

## Tellurium N

[ BAP\_1040416.doc ]



## Spis treści

Wskazówki ogólne .....	3
Najważniejsze elementy tellurium oraz ich obsługa .....	5

Lekcje do pracy z tellurium:

Wprowadzenie: Od własnego cienia do cienia figurki na globusie tellurium .	8
1. Ziemia, błąk w kosmosie .....	10
2. Dzień i noc .....	13
3. Linie południków i strefy czasowe .....	17
4. Dzień polarny i noc polarna .....	21
5. Koła podzwrotnikowe .....	23
6. Pory roku .....	25
7. Długość dnia i nocy na różnych szerokościach geograficznych 29 Arkusz roboczy „Długość dnia i nocy w różnych porach roku” .....	32
8. Pory dnia .....	33
9. Fazy Księżyca .....	36
10. Zaćmienia .....	39
11. Pływy .....	42
12. Pomiar obwodu Ziemi .....	45
13. Satelita geostacjonarny .....	47

Opisane jednostki lekcyjne są przeznaczone dla uczniów klas 4-8 (szkół podstawowych oraz średnich pierwszego stopnia).

W zamieszczonych na końcu każdej lekcji „dalszych rozważaniach astronomicznych” oferujemy uczniom i nauczycielom wyższych klas (szkoły średniej drugiego stopnia oraz szkół wyższych), oprócz informacji merytorycznych, możliwość łatwiejszego zrozumienia tych bardziej skomplikowanych zjawisk przy pomocy tellurium.

Nie ponosimy odpowiedzialności za szkody powstałe wskutek niezgodnego z przeznaczeniem użytkowania przyrządu.

## Wskazówki ogólne

Tellurium (z łac. tellus, Ziemia) to przyrząd słuŝący do przedstawiania ruchów Ziemi i Księżycy. Te ciała niebieskie, umieszczone na wysuniętym ramieniu, obracają się wokół źródła światła, które symbolizuje Słońce.

Tellurium jako model trójwymiarowy pozwala na ukazanie różnorodnych zjawisk, zachodzących w naszym układzie słonecznym, o wiele bardziej obrazowo niż przy pomocy innych środków.

Folie na przykład całkowicie nie nadają się do przedstawiania Ziemi jako bąka wirującego w kosmosie. Podobnie niemożliwe jest ukazanie przy ich pomocy dynamiki pór dnia i pór roku.

W czasach satelit ziemskich, anten-talerzy, podróŝy w kosmos oraz zawodu marzeń wielu uczniów – astronauty – znaczenie kosmosu ciągle wzrasta. Z tego teŝ względu powinniśmy w szkole poświęcać tym zjawiskom więcej uwagi niż dotychczas.

Dlaczego dzisiaj tak rzadko uŝywa się telluriów?

1. W procesie kształcenia nauczycieli na uczelniach wyższych tematy związane z astronomią nie są często w ogóle poruszane, zniknęły równieŝ z programów nauczania, mimo iŝ kosmos z uwagi na rozwój techniczny zyskuje coraz bardziej na znaczeniu z punktu widzenia człowieka.
2. Dostępne do tej pory na rynku telluria miały słabsze oświetlenie, a takŝe nie posiadały one możliwości oferowanych przez ten model.

Tellurium N z licznymi opatentowanymi rozwiązaniami zostało skonstruowane przez prof. dr. Jürgena Newiga z Instytutu Geograficznego Uniwersytetu w Kilonii we współpracy z Cornelsen Experimenta.<sup>1</sup>

„Rozważania astronomiczne” zostały opracowane przez prof. dr. Hermanna Königa z Kilonii.

Tellurium N jest skonstruowane tak, aby wymagało działania ze strony uŝytkownika – ucznia, tj. zjawiska nie zachodzą automatycznie, ale są zrozumiale obrazowane, z reguły przez uczniów. Aby ukazać na przykład zmieniające się pory roku, jeden uczeń prowadzi ręką ramię tellurium, podczas gdy drugi obraca Ziemię wokół własnej osi.

