diameter, 4 meter focal length | Rs. 100 per lens |
| 90mm diameter, 10 meter focal length | Rs. 500 per lens |

*Packaging & Postage charges extra.*

Concept and design: **Navnirmiti.**

First Edition : August 2003
Second Edition : April 2004

Produced for All India Peoples' Science Network and World Social Forum 2004.

www.sunderstanding.net & www.navnirmiti.org

navnirmiti@yahoo.com & vivekcm@vsnl.com

**Navnirmiti** - ***Mumbai***
'Discover it!', Lake Site bldg, Near Powai Hospital,
Powai, Mumbai- 400 076, India.
*91 - 22 - 25792628, 25773215, Fax: 25770285*

**Navnirmiti** - ***Pune***
Sakar, Above UTI Bank, Ramanbaug Chowk, Pune - 411 030, India.
*91 - 20 - 25442794, 4012629*

Cover and illustrations : Russell Gonsalves.
Design and layout : Russell Gonsalves and Rajesh Natarajan.
Photographs : IDC Mumbai - *plates 1, 5, inside back cover.*
Charu Kinjawadekar - *plates 2, 3, 4, back cover.*

**A special thanks to Atul Mahashabde.**

Printed by: **Mudra**
383 Narayan Peth, Pune - 411 030, India. 91 - 20 - 24456836


*Everybody can watch TOV with a solar filter. Venus will appear large enough to be seen without magnification.*

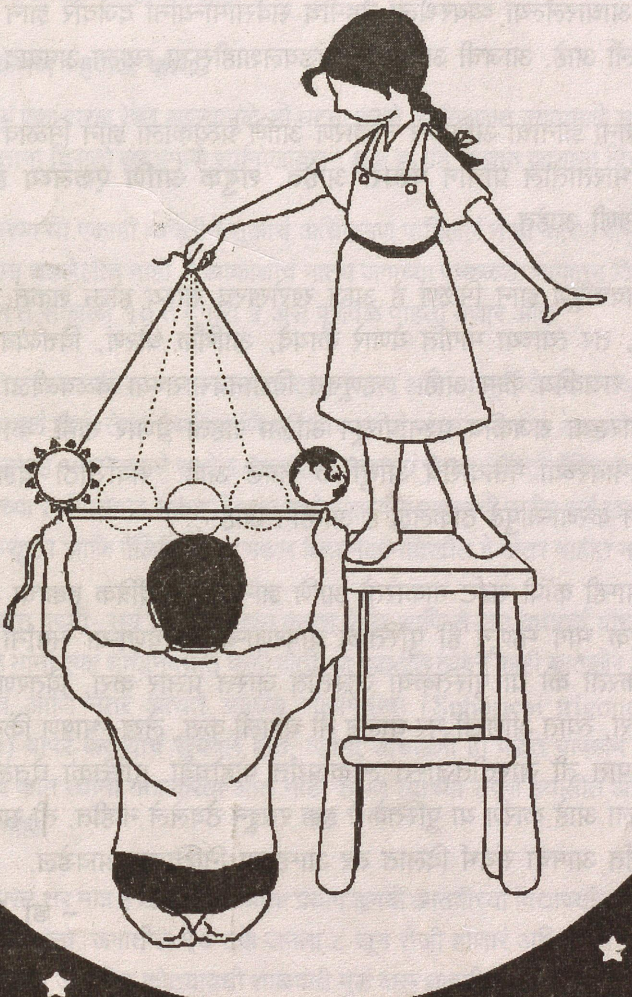
*Enjoy the rare spectacle !*

# चला, विश्व मापू या दगड - दोरीने!

## शुक्राच्या अधिक्रमणाचा प्रयोग २००४

डॉ. विवेक मॉंटेरो

अनुवाद - प्रकाश बुरटे



# ज्ञानाचा हक्क

लेखाधिकार (Copy Right) ही संकल्पना उत्तरोत्तर कालबाह्य होत आहे. सूर्यप्रकाश आणि स्वच्छ हवा यांच्याप्रमाणेच ज्ञानदेखील सर्वांसाठी खुलं असलं पाहिजे. परंतु भांडवलशाही आणि आधुनिक साम्राज्यवादी व्यवस्थेत ज्ञान मिळवण्याचे मार्ग बंद केले जातात. त्याआधारे ज्ञानावर मालकी हक्क असणारे त्याचे नियंत्रण करतात, त्याच्या मुक्त वापरावर बंदी आणतात, ज्ञान विकत घेऊ शकतात आणि भरपूर नफा घेऊन विकूही शकतात. ज्ञानार्जनावर बंदी आणणं ही सर्वच देशांमधील पुरातन परंपरा राहिलेली आहे. शोषणावर आधारलेल्या व्यवस्थेला नेहमीच सर्वसामान्यांना दर्जेदार ज्ञान नाकारण्याची गरज भासली आहे. आजची आधुनिक भांडवलशाहीसुद्धा त्याला अपवाद नाही.

सर्वसामान्यांना ज्ञानाचा अधिकार नाकारणं आणि प्रत्येकाला ज्ञान मिळावं म्हणून संघर्ष करणं या भारतातील प्राचीन परंपरा आहेत. **शंबुक आणि एकलव्य** हे या लढाऊ परंपरेचे अग्रणी आहेत.

सर्वांना गुणवत्तापूर्ण ज्ञान मिळणं हे आज खरोखरच साध्य होऊ शकतं. ते वास्तवात उतरवायचं, तर त्याच्या मार्गात येणारे कायदे, आर्थिक धोरणं, वित्तव्यवस्था बदलली पाहिजे. हे राजकीय काम आहे. म्हणूनच विज्ञानप्रसाराच्या चळवळीला पेटंट, कॉपी राईट यासारख्या राजकीय प्रश्नांपासून अलिप्त राहता येणार नाही. कारण हे कायदे म्हणजे ज्ञानावरच्या मक्तेदारीचे आधुनिक रूपडे आहे. 'सर्वांसाठी विज्ञान' हा नारा घेऊन काम करणाऱ्यांपुढे ठाकलेलं हे आव्हान आहे.

म्हणूनच आम्ही कॉपी राईट नाकारतो आणि ज्ञानाच्या सार्वत्रिक हक्काचा आग्रह धरतो. त्याचाच एक भाग म्हणून ही पुस्तिका वापरणाऱ्या, वाचणाऱ्या सर्वांना आम्ही असं आवाहन करतो की या पुस्तिकेचा जास्तीत जास्त प्रसार करा, वितरण करा, कॉपी करा, सुधारा, त्यात आणखी भर घालून ती चांगली करा, लेख-भाषण किंवा कोणत्याही इतर स्वरुपात ती जास्तीतजास्त लोकांपर्यंत पोहोचवा. पुस्तिका घेतलीत, तेवढाच खर्च तुम्हाला आहे कारण या पुस्तिकेचे हक्क राखून ठेवलेले नाहीत. ती सर्वांसाठी खुली आहे. अर्थात आमचा संदर्भ दिलात तर आम्हाला निश्चितच आवडेल.

**- डॉ. विवेक मॉंटेरो**

# चला विश्व मापू या दगड – दोरीने !

डॉ. विवेक माँटेरो

नवनिर्मिती, डिस्कवर इट, पवई म्युनिसिपल हॉस्पिटलजवळ,
लेकसाईट बिल्डिंग, आय. आय. टी. मेनगेटसमोर, मुंबई – ४०० ०७६

गेल्या १२१ वर्षात न घडलेलं नाट्य ८ जून २००४ रोजी आकाशात घडणार आहे. या दिवशी सूर्यावरून शुक्राचं अधिक्रमण होणार आहे.

### शुक्राचं अधिक्रमण म्हणजे काय?

पृथ्वी–शुक्र–सूर्य एका सरळ रेषेत आल्यामुळे ही घटना घडते. सूर्यग्रहणात ज्याप्रमाणे सूर्यगोलावरून चंद्र सरकत जाताना दिसतो त्याप्रमाणे सूर्यगोलावरून शुक्र हा ग्रह सरकत जाताना दिसणार आहे.

आज हयात असणाऱ्या एकाही व्यक्तीने शुक्राचं अधिक्रमण पाहिलेलं नाही कारण संपूर्ण विसाव्या शतकात ही घटना घडलेलीच नाही. हे आकाशीचं नाट्य जगाच्या पुष्कळशा भागातून दिसणार आहे. संपूर्ण भारतातून ते सकाळी १० ते दुपारी ४ असं पूर्णवेळ पाहता येणार आहे.

विज्ञानाच्या इतिहासात अधिक्रमण या घटनेला खास महत्त्व आहे. यापूर्वी जेव्हा असंच अधिक्रमण १७६१ साली घडलं होतं, तेव्हा पृथ्वी आणि सूर्य यांच्यातील अंतर बऱ्याचशा अचूकतेने मोजायचा प्रयत्न झाला होता. हे अंतर म्हणजे खगोल शास्त्रातील महत्त्वाचं एकक (ॲस्ट्रोनॉमिकल यूनिट AU) आहे. न्यूटन यांच्या सूर्यमालेच्या संकल्पनेत या खगोलशास्त्रीय एककाची उणीव सर्व खगोलशास्त्रींना जाणवत होती. न्यूटन आणि गॅलिलिओ या महान वैज्ञानिकांनादेखील हे अंतर माहीत नव्हतं.

