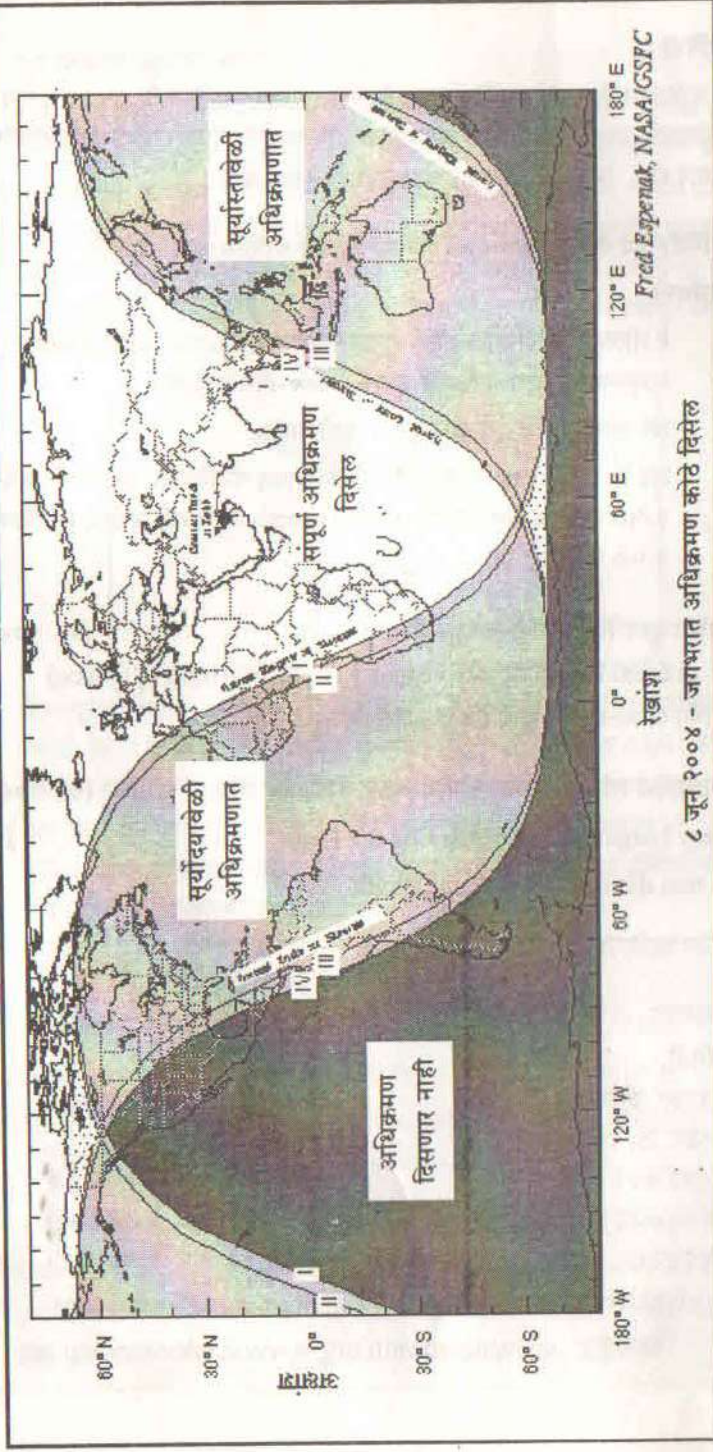


शुक्राचे अधिक्रमण ८ जून २००४

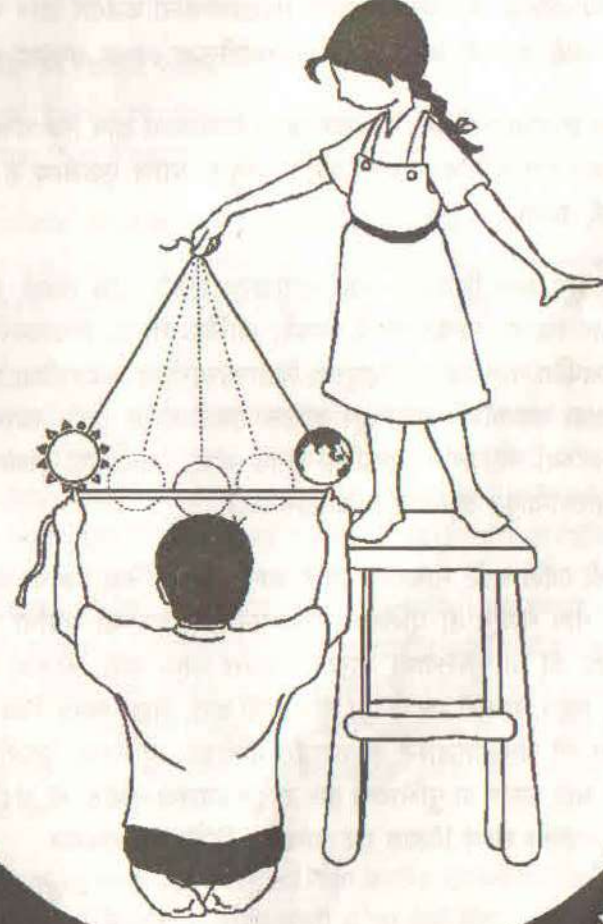


चला, विश्व मापू या दगड - दोरीने!

शुक्राच्या अधिक्रमणाचा प्रयोग २००४

डॉ. विवेक माँटेरो

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 उत्तरवायचं, 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 स्वरूपात 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 माँटेरो

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 ह्यात 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 (अॅस्ट्रोनॉमिकल युनिट 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 अॅनॅक्सोगोरसने (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 अॅनॅक्सोगोरस 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 उत्तर 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 गृहीतक सुधारून घेतलं. 