Zasada jest następująca: Wszelkie ruchy przedstawiane przy pomocy tellurium odbywają się przeciwnie do ruchu wskazówek zegara. Odnosi się to zarówno do pełnego obrotu ramienia w celu ustawienia pór roku (trzymać zawsze za uchwyt), jak równieŝ do obrotu Ziemi wokół własnej osi, rotacji Ziemi, jak równieŝ obrotu Księżycy wokół Ziemi.

Opakowanie

---

<sup>1</sup> Za dokonaną korektę manuskryptu składamy podziękowania pani prof. Ingrid Kretschmer, Wiedeń.

Opakowanie Tellurium N zawiera:

Przyrząd podstawowy Tellurium z soczewką Fresnela i płytką horyzontu z figurką do rzucania cienia

Pręt satelity

Marker, rozpuszczalny w wodzie 30644

Ściereczka czyszcząca, 2 szt. 18105

Lampa halogenowa niskociśnieniowa 12 V/20W (zapasowa) 47112

Zasilacz i kabel z wtykiem

Pokrowiec ochronny 311152

Instrukcja obsługi 311155

Dodatkowo do jednostki lekcyjnej nr 7 będzie potrzebna niebieska i czerwona plastelina:

Plastelina 10 kolorów 70200

## Najważniejsze elementy tellurium oraz ich obsługa

[rysunek] Elementy ramienia: A

Słońce

B Soczewka Fresnela w pozycji normalnej (1), pozycji Księżyca (2) oraz pozycji punktu słonecznego (3)

C Księżyc

D Kula ziemiska z wysuwającym prętem biegunowym E

Tarcza horyzontu z figurką do rzucania cienia

F Wskazówka miesiąca i tarcza kalendarza

Słońce (A)

Na powyższym modelu Słońce jest nieproporcjonalnie małe w porównaniu do globusa o średnicy 15 cm. Także jego odległość od Ziemi została znacznie skrócona.

Przy danych rozmiarach globusa, chcąc zachować proporcje, Słońce musiałoby znajdować się w odległości prawie 2 km i mieć wielkość 5-piętrowego domu.

Włączanie Słońca

Aby włączyć Śarówkę, należy najpierw włożyć wtyk kabla do gniazdka w podstawie tellurium, a następnie podłączyć zasilacz do gniazda sieciowego (230 V/50 Hz).

Wymiana Śarówki

Śarówkę (wyłącznie 12 V/20 W halogenowa niskociśnieniowa – nr zam. 47112) wymienia się, używając do tego ściereczki.

Wskazówka: Lampa halogenowa wytwarza wysokie temperatury podczas pracy. Także po ostygnięciu Śarówkę można dotykać wyłącznie przez ściereczkę itp.

Należy używać wyłącznie Śarówek halogenowych z zabezpieczeniem eksplozyjnym, wykonanych w technice niskociśnieniowej.

Soczewka Fresnela (B)

Pozycja 1 (Pozycja normalna): Soczewka Fresnela to soczewka wysokiej jakości. Zapewnia ona bardzo jasne, ukierunkowane światło, podobne do światła słonecznego. Wszystkie dotychczasowe telluria nie były w stanie wytwarzać światła ukierunkowanego, co sprawiało, że granica światło-cień na globusie nie była wyraźna, a natężenie oświetlenia niewielkie.

Pozycja 2: Przesuwając soczewkę na pozycję 2, zwiększamy stopień światła. Odpowiednio zmienia się też oświetlenie Księżyca.

Pozycja 3: Jeśli przestawimy soczewkę na pozycję 3, na globusie pojawi się punkt słoneczny z jasną aureolą.



Punkt znajduje się zawsze w miejscu, w którym o danej porze promienie słoneczne padają prostopadle na Ziemię. Punkt ten może zmieniać swoje położenia wyłącznie w ramach obszaru między zwrotnikami.

Wskazówka: Jeśli nie podano inaczej, soczewka Fresnela powinna znajdować się w pozycji 1. Pozycję soczewki zmienia się, chwytając ją wyłącznie za plastikowy uchwyt.

Napis na uchwycie musi być zawsze zwrócony w kierunku Słońca.