अधिक्रमण काळात पृथ्वी–सूर्य अंतराचं मापन करता येईल आणि ते कसं करायचं याच्या पद्धतीची चर्चा एडमंड हॅले यांनी एका शोधनिबंधात केली होती. या पद्धतीत त्यांनी काही काटेकोर आणि क्लिष्ट मापनं करण्याचं आणि नंतर अत्यंत अवघड गोलमितीचा (Spherical trigonometrical calculations) वापर करण्याचं सुचवलं होतं. त्यांनी शोधलेली ही पद्धत वापरून पृथ्वी–सूर्य अंतर मोजण्याचं काम त्यांना मात्र करता आलं नाही कारण त्यांच्या संपूर्ण हयातीत अधिक्रमणाची घटना घडलीच नाही.

एक गृहीतक वापरलं तर मात्र हे अंतर मोजण्याचा प्रयोग अगदी आठवीच्या विद्यार्थ्यांनादेखील करता येण्याइतका सोपा होतो. जगातील ९० टक्के जनता ८ जून रोजी होणारं अधिक्रमण पाहू शकणार असल्याने, हा प्रयोग जगातील कोट्यावधी शाळकरी मुलं करू शकतील.

हा प्रयोग मोठ्या प्रमाणावर शाळेतील विद्यार्थ्यांना कसा करता येईल, याची सोप्या भाषेत पायरी पायरीनं मांडणी या पुस्तिकेत केली आहे.

## दगड आणि दोरीने विश्व मापू या

इरॅटोस्थेनस (Eratosthenes) या ग्रीक वैज्ञानिकाने इ. स. पू. तिसऱ्या शतकात प्रथम पृथ्वीचा आकार मोजला. विज्ञानाच्या संपूर्ण इतिहासातल्या सर्वात महत्त्वाच्या दहा प्रयोगांतला हा एक प्रयोग. विशेष म्हणजे या मापनासाठी त्यानं वापरलेली पद्धत त्याने स्वतः शोधली नव्हती, तर ती त्याच्या २०० वर्ष आधी ॲनॅक्सोगोरसने (Anaxagorus) प्रथम वापरली होती, परंतु वेगळ्या प्रश्नाचं उत्तर शोधण्यासाठी.

जमिनीच्या मापनातून भूमितीचा जन्म झाला हे सर्वांना माहीत आहेच. ज्या काळात ग्रीसमधील विद्वान मंडळी भूमितीच्या सिद्धांतांची योग्य व्यवस्था लावण्याचं आव्हान पेलत होती तेव्हा ॲनॅक्सोगोरस या खगोलशास्त्रज्ञाच्या डोक्यात भूमिती आणि खगोलशास्त्राचा एकत्र वापर करून विश्व मोजण्याची भन्नाट कल्पना आली. या कल्पनेची पहिली पायरी म्हणून त्यांना पृथ्वी-सूर्य अंतर आणि सूर्याचा आकार मोजायचा होता. पृथ्वी-सूर्य अंतर सुमारे ६५०० किलोमीटर आणि सूर्याचा व्यास सुमारे ६० किलोमीटर अशी उत्तरं त्यांना मिळाली. आपण मांडलेली गणितं बिनचूक आहेत याबद्दल त्यांना पूर्ण खात्री होती. हे अंदाज ठामपणे मांडण्याची बहिष्कृत होण्याइतकी मोठी किंमत त्यांना मोजावी लागली. अर्थातच त्यांची दोन्ही उत्तरं साफ चुकली होती. त्यांची गणितं अगदी अचूक होती हे खरं. फक्त त्यांचं एकच गृहीतक चुकीचं होतं आणि ते म्हणजे 'पृथ्वी सपाट आहे'. परंतु त्यांना कल्पना नसली, तरी त्यांनी प्रत्यक्षात पृथ्वीची त्रिज्या मोजली होती. गफलतीनं आणि त्यांच्याही नकळत 'पृथ्वीचा आकार केवढा' या प्रश्नाचं उत्तर त्यांना गवसलं होतं.

इरॅटोस्थेनस यांनी चुकीचं गृहितक सुधारून घेतलं. 'पृथ्वी गोलाकार आहे' असं गृहीत धरून त्यांनी दाखवून दिलं की ॲनॅक्सोगोरस यांनी काढलेलं ६५०० किलोमीटर हे उत्तर पृथ्वी-सूर्य अंतर नाही, तर ती पृथ्वीची त्रिज्या आहे.

## सूर्य किती दूर आहे?

सहाजिकच ॲनॅक्सोगोरस यांचा महत्त्वाकांक्षी प्रश्न अनुत्तरित राहिला. अगदी अठराव्या शतकापर्यंत हा प्रश्न अनेकांना भेडसावत राहिला. गॅलिलिओ आणि न्यूटन यांनाही हे गूढ उकललं नव्हतं. ॲनॅक्सोगोरस यांचं सूर्याच्या व्यासाबाबतचं भाकित साफ चुकलं होतं परंतु, सूर्य त्याच्या व्यासाच्या ११० पट अंतरावर आहे, हे भाकित करून त्यांनी खगोलशास्त्रातील एक महत्त्वाचा तिढा नकळत उकलला होता.

## एक सुवर्णसंधी

फक्त पुस्तकं वाचून कुणी विज्ञान शिकू शकत नाही. 'प्रत्यक्ष करणं' हा विज्ञान शिकण्याचा मुख्य मार्ग आहे. त्यासाठी प्रयोग करावे लागतात. त्यातून शोधलेल्या गोष्टींची मजा काही न्यारीच असते. विज्ञानाच्या इतिहासातील जे दहा महत्त्वाचे प्रयोग आहेत त्यातले दोन प्रयोग करण्याची सुवर्णसंधी २००४ हे वर्ष आपल्याला देतं. आठवी इयत्तेचं गणित येणाऱ्या प्रत्येक मुलाला आणि मुलीला स्वतः प्रयोग करून करून खालील तीन प्रश्नांची उत्तरं शोधता येतील :

१. पृथ्वीचा आकार केवढा आहे?
२. सूर्याचा आकार केवढा आहे?
३. सूर्य किती दूर आहे?

यातल्या पहिल्या प्रश्नाचं उत्तर शोधण्यासाठी भारताच्या पश्चिम किनाऱ्यावर जाऊन सूर्यास्ताचं किंवा पूर्व किनाऱ्यावरून सूर्योदयाचं मनोहारी दृष्य पाहायचं आहे. इतर दोन प्रश्नांच्या उत्तरांसाठी आपल्याला ८ जून २००४ रोजी घडणाऱ्या अधिक्रमण काळात सूर्याचं आणि शुक्राचं निरीक्षण करायचं आहे. फक्त 'प्रयोगशाळेत' आढळणारी कुठलीही महागडी आणि अत्याधुनिक साधनं किंवा उपकरणं हे 'महान' प्रयोग करण्यासाठी आपल्याला लागणार नाहीत. आपल्याला लागतील दगड, दोरी, छोटासा आरसा, जमलंच तर सेकंद काटा असलेलं घड्याळ, एवढीच साधनं !

जून २००४ पर्यंत आपल्याला काही प्रयोग आणि गणिताच्या पुढील भागांची उजळणी मात्र करून ठेवावी लागणार आहे :

१. कोन म्हणजे काय? तो कसा मोजायचा?
२. दोन संख्यांचं गुणोत्तर कसं काढायचं?
३. त्रिकोणाच्या तीन कोनांची बेरीज किती असते?
४. समरूप त्रिकोण आणि त्यांचे गुणधर्म.
५. मोठाल्या संख्यांच्या आकडेमोडीचा सराव.
६. अप्रॉक्झिमेशन्सचं महत्त्व
७. पायथागोरसचा सिद्धांत.

कोन, लांबी आणि काळ (वेळ) यांची जास्तीत जास्त अचूक मापनं करून आपण विश्वाच्या आकाराच्या रहस्याला हात घालणार आहोत. विश्वास ठेवा, त्यासाठी आपण फक्त दगड आणि दोरी वापरणार आहोत!

**दगड आणि दोरी वापरून काय मोजता येईल :**

१. दोरीने लांबी.

२. दगड आणि दोरीचा कोनमापक वापरून कोन.

३. दगड आणि दोरीचा लंबक वापरून वेळ.

**१. लांबी मोजूया :**

एक मीटर लांबीची दोरी हे लांबी मोजण्याचं साधन होऊ शकतं. त्याचे समान १०० भाग केल्यास लांबी सेंटीमीटरमध्येही मोजता येईल.