'पृथ्वी गोलाकार आहे' असं गृहीत धरून त्यांनी दाखवून दिलं की अॅनॅक्सोगोरस यांनी काढलेलं ६५०० किलोमीटर हे उत्तर पृथ्वी-सूर्य अंतर नाही, तर ती पृथ्वीची त्रिज्या आहे.

सूर्य किती दूर आहे?

सहाजिकच अॅनॅक्सोगोरस यांचा महत्त्वाकांक्षी प्रश्न अनुत्तरित राहिला. अगदी अठराव्या शतकापर्यंत हा प्रश्न अनेकांना भेडसावत राहिला. गॅलिलिओ आणि न्यूटन यांनाही हे गूढ उकललं नव्हतं. अॅनॅक्सोगोरस 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 दृश्य 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, छोट्या 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. अप्रॉक्सिमेशनसचं 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 :

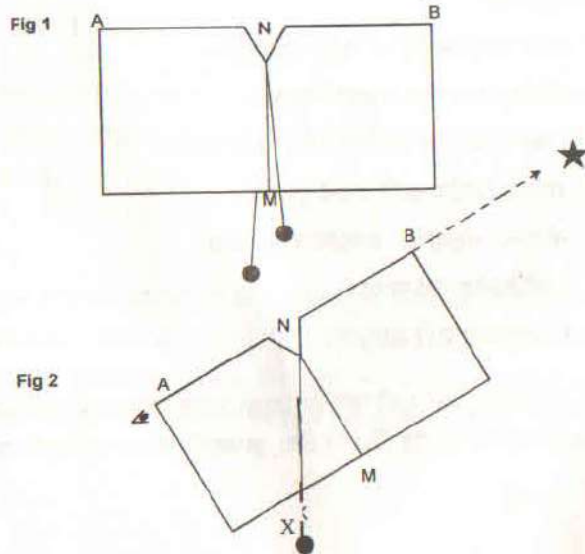
१. दोरीने लांबी.
२. दगड आणि दोरीचा कोनमापक वापरून कोन.
३. दगड आणि दोरीचा लंबक वापरून वेळ.