### Księżyc (C)

Proporcje wielkości Księżyca w stosunku do Ziemi zostały zachowane. Jego rzeczywista średnia odległość od Ziemi nie została jednak odpowiednio odwzorowana. Przy zachowaniu proporcji musiałaby wynosić 4,5 m. Z tego powodu przy schowanym pręcie teleskopowym przy pełni Księżyca znajduje się on zawsze w cieniu Ziemi, co w rzeczywistości zdarza się bardzo rzadko (zaćmienie Księżyca). Aby pokazać zjawisko pełni Księżyca, należy wysunąć pręt teleskopowy na tyle mocno, aby Słońce mogło oświetlać Księżyc. Orbita Księżyca wokół Ziemi, która kształtem przypomina koło, została tutaj przedstawiona w uproszczeniu i poprowadzona równoległe do ramienia, tzn. nie uwzględniono tutaj ekliptyki. Można ją jednak, o ile zachodzi taka konieczność, zasymulować odpowiednio rozciągając bądź zsuwając pręt podtrzymujący Księżyc w zależności od fazy Księżyca. Uproszczenie to wydaje się uzasadnione, ponieważ chodzi przede wszystkim o zobrazowanie zasady zmian faz bądź zaćmień Księżyca.

### Globus (D)

Globus ze swoimi 15 cm średnicy jest stosunkowo duży i widoczny nawet z dużej odległości. Oświetlenie tak dużego globusa umożliwia wysokiej jakości soczewka Fresnela o średnicy 16 cm.

Południki i równoleżniki są rozmieszczone na globusie co 15 stopni, co odpowiada liniom stref czasowych.

Na globusie i tarczy można pisać używając wyłącznie dołączonego do opakowania lub podobnego zmywalnego markera do rzutników.

Wskazówka: Aby dobrze przykleić tarczę horyzontu, należy oczyścić globus z kurzu. Zamiast znajdującej się w opakowaniu ściereczki (przed użyciem lekko zwilżyć) można również używać ręczników papierowych itp.

### Tarcza horyzontu z figurką do rzucania cienia (E)

Tarcza horyzontu z figurką do rzucania cienia ułatwia uczniom plastyczne wyobrażenie sobie demonstrowanych zjawisk. Mogą się oni bowiem z nią identyfikować. Na czerwonej linii wysokość figurki jest równa długości cienia.

Tarczę horyzontu mocuje się do globusa w taki sposób, aby litera „N” wskazywała biegun północny.

Wskazówka: Tarczę horyzontu należy chwycić zawsze za krawędź (nie za figurkę) i lekko obracając przycisnąć do globusa.

Nie należy kłaść tarczy nóżkami na włóknistej szmatce, ponieważ może to zmniejszyć jej przyczepność. W przypadku trudności z przymocowaniem tarczy, należy rozprowadzić masę klejącą na trzech nóżkach tarczy w kierunku dłuższego końca.

Wskazówka miesiąca i tarcza kalendarza(F)

Pod globusem znajduje się tarcza kalendarza, na której przy pomocy czerwonej wskazówki miesiąca można odczytać miesiąc właściwy dla danego położenia Ziemi względem Słońca. Tak więc nie ma tu możliwości popełnienia śadnego błędu. Prostopadłe ułożenie wskazówki miesiąca względem ramienia oznacza zrównanie dnia i nocy (ekwinokcjum, wielokrotne ekwinokcja) wiosną lub jesienią. Położenie równoległe natomiast - przesilenie letnie lub zimowe (solstycjum bądź solstycja). Zazwyczaj wypadają one: 21 marca, 21 czerwca, 23 września i 21 grudnia. Czasami (np. w roku przestępnym) daty te przesuwają się o jeden dzień.

Wskazówka: Przedstawiając ruchy obrotowe tellurium, zaleca się trzymanie go za uchwyt, widoczność i stabilność są wówczas optymalne.

Przechowywanie i transport tellurium

Podczas przechowywania/transportu tellurium zasilacz można włożyć do gniazda pozycji soczewki nr 3 (patrz strona 4).

W celu ochrony przed kurzem na czas nieużytkowania przyrządu, należy zakładać pokrowiec ochronny.

Tellurium najłatwiej transportować trzymając je za uchwyt.

**Wprowadzenie:** Od własnego cienia do cienia figurki na globusie tellurium

Zjawiska oświetlania Ziemi przez Słońce najlepiej zrozumieć przy pomocy własnego cienia. Wielu uczniów nie wie jednak, jakiej długości powinien być ich cień w poszczególnych porach roku. Dlatego teŜ przed rozpoczęciem pracy z tellurium naleŜy przeprowadzić lekcję o cieniu oraz pozycji Słońca z tym związanej.