**२. कोन मापनासाठी दगड आणि दोरीचा कोनमापक :**

- सुमारे एक मीटर लांबीच्या दोरीच्या दोन टोकांना एकेक दगड बांधा.
- चित्र क्रमांक – १ (Fig 1) मधे दाखविल्याप्रमाणे एक आयताकार न वाकणारा जाड पुठ्ठा घ्या. त्याच्या एका बाजूच्या साधारण मध्यावर एक खांच पाडा.
- N या खांचेच्या बिंदूपासून NM असा लंब काढा.
- त्यावर टोकांना दगड बांधलेली दोरी लटकवा. झाला की तयार, आपला कोनमापक !
- दूरच्या अंतरावरील बिल्डिंग किंवा आकाशातील तारा यांनी जमिनीशी केलेले कोन मोजण्यासाठी हे साधन वापरता येईल. पुठ्ठ्याचा A हा बिंदू डोळ्याजवळ धरा आणि

Fig 1

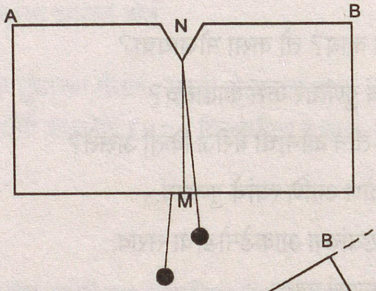
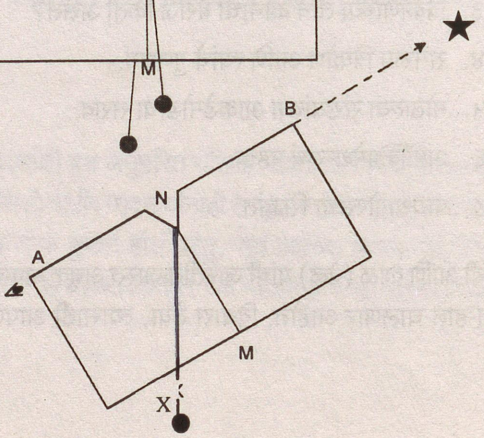



Fig 2



ताऱ्याकडे पहा. तुमच्या नजरेच्या बरोबर सरळ रेषेत AB ही बाजू येईल अशा तऱ्हेने पुठ्ठा धरा. चित्र क्र. २ (Fig 2) प्रमाणे तारा, A, B आणि डोळा सगळं एका रेषेत आलं पाहिजे.

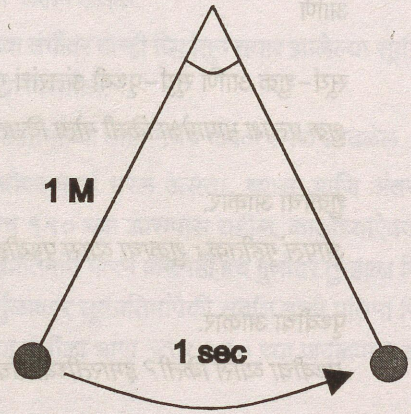
- आता दोरीला बांधलेला दगड NX या जमिनीला काटकोन करणाऱ्या रेषेत येईल.

तारा–आपण–जमीन यातील $\angle XNM$ हा कोन मोजला, की आपलं काम झालं.

**३. दगड आणि दोरीचा लंबक वापरून कालमापन :**

एक मीटर लांबीच्या दोरीला एक दगड बांधा. हा झाला आपला लंबक. त्याला झोका द्या. दगडाला एका टोकाकडून दुसऱ्या टोकापर्यंत जाण्याला लागणारा वेळ आपल्याला मोजायचा आहे. त्यासाठी अशा ३० झोक्यांना लागणारा वेळ मोजा. त्यावरून एका झोक्याचा वेळ काढा. उत्तर येईल एक सेंकद. एक सेंकद दाखवू शकणारं हे आपलं लंबकाचं घड्याळ चित्र क्रमांक – ३ (Fig 3) मध्ये दाखवलं आहे.

Fig. 3




**दगड आणि दोरी वापरून आपण लांबी, कोन आणि काळ मोजू शकतो.**

**या पुस्तिकेचा आराखडा याप्रमाणे आहे –**

**अ) पृथ्वी–सूर्य अंतर असं मोजूया :**

पृथ्वीपासून सूर्याचं अंतर मोजण्यासाठी आता सारी तयारी झाली आहे. खालील सात भागात आपल्याला काम करायचं आहे.

भाग १ – सूर्य कार्ड.
*सूर्य–पृथ्वी अंतर सूर्याच्या व्यासाच्या किती पट आहे?*

भाग २ – अधिक्रमण काळातील सूर्याचं छायाचित्र.
*सूर्याचा व्यास शुक्राच्या व्यासाच्या किती पट आहे?*

भाग ३ – शुक्र आणि सूर्य यातील कमाल कोनाचं मापन.

आणि

भाग ४ – सूर्य–शुक्र आणि सूर्य–पृथ्वी अंतरांचं गुणोत्तर.
*शुक्र प्रत्यक्ष मापापेक्षा किती मोठा दिसत आहे?*

भाग ५ – शुक्राचा आकार.
*आपलं गृहीतक : शुक्राचा व्यास पृथ्वीइतकाच.*

भाग ६ – पृथ्वीचा आकार.
*पृथ्वीचा व्यास किती? इमारतीच्या उंचीच्या रूपातलं सूत्र*

भाग ७ – त्यासाठी उंच इमारतीची उंची मोजणं.

**ब) सूर्य – प्रयोगशाळा कशी तयार कराल?**

१. छोट्या आरशाने सूर्याची प्रतिमा मिळवा (Pocket mirror projector)
२. मोठ्या नाभीय अंतराचे बर्हिवक्र भिंग वापरून सूर्याची प्रतिमा मिळवा (Very Large Focal Length-VLFL- Convex Lens)
३. दूरदर्शिका वापरून सूर्याची प्रतिमा मिळवा (Telescope)

यांची सविस्तर माहिती पुस्तिकेच्या शेवटी दिली आहे.

**भाग १ – सूर्यकार्ड :**

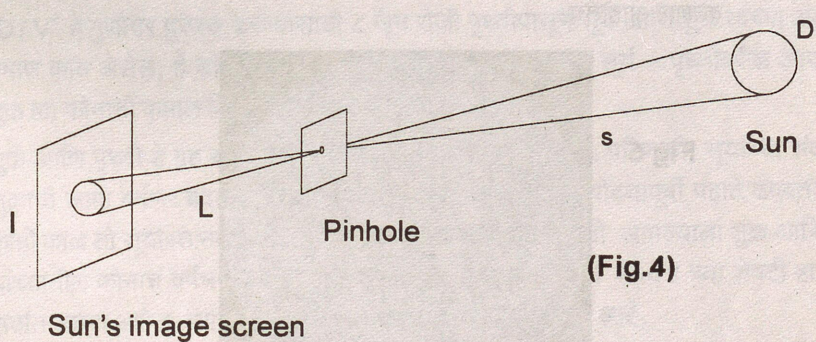
१.१ पोस्टकार्डाच्या आकाराचं कोणतेही एक कार्ड घ्या. त्यावर पेपर पंचने एक छोटं छिद्र पाडा. थोड्या अंतरावर त्यापेक्षा मोठं भोक पाडा. जमिनीवर छाया पडेल, अशा अंतरावर हे कार्ड सूर्यप्रकाशात धरा. आता कार्ड आणखी जास्त उंचीवर धरा, बघा काय दिसतं? तुम्हाला सूर्याच्या दोन गोलाकार प्रतिमा दिसतील.

१.२ कार्ड आणखी जास्त जास्त उंचीवर सावकाशीनं न्या. त्याचवेळी जमिनीवरील सूर्यप्रतिमांकडेसुद्धा लक्ष द्या.

१.३ वर्तुळाकार सूर्यप्रतिमांचा व्यास 'I' आणि कार्डापासून अंतर 'L' पट्टीने किंवा दोरीने मोजा. दोन्हीचं गुणोत्तर L / I , १०० च्या आसपास येईल (जास्त काटकोरपणे सांगायचं तर ते ११० असेल).

- सूर्यकार्ड उंचावर नेलं, तर सूर्यप्रतिमा मोठ्या दिसतात. ते जमिनीजवळ नेलं तर सूर्यप्रतिमा लहान होतात.
- परंतु प्रत्येक उंचीवर दोन्ही छिद्रांतून तयार झालेल्या सूर्यप्रतिमा साधारणपणे एकाच आकाराच्या दिसतील.
- दोन्ही सूर्यप्रतिमांच्या तीव्रतेमधेच केवळ फरक आढळेल.

१.४ वेगळाल्या उंचीवर कार्ड धरलं असता, व्यास आणि अंतर दोन्ही बदलेल. परंतु हे गुणोत्तर नेहमीच ११० च्या आसपास राहील. कार्डाच्याऐवजी उंच झाडाच्या पानातून दिसणाऱ्या सूर्यप्रतिमांचं मापन करूनही हेच गुणोत्तर तुम्हाला मिळेल. त्यासाठी जमिनीवर दिसणाऱ्या वर्तुळाकार सूर्यप्रतिमांपैकी सर्वात मोठी प्रतिमा निवडून तिचा व्यास मोजा. त्याने झाडाच्या उंचीला भागा. उत्तर ११० च्या जवळपास आलं का?




(Fig.4)

**L / I = S / D = 110**

चित्र क्रमांक – ४ (Fig 4) मधे पिनहोल वापरून प्रक्षेपित केलेली सूर्याची प्रतिमा आहे. समरूप त्रिकोणाचे गुणधर्म लक्षात घेता L/I आणि S/D ही गुणोत्तरं समान आहेत हे तुम्हाला पटेल. इथे D हा सूर्याचा व्यास आहे आणि S हे पृथ्वी–सूर्य अंतर आहे. म्हणून S/D हे गुणोत्तर स्थिर आहे. आणि या प्रयोगावरून आपण असं शोधलं की ते ११० आहे. याचा शोध ॲनॅक्सोगोरसने लावला होता.

हे गणिती भाषेत पुढीलप्रमाणे लिहिता येईल –

$$L/I = S/D = 110$$

(सूर्य–पृथ्वी अंतर) / सूर्याचा व्यास = 110

१.५ यावरून पृथ्वी–सूर्य अंतर हे सूर्याच्या व्यासाच्या ११० पट आहे.