१. लांबी मोजूया :

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

२. कोन मापनासाठी दगड आणि दोरीचा कोनमापक :

- सुमारे एक मीटर लांबीच्या दोरीच्या दोन टोकांना एकेक दगड बांधा.
- चित्र क्रमांक - १ (Fig 1) मध्ये दाखविल्याप्रमाणे एक आयताकार न वाकणारा जाड पुढ्या 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. पुढ्याचा A हा बिंदू डोळ्याजवळ धरा आणि



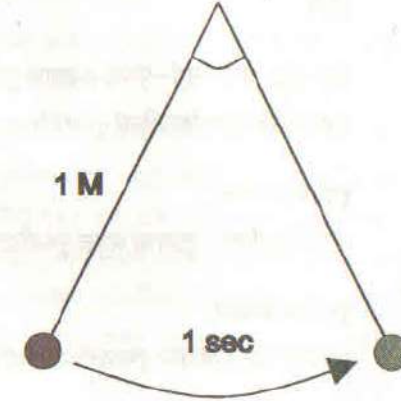
ताच्याकडे पहा. तुमच्या नजरेच्या बरोबर सरळ रेषेत AB ही बाजू येईल अशा तऱ्हेने पुढ्या धरा. चित्र क्र. २ (Fig 2) प्रमाणे तारा, A, B आणि डोळा सगळं एका रेषेत आलं पाहिजे.

- 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 घ्या. 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 सेकंद. एक सेकंद 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 अंतराचं 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.

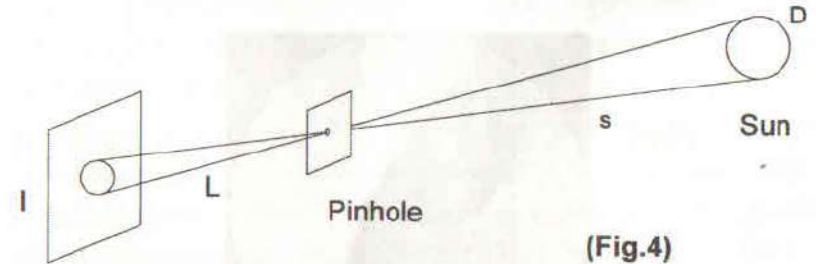
ब) सूर्य - प्रयोगशाळा कशी तयार कराल?

- छोट्या आरशाने सूर्याची प्रतिमा मिळवा (Pocket mirror projector)
- मोठ्या नाभीय अंतराचे बहिर्वक्र भिग वापरून सूर्याची प्रतिमा मिळवा (Very Large Focal Length-VLFL- Convex Lens)
- दूरदर्शिका वापरून सूर्याची प्रतिमा मिळवा (Telescope)

यांची सविस्तर माहिती पुस्तिकेच्या शेवटी दिली आहे.

भाग १ - सूर्यकार्ड :

- पोस्टकार्डच्या 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.
- कार्ड आणखी जास्त जास्त उंचीवर सावकाशीनं न्या. त्याचवेळी जमिनीवरील सूर्यप्रतिमांकडेसुद्धा लक्ष द्या.
- वर्तुळाकार सूर्यप्रतिमांचा व्यास 'I' आणि कार्डपासून 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 तीव्रतेमध्ये केवळ फरक आढळेल.
- वेगळाल्या उंचीवर कार्ड धरलं असता, व्यास आणि अंतर दोन्ही बदलेल. परंतु हे गुणोत्तर नेहमीच ११० च्या आसपास राहिल. कार्डच्याऐवजी 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?



Sun's image screen
 $L / I = S / D = 110$

चित्र क्रमांक - ४ (Fig 4) मध्ये 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 अँनॅक्सोगोरसने लावला होता.
हे गणिती भाषेत पुढीलप्रमाणे लिहिता येईल -

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

$$(\text{सूर्य-पृथ्वी अंतर}) / \text{सूर्याचा व्यास} = 110$$

- 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 वर्षे 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.