१.६ सूर्यकार्डाच्या प्रयोगातून हाती आलेलं पुढील महत्त्वाचं सूत्र आपल्याला पक्कं लक्षात ठेवायचं आहे :

पृथ्वी–सूर्य अंतर = ११० × सूर्याचा व्यास

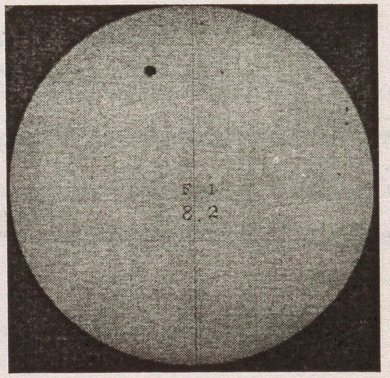
१.७ आता सूर्य किती मोठा आहे, हे मोजलं की कूट प्रश्न सुटलाच की!

शुक्राच्या अधिक्रमण काळातील प्रयोगानं आपण सूर्याचा व्यास मोजणार आहोत.

**भाग २ – अधिक्रमण काळातील सूर्याचं छायाचित्र :**

२.१ यापूर्वीचं शुक्राचं अधिक्रमण १८८२ साली झालं होतं. त्याला आता जवळजवळ १२२ वर्षं झाली. प्रयोग कसा करायचा, हे समजावून घेण्यासाठी त्या काळात घेतलेला सूर्याचा फोटो वापरू. चित्र क्रमांक – ५ (Fig 5) पहा. त्यामध्ये पांढऱ्या सूर्यावर शुक्राचा काळा ठिपका दिसत आहे. असा फोटो किंवा प्रतिमा कशी मिळवायची याची चर्चा आपण पुढे करणार आहोतच.

Fig 5



२.२ सध्या सरावासाठी या फोटोतील सूर्याचा व्यास 'D' शक्य तितका काळजीपूर्वक आणि अचूक मोजा.

२.३ तसेच, याच छायाचित्रातील शुक्राचा व्यास 'V' शक्य तितका काळजीपूर्वक आणि अचूक मोजा.

२.४ 'D' ला 'V' ने भागल्यास गुणोत्तर ३३ च्या जवळपास येईल. सूर्याचा व्यास शुक्राच्या व्यासाच्या ३३ पट आहे असं यावरून वाटेल. पण एक महत्त्वाची गोष्ट लक्षात घ्यायला हवी.

२.५ अधिक्रमण काळात सूर्य आणि पृथ्वी यांच्या मध्ये शुक्र येतो. याचा अर्थ सूर्यापेक्षा शुक्र आपल्या जास्त जवळ आहे. जवळच्या वस्तू दूरच्या वस्तूंपेक्षा तुलनेनं मोठ्या दिसतात, हा तर आपला अनुभव आहे. जर सूर्य आणि शुक्र एकाच अंतरावर असते, तर 'D' च्या तुलनेत 'V' ची किंमत कमी भरली असती. परंतु या छायाचित्रात असा अंतरांतील फरकाचा परिणाम लपलेला आहे.

२.६ असंच चंद्र आणि सूर्याच्या बाबतीतदेखील होतं. सूर्यापेक्षा चंद्र लहान असल्याचं आपल्याला माहीत आहे. तरीही तुलनेने चंद्र जास्त जवळ असल्याने, चंद्रबिंब जवळपास सूर्यबिंबाएवढंच दिसतं. याच कारणामुळे आकाराने छोट्या चंद्राचं सूर्याला ग्रहण लागतं. सूर्यबिंबाला चंद्रबिंब पूर्णपणेही ग्रासू शकतं. अंतरामुळे प्रतिमेच्या आकारात पडणाऱ्या फरकांची अशी इतरही अनेक उदाहरणं देता येतील.

अंतरांतील फरकांमुळे प्रतिमेच्या आकरात पडणाऱ्या फरकाचं कारण लक्षात घेता 'D/V' हे गुणोत्तर दुरुस्त करून वापरलं पाहिजे. त्यासाठी आणखी एक प्रयोग करायचा आहे. त्याचा विचार तिसऱ्या आणि चौथ्या भागात मिळून केला आहे.

## भाग ३ – शुक्र आणि सूर्य यातील कमाल कोनाचं मापन :

'D/V' हे गुणोत्तर दुरुस्त करण्यासाठी ८ जून रोजी पृथ्वीपासून सूर्य आणि शुक्र यांच्या अंतराचं प्रमाण काय असेल, हे शोधलं पाहिजे. त्याची पहिली पायरी म्हणून सूर्य – पृथ्वीवरील आपण – शुक्र ह्या कोनाची कमाल किंमत मोजायची आहे.

शुक्र आणि पृथ्वी हे ग्रह सूर्याभोवती फिरतात – परिभ्रमण करतात. परिणामी, सूर्याच्या संदर्भात शुक्राची जागा वर्षभर बदलत असते. वर्षातील काही काळ शुक्र सूर्योदयापूर्वी पहाटे उगवतो, तर काही काळ तो सूर्यास्तानंतर देखील पश्चिम आकाशात चमकत राहातो. आपल्याला शुक्र आणि सूर्य यांच्यातील कोनाचं वर्षभरात मधून मधून मापन करायचं आहे. मार्च २००४ च्या शेवटी हा कोन सर्वात जास्त असेल. त्याची कमाल किंमत मोजायची रीत पुढे दिली आहे.

३.१ सप्टेंबर २००३ नंतर शुक्र सायंकाळी पश्चिम आकाशात दिसणार आहे. सूर्य अस्ताला

जाण्याच्यावेळी शुक्र जमिनीच्या पातळीशी किती अंशाचा कोन करतो हे आपण मोजणार आहोत.

३.२ चला तर, आपला दगड – दोरीचा कोनमापक बाहेर काढा. AB बाजूचा आधार घेऊन शुक्राकडे पहा. शुक्र A, B आणि डोळा सरळ रेषेत आणा आणि $\angle$ XNM मोजा.

३.३ या कोनाचं मापन करण्याची आणखीही एक पद्धत आहे. ती म्हणजे सूर्य अस्ताला गेल्यानंतर किती वेळाने शुक्र मावळतो हे मोजणं. कोन कमाल असताना ही वेळ सुमारे तीन तासांची असते.

३.४ पृथ्वी स्वतःभोवती २४ तासात एक प्रदक्षिणा पूर्ण करते. याचा अर्थ ती स्वतःभोवती २४ तासात ३६० अंशांनी फिरते. पृथ्वी स्वतःभोवती फिरत असल्यानेच सूर्य २४ तासात ३६० अंशांनी फिरत आहे असं आपल्याला जाणवतं. म्हणजे एका तासाला १५ अंशांनी सूर्य फिरताना दिसतो. जर सूर्यास्तानंतर ३ तासांनी (अचूक वेळ प्रत्यक्ष मोजायची आहेच) शुक्र मावळत असेल, तर सूर्य – पृथ्वीवरील आपण – शुक्र हा कोन ४५ अंशांचा होईल. वापरायला ही एकदम पद्धत सोपी आणि अचूक आहे.

**भाग ४ – सूर्य–शुक्र आणि सूर्य–पृथ्वी अंतरांचं गुणोत्तर :**

या कोनाचा वापर करून सूर्यापासून शुक्र आणि पृथ्वी यांच्या अंतरांचं गुणोत्तर शोधता येतं. त्यासाठी पायथागोरसचं प्रमेय, त्रिकोणाचे गुणधर्म आणि सोपं गणित यांचा वापर करायचा आहे. पृथ्वी आणि शुक्र हे ग्रह सूर्य या केंद्राभोवती तंतोतंत वर्तुळाकार कक्षेत फिरतात, असं आपण गृहीत धरूया.

Fig 6

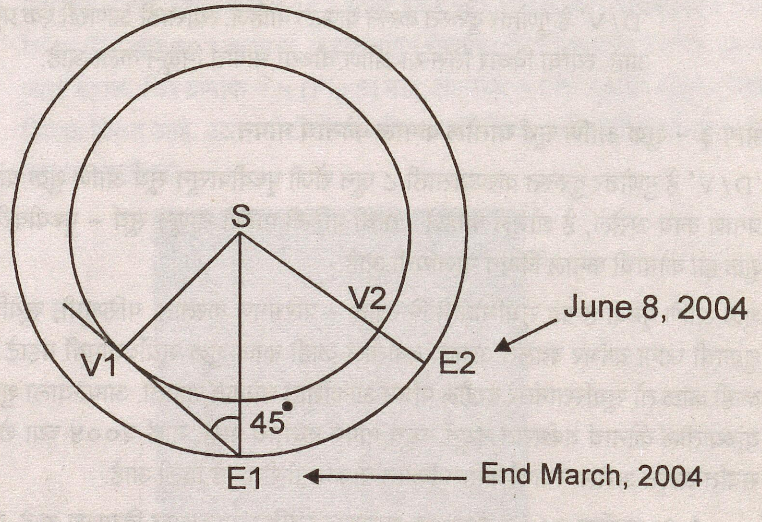
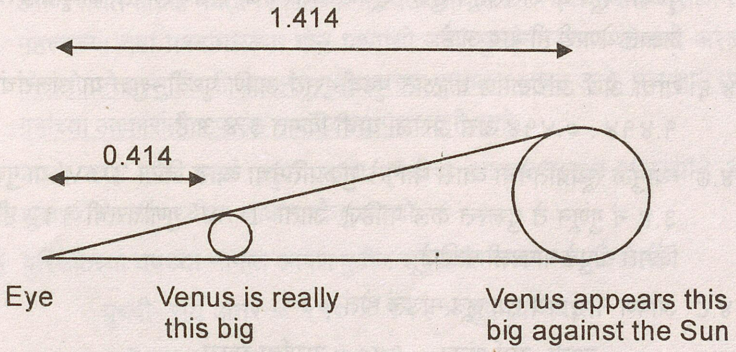


Fig 7




४.१ शुक्र हा आंतरग्रह आहे. म्हणजे आकृती – ६ (Fig 6) मधे दाखविल्याप्रमाणे त्याच्या कक्षेच्या बाहेर पृथ्वीच्या परिभ्रमणाची कक्षा आहे. $\angle$ VES ($\angle$ शुक्र–पृथ्वी–सूर्य) याच कोनाची कमाल किंमत आपण मार्च महिन्याच्या शेवटी मोजली आहे.

४.२ पृथ्वीच्या $E_1$ स्थितीपासून काढलेली स्पर्शिका शुक्राच्या कक्षेला जेथे स्पर्श करते, तेथे VES या कोनाची किंमत कमाल असेल. ती ४५° च्या आसपास भरली होती.

४.३ आता $\Delta S V_1 E_1$ याचा विचार करूया.

या त्रिकोणात $\angle S V_1 E_1$ याची किंमत ९०° आहे. कारण $V_1 E_1$ ही स्पर्शिका आहे.

तसेच, $\angle S E_1 V_1 =$ ४५° तो तर आपण मोजला आहे.

(प्रत्यक्ष मोजमाप केल्यावर हा कोन थोडा वेगळा येईल. त्याप्रमाणे पुढील गणितातही बदल करायचे आहेत.) या काटकोन त्रिकोणाच्या $V_1S$ आणि $E_1S$ या दोन बाजूंचे गुणोत्तर होईल,

$$V_1S/E_1S = 1/\mathrm{sqrt}(2) = 1/1.414$$

४.४ याच आकृतीमधे ८ जून २००४ रोजी सूर्य, शुक्र आणि पृथ्वी यांच्या एका सरळ रेषेतील जागा दाखविल्या (अनुक्रमे S, $V_2$ आणि $E_2$) आहेत. अधिक्रमणवेळी ग्रहांच्या तौलनिक जागा बदललेल्या असल्या तरी शुक्र–सूर्य किंवा पृथ्वी–सूर्य ही अंतरं बदलायचं काहीच कारण नाही. म्हणून

$$V_1S/E_1S = V_2S/E_2S = 1/1.414$$

४.५ अधिक्रमणवेळी सूर्य, शुक्र आणि पृथ्वी एकाच सरळ रेषेत येणार आहेत आणि शुक्र–सूर्य आणि पृथ्वी–सूर्य या अंतरांचं गुणोत्तर १ : १.१४१४ आहे.

परंतु, आपल्याला तर पृथ्वी–सूर्य आणि पृथ्वी–शुक्र या अंतरांचं गुणोत्तर हवं आहे. आता आकृती – ६ कडे नीट पाहा. पृथ्वी–शुक्र हे अंतर जर मिळवायचं असेल तर,

पृथ्वी–सूर्य या अंतरातून शुक्र–सूर्य हे अंतर वजा करावं लागेल. आकृतीवरून सहज लक्षात येणारी ही बाब आहे.

४.६ याचा अर्थ अधिक्रमण काळात पृथ्वी–सूर्य आणि पृथ्वी–शुक्र या अंतरांचं गुणोत्तर १.४१४ : ०.४१४ असं असेल. याची किंमत ३.४ आहे.

४.७ त्यामुळे सूर्यप्रतिमेचा व्यास भागिले शुक्रप्रतिमेचा व्यास किंवा 'D / V' या गुणोत्तराला ३.४ नं गुणून ते दुरूस्त केलं पाहिजे. आता 'D / V' गुणोत्तराची ११२ ही वास्तव किंमत यापुढे वापरली पाहिजे.

४.८ आपण १.६ मधे एक सूत्र मांडलं होतं:

पृथ्वी–सूर्य अंतर = ११० × सूर्याचा व्यास

ते आता असं होईल :

पृथ्वी–सूर्य अंतर = ११० × ११२ × शुक्राचा व्यास

शुक्राचा व्यास मोजला, की वरील सूत्र वापरून पृथ्वीपासून सूर्य किती अंतरावर आहे, या प्रश्नाचं उत्तर हाती येईल. पण शुक्राचा व्यास मोजायचा कसा?

## भाग ५ – शुक्राचा आकार :

५.१ आपण आता मूळ प्रश्न सोडविण्याच्या अगदी जवळ आलो आहोत. आपल्या हाती पुढील एक अत्यंत महत्त्वाचं सूत्र आलं आहे :

पृथ्वी–सूर्य अंतर = ११० × ११२ × शुक्राचा व्यास

शुक्राचा व्यास मोजला, की वरील सूत्र वापरून पृथ्वीपासून सूर्य किती अंतरावर आहे या प्रश्नाचं उत्तर हाती येईल. पण शुक्राचा व्यास मोजायचा कसा?

५.२ या प्रश्नाचं उत्तर शोधण्यासाठी आपण एक धाडसी विधान करणार आहोत आणि ते गृहीतक म्हणून मानणार आहोत. *शुक्र हा एक पृथ्वीसारखाच ग्रह असल्याने, शुक्राचा व्यास साधारणपणे पृथ्वीच्या व्यासाएवढाच आहे.*

तुम्ही हे गृहीतक अमान्य कराल, आणि तुमचं म्हणणं रास्तच आहे. इतकी मोठी गोष्ट आम्ही का गृहीत धरली? कोणत्याही मुलाला आणि मुलीला पृथ्वी–सूर्य अंतर मोजता यावं म्हणून. काम सोपं करण्यासाठी म्हणजेच ते शाळेत जाणाऱ्या विद्यार्थ्यांच्या अवाक्यात आणण्यासाठी दोन्ही ग्रहांचे आकार समान आहेत, असं आम्ही गृहीत धरायला सांगत आहोत.

५.३ यावर तुम्ही नक्कीच म्हणू शकाल, की दोन्ही ग्रहांचे आकार सारखे नसतीलही. मान्य. तुमची शंका अगदी योग्य आहे. दोन्ही ग्रहांचे आकार सारखे नसतील, तर एवढा आटापिटा करून मिळालेलं उत्तर अचूक नसेल. तरीही, त्याचं एक वेगळं महत्त्व असेल. प्रयोग

आणि गणित यांच्या मदतीने विद्यार्थ्यांनी स्वतः बांधलेला तो एक अंदाज असेल. सर्वात महत्त्वाच्या दहा प्रश्नांमधल्या दोन प्रश्नांची उत्तरं मुलांनी स्वतः शोधली असतील. योगायोगाने वस्तुस्थिती आपल्या गृहीतकाच्या पुष्कळच जवळ आहे. प्रत्यक्षात या दोन ग्रहांच्या आकारांतील फरक १० टक्क्यांपेक्षा कमी आहे.

५.४ आता काम सोपं झालं. शुक्र आणि पृथ्वीचा आकार समान मानल्याने आपण शुक्राच्याऐवजी पृथ्वीचा आकार मोजू शकतो.

५.५ पुस्तिकेच्या चवथ्या भागात आपण पुढील सूत्रापर्यंत मजल मारली होती.

पृथ्वी–सूर्य अंतर = ११० × ११२ × शुक्राचा व्यास

आपल्या गृहितकामुळे हे सूत्र असं बदलेल :

पृथ्वी–सूर्य अंतर = ११० × ११२ × पृथ्वीचा व्यास

५.६ मूळ प्रश्न सोडविण्यासाठी आता आपल्याला पृथ्वीचा व्यास तेवढा मोजायचा आहे. काम तुलनेनं सोपं झालं आहे.

## भाग ६ – पृथ्वीचा आकार आहे केवढा?

६.१ आपण इरोटोस्थेनस यांनी वापरलेली रीत नक्कीच वापरू शकतो. परंतु त्याहीपेक्षा सोपी पद्धत आपल्याकडे आहे.

६.२ भारताच्या पश्चिमेकडील कोणत्याही समुद्र किनाऱ्यावर मित्राला सूर्यास्त पाहायला घेऊन जा. हो, किनाऱ्याजवळ एखादी उंच इमारत किंवा डोंगर मात्र पाहिजे. तेथे पुढील प्रयोग करून पृथ्वीची त्रिज्या शोधायची आहे. (असाच प्रयोग पूर्व किनाऱ्यावर सूर्योदयाच्या वेळीही करता येतो.)

६.३ सूर्यास्तापूर्वी तुम्ही उंच इमारतीच्या गच्चीवर तयारीत उभे राहा. तुमचा मित्र खाली उभा राहील. दोघांनीही सूर्यास्ताची नेमकी वेळ नोंदवायची आहे.

६.४ किनाऱ्यावर खाली उभा असलेला तुमचा मित्र सूर्यास्त पाहत असेल. ज्या क्षणी सूर्यबिंबाचा शेवटचा बिंदू पाण्याखाली जाईल त्या क्षणी तो हात वर करून किंवा शिटी वाजवून तुम्हाला संकेत करेल. तुमचं लंबकाचं घड्याळ किंवा स्टॉपवॉच त्या क्षणी सुरू झालं पाहिजे. त्या नंतरही तुम्हाला सूर्य क्षितिजावर दिसतच राहील. कारण तुम्ही उंचावर आहात. तुमचं क्षितिज मोठं आहे.