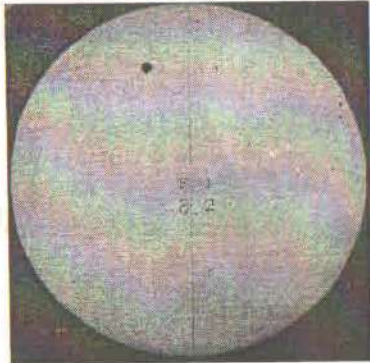


Fig 5

- 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 वस्तूपेक्षा 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 अंतरातील फरकाचा परिणाम लपलेला आहे.
२.६ असंच चंद्र आणि सूर्याच्या बाबतीतदेखील होतं. सूर्यापेक्षा चंद्र लहान असल्याचं आपल्याला माहित 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.
अंतरातील फरकांमुळे प्रतिमेच्या आकारात पडणाऱ्या फरकाचं कारण लक्षात घेता 'D/V' हे गुणोत्तर दुरुस्त करून वापरलं पाहिजे. त्यासाठी आपणही 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 राहतो. 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 करावाच आहे. पृथ्वी आणि शुक्र हे ग्रह सूर्य या केंद्राभोवती तंतोतंत वर्तुळाकार कक्षेत फिरतात, असं आपण गृहीत धरूया.

Fig 6

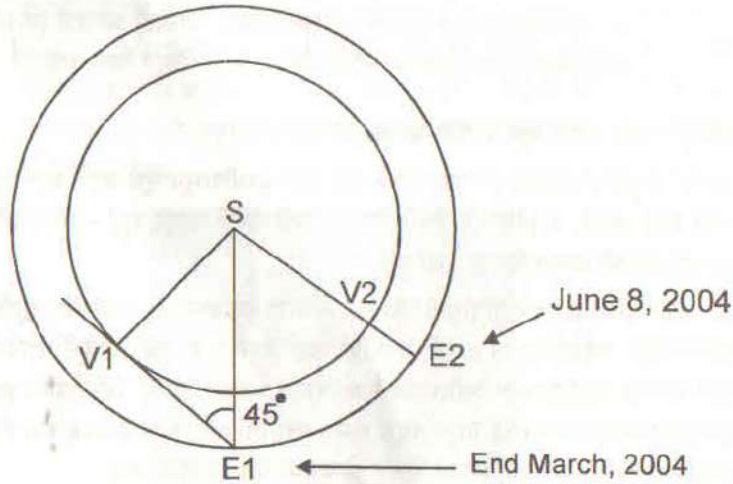
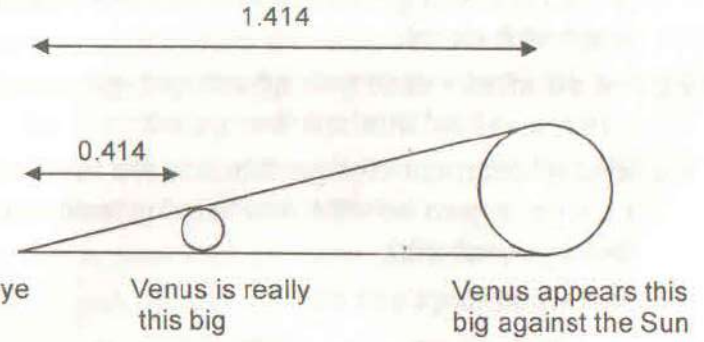


Fig 7



- ४.१ शुक्र हा आंतरग्रह आहे. म्हणजे आकृती - ६ (Fig 6) मध्ये 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 45° च्या आसपास भरली होती.
- ४.३ आता $\triangle SV_1E_1$ याचा विचार करूया.