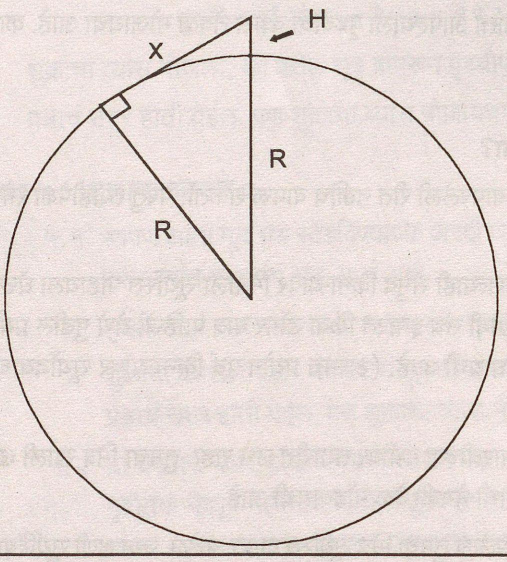
६.५ सूर्याचा शेवटचा बिंदू किती वेळानं पाण्याखाली गेला याची नोंद करा. म्हणजे किनाऱ्यावरच्या मित्राला दिसलेला सूर्यास्ताचा क्षण आणि तुम्हाला दिसलेला सूर्यास्ताचा क्षण यातील वेळेचा फरक तुम्हाला मिळाला.

त्रिज्या मापनाचं गणित समजण्यासाठी आपण सध्या असं गृहीत धरू की, तुम्हाला

तुमच्या मित्राच्या संकेतानंतर ३० सेकंदांनी सूर्यास्त झाल्याचं आढळलं आहे (प्रत्यक्षात प्रयोगातून जी वेळ मोजली जाईल तीच गणितासाठी वापरायची आहे, हे तुम्हाला सांगायची गरज नाही).

६.६ तुम्ही जितके जास्त उंचीवर असाल, तेवढा जास्त वेळ तुम्हाला सूर्य दिसणार आहे. म्हणजेच या वेळेचा तुमच्या उंचीशी संबंध आहे. मित्र शून्य उंचीवर उभा होता. समजा, तुम्ही H उंचीवर उभे आहात आणि X इतक्या अंतरापर्यंत पाहू शकत आहात. पृथ्वी गोल आहे, असं गृहीत धरल्यास हे क्षितिजापर्यंतचं अंतर (जिथे आकाश समुद्राला भिडतं आणि जिथे सूर्य अस्ताला जाताना दिसतो) साध्या गणिती सूत्रानं काढता येतं. X = (sqrt) ( 2 x H x R ), इथे R ही पृथ्वीची त्रिज्या आहे.

स्पष्टीकरणासाठी सोबत चौकट पहा.




$$X^2 + R^2 = (R+H)^2$$
$$= R^2 + 2RH + H^2$$
$$X^2 = 2RH + H^2$$

We can neglect $H^2$, which is small compared to 2RH

Therefore $X^2 = 2RH$

Or $X = \sqrt{2RH}$

$$X^2 + R^2 = (R + H)^2$$
$$= R^2 + 2RH + H^2$$
$$X^2 = 2RH + H^2$$

यातील 2RH च्या तुलनेत $H^2$ ची किंमत खूप कमी आहे. म्हणून

$$X^2 = 2RH$$

किंवा

$$X = (sqrt)(2RH)$$

६.७ स्वतःभोवती पृथ्वी २४ तासात एक प्रदक्षिणा पूर्ण करते. याचा अर्थ ती ३६० अंशातून फिरते किंवा स्वतःच्या परिघाएवढा प्रवास करून मूळ स्थितीत येते. आपल्याला पाहताना असं भासतं की सूर्यानं ३६० अंशाइतकी फेरी २४ तासात मारली. समुद्र किनाऱ्यावरून आणि H या उंचीवरून दिसणाऱ्या सूर्यास्ताच्या वेळात ३० सेकंदांचा फरक आहे. २४ तासांचं ३० सेकंदाशी जे गुणोत्तर तेच पृथ्वीच्या परीघाचं X या अंतराशी असणार.

६.८ गुणोत्तरांच्या गणिती भाषेत हे सूत्र असं मांडता येतं :

पृथ्वीचा परिघ / X = 24 * 3600 / 30 (एका तासाचे सेकंद = 3600)

म्हणून

पृथ्वीचा परिघ / X = 2880

किंवा

$$2 \Pi R / X = 2800$$

$$X^2 = (2 \Pi R)^2 / (2880)^2$$

६.९ परंतु ६.६ प्रमाणे

$$X^2 = 2HR$$

म्हणून

$$2HR = (2 \Pi R)^2 / (2880)^2$$

$$2 H = (2 \Pi / 2880)^2 R$$

वरील सूत्रावरून आपल्याला पृथ्वीच्या त्रिज्येचं सूत्र असं मांडता येईल –

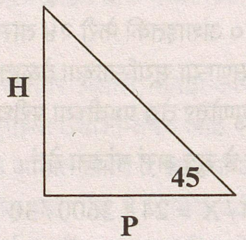
$$R = 2880^2 \; H / 2 \Pi^2$$

६.१० वरील सूत्रातील 2880 ही संख्या 24 तासांना 30 सेकंदांनी भागल्यामुळे आली आहे. प्रत्यक्षात समुद्रसपाटीवरून आणि उंचावरून दिसणाऱ्या सूर्यास्तांच्या वेळात 'T' सेकंदांचा फरक असेल, तर वरील सूत्र असं होईल :

$$R = [ ( (24 \times 60 \times 60) / T)^2 ] \times [ H / (2 \Pi^2 ) ]$$

६.११ हे सूत्र वापरताना आपण किती उंचीवरून सूर्यास्त पाहिला, हे देखील मोजलं पाहिजे. ही उंची आपला कोनमापक आणि दोरीच्या मदतीने तुम्ही नक्कीच मोजू शकाल. पायथागोरसचं प्रमेय मदतीला लागेलच.

**भाग ७ – इमारतीची उंची अशी मोजा :**




काम तसं सोपं आहे. पुन्हा एकदा दगड–दोरीचा कोनमापक काढा. बिल्डिंगचा वरचा बिंदू आणि AB नजरेच्या सरळ रेषेत आणा. आणि मागे मागे जा. बिल्डिंगपासून इतकं दूर जा की $\angle XNM$ हा 45° व्हायला हवा. आता बिल्डिंगपासूनचं तुमचं अंतर P आणि बिल्डिंगची उंची H हे समान झाले. (४५ – ४५ – ९० अंशाचा त्रिकोण) हातात दोरी आहेच. त्याने P मोजा. हीच H ची किंमत.

पृथ्वीच्या त्रिज्येचं गणित करण्यासाठी लागणारी माहिती आपण आता प्रयोगांनी जमविलेली आहे. वर्तुळाच्या त्रिज्येच्या दुप्पट व्यास असतो हे ही आपल्याला चांगलंच माहीत आहे.

सगळं काम आता संपलं आहे. ५.५ मधलं आपलं सूत्र होतं –

**सूर्य–पृथ्वी अंतर = १०० × ११२ × पृथ्वीचा व्यास**

प्रायोगिक प्रवासातून विश्वाचं एक रहस्य आपण उलगडलं आहे. पृथ्वी–सूर्य हे अंतर आपण स्वतः मोजलं आहे. त्याला ११० ने भागलं, की सूर्याचा व्यास किती असेल याही प्रश्नाचं उत्तर आपल्या मिळाल्यातच जमा आहे. आठ जून २००४ रोजी होणाऱ्या शुक्राच्या अधिक्रमणाचा उपयोग करून अत्यंत महत्त्वाचे प्रयोग करायची जय्यत तयारी तर झाली आहे.

तर मित्रांनो, प्रत्यक्ष करण्यातून विज्ञान शिकण्याची, विश्व समजून घेण्याची एक नामी संधी आपल्या आयुष्यात आली आहे. ती संधी गमावू नका. प्रयोग करा, निरीक्षणं नोंदवा, सुरक्षित सूर्यचष्म्यांमधून शुक्राचं अधिक्रमण पहा. विज्ञानाचा आनंद लुटा. तुम्ही कोणते प्रयोग केलेत ते आम्हाला जरूर कळवा.

### ब) सूर्य प्रयोगशाळा कशी तयार कराल? :

मोठाल्या प्रयोगशाळांतून जगभर दीर्घिकांचा आणि ताऱ्यांचा अभ्यास चालू आहे. या प्रयोगशाळांतून दूरवरून येणारा दीर्घिकांचा आणि ताऱ्यांचा क्षीण प्रकाश केंद्रीभूत करण्यासाठी दूरदर्शिकांचा वापर केला जातो. ही उपकरणं जास्त किंमतीची असतात. परंतु सर्व ताऱ्यांत सूर्य हा आपल्याला सर्वात जवळचा तारा आहे. त्याच्या प्रकाशाची तीव्रता भरपूर आहे. ही तीव्रता कमी करून सूर्याचा अभ्यास डोळ्यांना त्रास न होता कसा करायचा, असाच उलटा प्रश्न असतो. त्यामुळे सूर्याचा अभ्यास करण्यासाठी कमी अथवा शून्य खर्चात सूर्य – प्रयोगशाळा तयार करता येते. उत्तम दर्जाच्या सूर्यप्रतिमा मिळवणं हे यातलं महत्त्वाचं काम. त्याच्या तीन पद्धती आहेत.