या त्रिकोणात $\angle SV_1E_1$ याची किंमत 90° आहे. कारण V_1E_1 ही स्पर्शिका आहे. तसेच, $\angle SE_1V_1 = 45^\circ$ 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,

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

- ४.४ याच आकृतीमध्ये 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 अंतर 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 $9 : 9.9898$ 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 दुरुस्त केलं पाहिजे. आता 'D/V' गुणोत्तराची ११२ ही वास्तव किंमत यापुढे वापरली पाहिजे.
- ४.८ आपण १.६ मधे एक सूत्र मांडलं होतं:

$$\text{पृथ्वी-सूर्य अंतर} = ११० \times \text{सूर्याचा व्यास}$$

ते आता असं होईल :

$$\text{पृथ्वी-सूर्य अंतर} = ११० \times ११२ \times \text{शुक्राचा व्यास}$$

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 :
- $$\text{पृथ्वी-सूर्य अंतर} = ११० \times ११२ \times \text{शुक्राचा व्यास}$$
- 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.

$$\text{पृथ्वी-सूर्य अंतर} = ११० \times ११२ \times \text{शुक्राचा व्यास}$$

आपल्या गृहितकामुळे हे सूत्र असं बदलेल :

$$\text{पृथ्वी-सूर्य अंतर} = ११० \times ११२ \times \text{पृथ्वीचा व्यास}$$

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

भाग ६ - पृथ्वीचा आकार आहे केवढा?

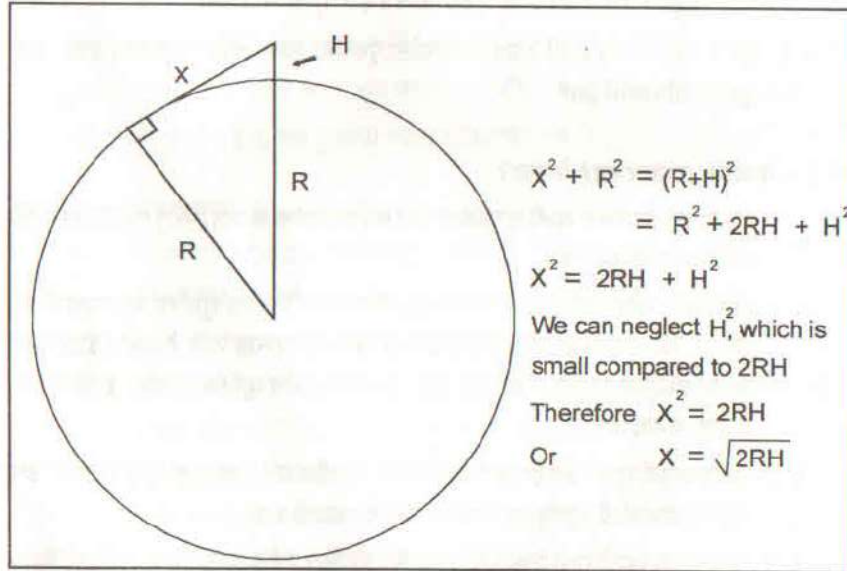
- ६.१ आपण इरोटोस्थेनस यांनी वापरलेली रीत नक्कीच वापरू शकतो. परंतु त्याहीपेक्षा सोपी पद्धत आपल्याकडे आहे.
- ६.२ भारताच्या पश्चिमेकडील कोणत्याही समुद्र किनाऱ्यावर मित्राला सूर्यास्त पाहायला घेऊन जा. हो, किनाऱ्याजवळ एखादी उंच इमारत किंवा डोंगर मात्र पाहिजे. तेथे पुढील प्रयोग करून पृथ्वीची त्रिज्या शोधायची 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 शिट्टी वाजवून तुम्हाला संकेत करेल. तुमचं लंबकाचं घड्याळ किंवा स्टॉपवॉच त्या क्षणी सुरु 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.

$X = (\text{sqrt})(2 \times H \times R)$, इथे R ही पृथ्वीची त्रिज्या आहे.

स्पष्टीकरणासाठी सोबत चौकट पहा.



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

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

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

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

$$X^2 = 2RH$$

किंवा

$$X = (\text{sqrt})(2RH)$$

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 :

$$\text{पृथ्वीचा परिघ} / X = 24 * 3600 / 30 \text{ (एका तासाचे सेकंद = 3600)}$$

म्हणून

$$\text{पृथ्वीचा परिघ} / X = 2880$$

किंवा

$$2 \pi R / X = 2880$$

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

६.९ परंतु ६.६ प्रमाणे

$$X^2 = 2HR$$

म्हणून

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

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

वरील सूत्रावरून आपल्याला पृथ्वीच्या त्रिज्येचं सूत्र असं मांडता येईल -

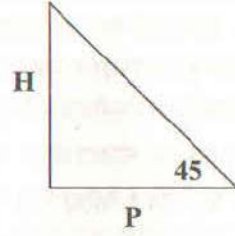
$$R = 2880^2 H / 2 \pi^2$$

६.१० वरील सूत्रातील 2880 ही संख्या 24 तासांना 30 सेकंदांनी भागल्यामुळे आली आहे. प्रत्यक्षात समुद्रसपाटीवरून आणि उंचावरून दिसणाऱ्या सूर्यास्ताच्या 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 माहित आहे.

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

$$\text{सूर्य-पृथ्वी अंतर} = १०० \times ११२ \times \text{पृथ्वीचा व्यास}$$

प्रायोगिक प्रवासातून दिशाचं 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, निरीक्षण 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.

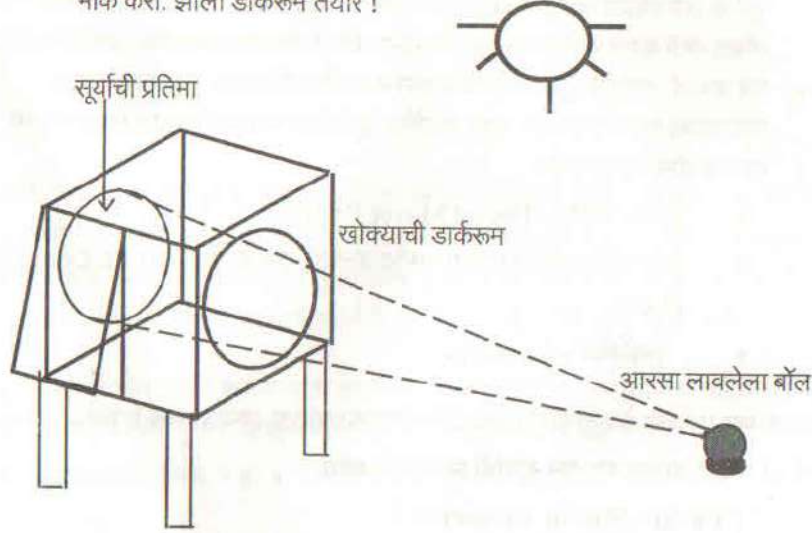
८ जूनच्या प्रयोगासाठी आपल्याला थोडी आधी तयारी करावी लागेल. यात सूर्याची प्रतिमा मिळवण्यासाठी योग्य जागा शोधणं, खोक्याची डार्करूम तयार करणं आणि छोटा आरसा स्थिर ठेवण्यासाठी सोय करणं या गोष्टी आल्या.

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 पुढा 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 स्टॅंडची आवश्यकता आहे.

कोणताही कोन आणि स्थिर आधार असा मिळवा:

एक प्लॉस्टिकचा 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 कॅमेच्याने मिळणारी सूर्यप्रतिमा अंतराप्रमाणे बदलत असल्याचं आपण पाहिलं आहेच).