- छोटा आरसा – Pocket Mirror Projector
- मोठ्या केंद्रलांबीचे मोठ्या नाभीय अंतराचे बहिर्वक्र भिंग - VLFL Convex Lens
- दूरदर्शिका – Telescope

अशा स्वतःच्या प्रयोगशाळेत तुम्ही शुक्राच्या अधिक्रमणाचा चांगला अभ्यास करू शकता.

### ब.१) छोटा आरसा वापरून सूर्याची प्रतिमा मिळवणं
### ( Pocket Mirror Projector )

सूर्याची प्रतिमा मिळवण्याची ही सर्वात सोपी आणि स्वस्त पद्धत आहे. सूर्यप्रकाशाची तीव्रता खूप असल्याने इतक्या साध्या साहित्यातूनही उत्तम दर्जाची प्रतिमा मिळवता येते.

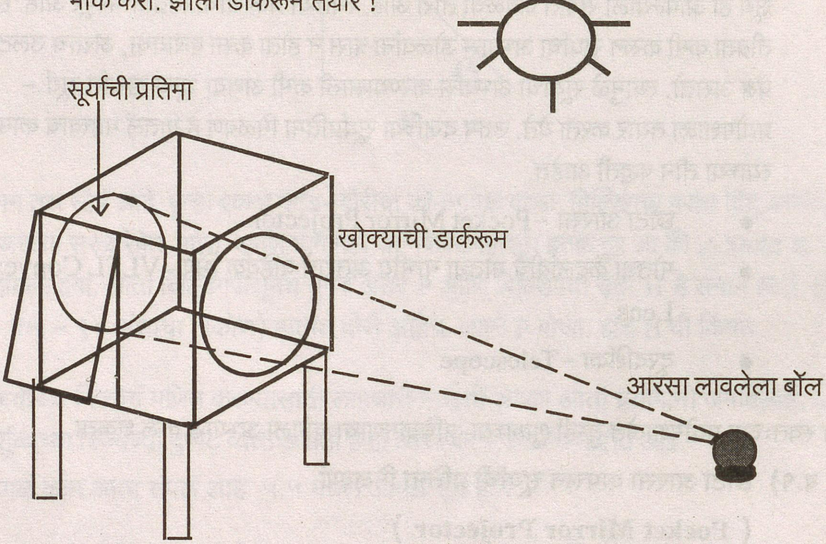
८ जूनच्या प्रयोगासाठी आपल्याला थोडी आधी तयारी करावी लागेल. यात सूर्याची प्रतिमा मिळवण्यासाठी योग्य जागा शोधणं, खोक्याची डार्करूम तयार करणं आणि छोटा आरसा स्थिर ठेवण्यासाठी सोय करणं या गोष्टी आल्या.

तळमजल्यावरची एक खोली आणि त्यासमोर सुमारे ३० मीटर मोकळं अंतर असेल अशी एक जागा पाहून ठेवा. या मधल्या जागेत रहदारी नको, फारशी ये–जा नको. (तळमजल्यावरचा वर्ग आणि त्यासमोरची मैदानातली जागा अगदी योग्य ठरते.) आरसा ठेवण्याच्या जागी दिवसभर ऊन आलं पाहिजे. ही खोली पडदे लावून अंधारी करता येत असेल तर सूर्याची प्रतिमा भिंतीवर घेता येईल. तसं नसेल तर मोठ्या खोक्याची एक डार्करूम बनवावी लागेल.

साधी आणि स्वस्त डार्करूम अशी बनवा :

एक मोठा खोका घ्या. जवळजवळ टी. व्ही. च्या खोक्याइतका. त्याच्या आतून एका

बाजूला पांढरा कागद चिकटवा. हा प्रतिमा घेण्याचा पडदा. या पडद्याच्या शेजारील बाजूचा थोडासा पुठ्ठा उघड-बंद करता येईल अशा रीतीने कापा. सूर्य आणि शुक्राच्या प्रतिमांचं माप घेण्यासाठी या खिडकीचा उपयोग होईल. पडद्याच्या समोरील बाजू उघडी हवी, कारण तेथूनच सूर्याची तिरीप आत जाणार. त्या बाजूला मध्यभागी मोठं गोलाकार भोक करा. झाली डार्करूम तयार !




आता ही डार्करूम वर्गात ठेवून ३० मीटर अंतरावर उन्हात धरलेल्या आरशाने त्यात सूर्याची प्रतिमा घ्या. सुमारे ३० सेमी व्यासाची प्रखर, स्पष्ट प्रतिमा मिळेल.

आता आपल्या लक्षात येईल की आपला हात स्थिर रहात नाही आणि प्रतिमा खूपच हलते. आरसा कशाला टेकवून ठेवायचा म्हटला तर पाहिजे त्या कोनात ठेवणं अवघड जातं. आरशाचा कोन किंचितही बदलला तरी अंतर खूप जास्त असल्यामुळे प्रतिमा खूपच दूर जाते. हा प्रश्न सोडवण्यासाठी संवेदनशील आणि स्थिर स्टँडची आवश्यकता आहे.

कोणताही कोन आणि स्थिर आधार असा मिळवा:

एक प्लॅस्टिकचा मोठा बॉल घ्या. त्याला एक भोक पाडून त्यात वाळू भरा. भोक परत चिकटवून टाका म्हणजे वाळू बाहेर सांडणार नाही. शाडूच्या मातीचा बॉलही यासाठी वापरता येईल. या जड बॉलवर छोटा आरसा चिकटवा. आता तुमच्याजवळ झाला एक स्थिर बसणारा जड गोळा. एखाद्या चुंबळीवर हा गोळा ठेवलात तर आरसा स्थिर ठेवणं आणि पाहिजे तेव्हा किंचितसा कोन बदलणं दोन्हीही साधता येईल. चुंबळ नसेल तर एखाद्या डब्यात माती घेऊन त्यावर बॉल ठेवला तरीही हे काम होईल.

हाच प्रयोग ८ जून २००४ रोजी केला तर सुमारे ३० सेमी व्यासाच्या सूर्यप्रतिमेवरून १ सेमी व्यासाची शुक्राची प्रतिमा सरकताना दिसेल.

## ब.२) मोठ्या केंद्रलांबीचं मोठ्या नाभीय अंतराचं बहिर्वक्र भिंग वापरून सूर्यप्रतिमा मिळवणं (Very Large Focal Length Convex Lens)

बहिर्वक्र भिंगातून सूर्यकिरण गेल्यास ते नाभीपाशी (फोकस) एकवटतात, हा साधारण अनुभव आहे. परंतु, भिंगाचे नाभीय अंतर खूप जास्त असेल, तर मात्र सूर्याची मोठी प्रतिमा मिळते. ती भिंगाच्या आकारापेक्षा बरीच मोठीही असू शकते (पिनहोल कॅमेऱ्याने मिळणारी सूर्यप्रतिमा अंतराप्रमाणे बदलत असल्याचं आपण पाहिलं आहेच).

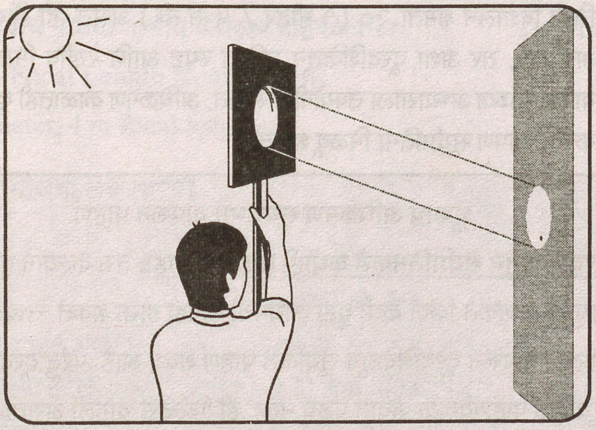
सूर्यबिंब १/२ अंशाचा कोन करत असल्याने, सूर्यप्रतिमेचा आकार सांगणारं गणिती सूत्र असं आहे :

सूर्यप्रतिमेचा व्यास / $(2 \Pi F) = (1/2 \text{ degree}) / (360 \text{ degrees})$

सूत्रात 'F' हे भिंगाचे नाभीय अंतर आहे. हे जर सेंटीमीटरमधे असेल, तर सूर्यप्रतिमेच्या व्यासाचं सूत्र वेगळ्या रूपात असे दिसेल –

सूर्यप्रतिमेचा व्यास (से.मी.मधे) = $(\Pi/360) \times$ नाभीय अंतर (से.मी.मधे)

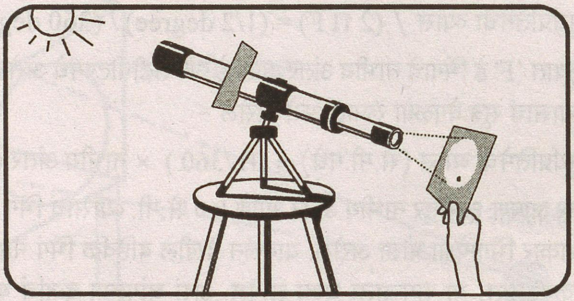
जर आपण ६ मीटर नाभीय अंतर आणि ५० से.मी. व्यासाचं भिंग घेतलं, तर प्रतिमेचा आकार भिंगापेक्षा मोठा असेल. यावरून देखील बहिर्वक्र भिंगं नेहमीच समांतर किरण एकवटतात, या समजाला धक्का लागेल. असं चांगल्या दर्जाचं बहिर्वक्र भिंगावर जर मोठ्या पुठ्ठ्याच्या मध्यभागी बसवलं तर पुठ्ठ्याच्या सावलीमुळे सूर्याची स्पष्ट प्रतिमा मिळेल. त्यावर शुक्राचं अधिक्रमण स्पष्टपणे पाहता येईल.



असं मोठ्या नाभीय अंतराचं बहिर्वक्र भिंग कोठे मिळेल? खेळण्याच्या दुकानात कमी नाभीय अंतरांची भिंगं उपलब्ध असतात. परंतु, तुम्ही जवळच्या चष्म्याच्या दुकानात +०.२५० नंबरची भिंगं सांगून बनवून घेऊ शकता. या भिंगाचं नाभीय अंतर ४ मीटर असेल. त्याने आपलं काम होईल.

## ब.३) दूरदर्शिकेतून सूर्यप्रतिमा :

सूर्यप्रतिमा घेण्यास सोयीस्कर अशी दूरदर्शिका तुम्ही घरी बनवू शकता. तिच्या पुढील भागासाठी (Objective) हे सुमारे १ मीटर नाभीय अंतराचं बहिर्वक्र भिंग वापरा. दूरदर्शिकेच्या डोळ्याकडील भागासाठी (Eyepiece) सुमारे ५ से. मी. नाभीय अंतराचं भिंग वापरा. या दोन भिंगांसाठी एक (सुमारे १ मीटर) लांब आणि दुसरी आखूड नळी देखील लागेल. ही छोटी नळी लांब नळीत सरकवता आली पाहिजे. तरीही या नळ्यां एकमेकांत घट्ट बसल्या पाहिजेत. माऊंट बोर्डच्या त्रिकोणात ही भिंगं बसवून त्रिकोणी नळ्या करणं जास्त सोपं जातं.



अशा दूरदर्शिकेची विशालनक्षमता वरील दोन भिंगाच्या नाभीय अंतरांच्या गुणोत्तराएवढी असते. वरील नाभीय अंतरांच्या भिंगांचा वापर करून जर दूरदर्शिका तयार केली, तर तिची विशालन क्षमता २० (१ मीटर / ५ से.मी.) असेल. ही भिंगं चांगल्या दर्जाची असतील, तर अशा दूरदर्शिकेतून प्रतिमा स्पष्ट आणि रेखीव मिळतील. त्या अनेक बारकाव्यांच्या अभ्यासाला उपयोगी असतात. अधिक्रमण काळातही दूरदर्शिकेचा उपयोग करून आपण सूर्यप्रतिमा मिळवू शकतो.

**शुक्राचं अधिक्रमण सूर्यचष्मा वापरून पाहणं**

**<u>दूरदर्शिकेतून सूर्यप्रतिमेकडे कधीही पाहायचं नाही.</u>** तसं केल्याने दृष्टी कायमची अधू होऊ शकते किंवा कधी दृष्टी कायमची बादही होऊ शकते. तत्त्वतः चांगले फिल्टर वापरून दूरदर्शिकेतून सूर्याकडे पाहणं शक्य आहे. परंतु दूरदर्शिकेतून सूर्याकडे पाहाण्याच्या फंदात पडूच नका. ही फिल्टर्स चांगली असतीलच असं नाही. आणि लक्षात घ्या की दूरदर्शिकांमधे प्रकाश एकवटत असतो. त्याचा डोळ्यांना त्रास होऊ शकतो. परंतु, सूर्याकडे दूरदर्शिकेशिवाय सरळ पाहता येतील, अशी फिल्टर्स नवनिर्मितीकडे उपलब्ध आहेत. यामधे प्रकाशाची तीव्रता १०,००० पटीने कमी होते.

**नवनिर्मिती :**

गणित व विज्ञान शिक्षणाचं सार्वत्रिकीकरण हे उद्दिष्ट घेऊन 'नवनिर्मिती' १९९५ पासून काम करत आहे. यासाठी, तसंच विज्ञानप्रसारासाठी अनेक नाविन्यपूर्ण वैज्ञानिक खेळणी आणि शैक्षणिक साहित्य इथे तयार होतं. 'ना नफा' तत्त्वावर चालणारी ही संस्था आहे.

**नवनिर्मितीमध्ये वरील प्रयोगांसाठी लागणारं पुढील साहित्य उपलब्ध आहे –**

**१ : सूर्यचष्मे**

हे सोलर फिल्टर्स आंतरराष्ट्रीय सुरक्षा मानकांप्रमाणे आहेत. त्यांची ऑप्टिकल डेन्सिटी ५ असून यामधे प्रकाशाची तीव्रता १०,००० पटीने कमी होते.

फिल्टरची किंमत प्रत्येकी रुपये ५ अशी आहे.

जर १०० पेक्षा जास्त फिल्टरची ऑर्डर आपण नोंदविलीत, तर त्यांची प्रत्येकी किंमत ३.५० रुपये असेल. आपली ऑर्डर १०,००० फिल्टरची असेल, तर किंमत प्रत्येकी २.५० रुपये असेल.

**२. साध्या दूरदर्शिकेसाठी भिंगांचा संच** **(रू. १०० प्रत्येकी)**

( 1 m focal length objective and 3 cm focal length eyepiece)

ही भिंगं वापरून साधी दूरदर्शिका बनवता येईल.

**३. मोठ्याकेंद्र लांबीचं मोठ्या नाभीय अंतराचं बहिर्वक्र भिंग** **(रू. १०० प्रत्येकी)**

Very Large Focal Length Convex Lens

75 mm diameter, 4 m focal length

(पॅकेजिंग आणि पोस्टेजचा खर्च स्वतंत्र)

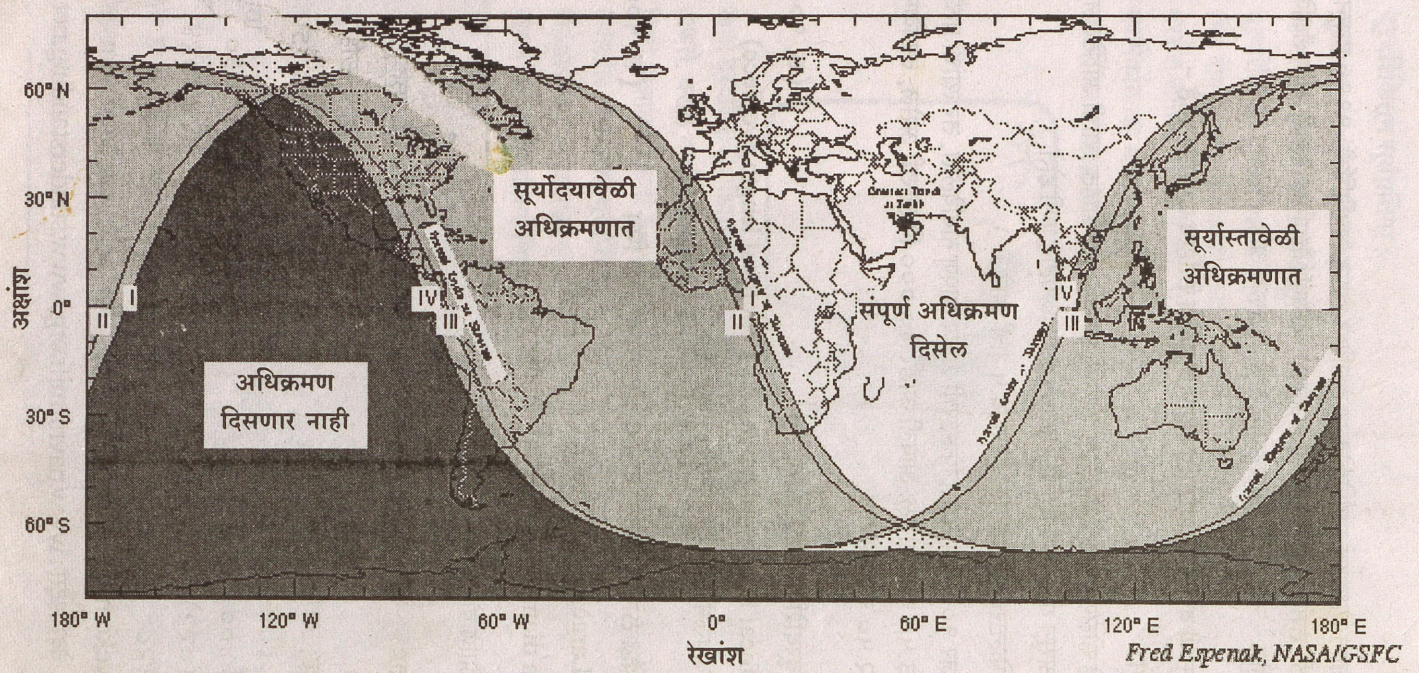
**आमचा पत्ता:**

**नवनिर्मिती,**
डिस्कवर इट, लेक साईट अपार्टमेंट,
आय. आय. टी. मेनगेटसमोर,
पवई, मुंबई ४०० ०७६
फोन नं –(०२२)२५७७३२१५,
२५७९२६२८
ई मेल : vivekcm@vsnl.com

**नवनिर्मिती, पुणे**
साकार, ५६४ ब, शनिवार पेठ,
यु.टी.आय. बँकेच्यावर,
रमणबाग चौक, पुणे ४११ ०३०
फोन नं – ०२०–२५४४ २७९४,
४०१२६२९
ई मेल : atulgita@vsnl.com

वेबसाईट्स : www.navnirmiti.org, www.sunderstanding.net

## शुक्राचे अधिक्रमण ८ जून २००४




८ जून २००४ - जगभरात अधिक्रमण कोठे दिसेल