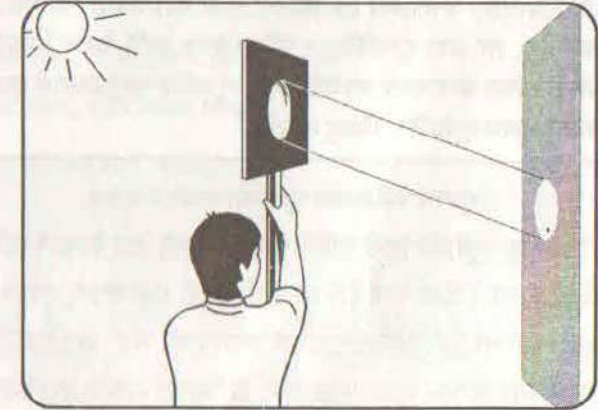
सूर्यबिंब $1/2$ अंशाचा कोन करत असल्याने, सूर्यप्रतिमेचा आकार सांगणारं गणिती सूत्र असं आहे :

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

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

$$\text{सूर्यप्रतिमेचा व्यास (से.मी. मध्ये)} = (\pi / 360) \times \text{नाभीय अंतर (से.मी. मध्ये)}$$

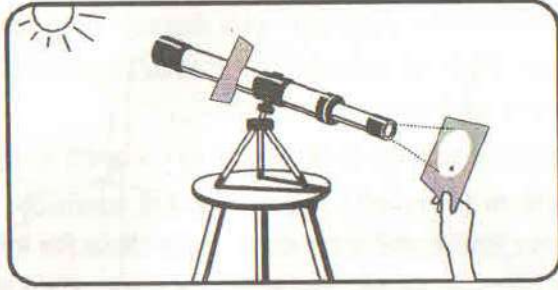
जर आपण ६ मीटर नाभीय अंतर आणि ५० से.मी. व्यासाचं भिंग घेतलं, तर प्रतिमेचा आकार भिंगापेक्षा मोठा असेल. यावरून देखील बहिर्वक्र भिंगं नेहमीच समांतर किरण एकवटतात, या समजाला धक्का लागेल. असं चांगल्या दर्जाचं बहिर्वक्र भिंगावर जर मोठ्या पुढ्याच्या मध्यभागी बसवलं तर पुढ्याच्या सावलीमुळे सूर्याची स्पष्ट प्रतिमा 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 डोब्याकडील भागासाठी (Eyepiece) सुमारे ५ से. मी. नाभीय अंतराचं भिंग वापरा. या दोन भिंगांसाठी एक (सुमारे १ मीटर) लांब आणि दुसरी आरखूड नळी देखील लागेल. ही छोटी नळी लांब नळीत सरकवता आली पाहिजे. तरीही या नळ्यां एकमेकांत घट्ट बसल्या पाहिजेत. मारुंट बोर्डच्या त्रिकोणात ही भिंगं बसवून त्रिकोणी नळ्या करणं जास्त सोपं जातं.



अशा दूरदर्शिकेची विशालनक्षमता वरील दोन भिंगांच्या 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

दूरदर्शिकेतून सूर्यप्रतिमेकडे कधीही पाहायचं नाही. तसं केल्याने दृष्टी कायमची अंधू 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 दूरदर्शिकांमध्ये प्रकाश एकवटत असतो. त्याचा डोब्यांना त्रास होऊ शकतो. परंतु, सूर्याकडे दूरदर्शिकेशिवाय सरळ पाहता येतील, अशी फिल्टर्स नवनिर्मितीकडे उपलब्ध आहेत. यामध्ये 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 यामध्ये प्रकाशाची तीव्रता १०,०००पटीने 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

(रु. 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

(रु. 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)२५७७३२९५,

२५७९२६२८

ईमेल : vivekcm@vsnl.com

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

नवनिर्मिती, पुणे

साकार, ५६४ ब, शनिवार पेठ,

यु.टी.आय. बाँकेच्यावर,

रमणबाग चौक, पुणे ४११ ०३०

फोन नं - ०२०-२५४४ २७९४,

४०९२६२९

ईमेल : atulgita@vsnl.com