Analizujemy długość naszego cienia w poszczególnych porach roku

**1. Wyobraźmy sobie, Ŝe latem w południe stoimy na szkolnym boisku i obserwujemy własny cień.**

Czy ktoś juŜ kiedyś coś takiego robił? Jak długi jest nasz cień w południe w letni dzień?

- Jest mniejszy od nas.

**2. Jak długi jest nasz cień w południe w zimowy dzień?**

- Około cztery razy wyŜszy od nas.

**3. W kwietniu i sierpniu w południe cień ma „normalną” długość.**

- Długość cienia odpowiada naszemu rzeczywistemu wzrostowi.

W tym kontekście nasuwa się kolejne pytanie, na które ponad połowa klasy nie zna prawidłowej odpowiedzi:

„Czy są miejsca na kuli ziemskiej, gdzie w południe człowiek w ogóle nie rzuca cienia?”

Tak, wokół równika aŜ do linii zwrotników (patrz Lekcja 5). Słońce świeci tam prostopadle.

To zdjęcie zostało zrobione latem na Teneryfie. Wyspa jest połoŜona blisko zwrotnika Raka, w związku z tym pod koniec czerwca w południe prawie w ogóle nie ma cienia.

Wyniki naszej pracy z cieniem w poszczególnych porach roku moŜemy przedstawić na rysunkach.

Arkuszy roboczy

A. Latem w południe cień jest krótki (koniec czerwca)

Długość cienia = mniejszy od figurki

(wysokość Słońca ok.  $61^\circ$  w Berlinie)

B. Zimą w południe cień jest bardzo długi (koniec grudnia)

Długość cienia = ok. cztery razy większy od figurki (wysokość Słońca ok.  $14^\circ$ )

C. Cień w południe średniej długości (kwiecień bądź sierpień)

Długość cienia = wysokość figurki



Wszystkie powyższe pytania możemy teraz sprawdzić przy pomocy tellurium:

### **Pozycja A - lato:**

Obracamy tellurium trzymając za uchwyt tak długo, aż czerwona wskazówka miesiąca wskaże 21 czerwca. Mamy teraz lato na półkuli północnej. Obracamy Europę w kierunku Słońca.

Stawiamy figurkę na terenie Niemiec i obracamy globusem to w jedną, to w drugą stronę, szukając ustawienia, w którym cień jest najkrótszy. Cień jest wyraźnie mniejszy od figurki, porusza się więc wewnątrz czerwonego koła.

### **Pozycja B – Zima:**

Stawiamy figurkę na terenie Niemiec i obracamy tellurium, trzymając za uchwyt tak długo, aż wskazówka miesiąca wskaże 21 grudnia. Mamy teraz zimę na półkuli północnej. Cień jest wyraźnie dłuższy od figurki. Cień rzucający przez same jej nogi (jedna trzecia całej długości) dochodzi do krawędzi tarczy. Cały cień jest około cztery razy większy od figurki.

### **Pozycja C - Kwiecień/Sierpień:**

Jeśli ustawimy wskazówkę miesiąca na kwietniu, długość cienia będzie równa wysokości figurki. Słońce porusza się, by 21 czerwca osiągnąć najwyższą wysokość górowania. Ponowny stan równowagi zostanie osiągnięty w sierpniu. Sprawdzamy to, ustawiając czerwoną wskazówkę miesiąca na sierpień.

W kwestii braku cienia

Przesuwamy teraz tarczę horyzontu z figurką na globusie, szukając miejsca, w którym figurka nie rzuca cienia. O danej porze jest tylko jedno miejsce na Ziemi, gdzie taka sytuacja ma miejsce. To miejsce jest zawsze położone między zwrotnikami.

Światło słoneczne oświetla tylko połowę kuli ziemskiej

Dzięki tellurium zauważymy, że Słońce oświetla przez cały czas tylko połowę kuli ziemskiej. Ponieważ Ziemia obraca się wokół własnej osi, w ciągu jednego dnia (24 godziny) prawie wszystkie miejsca na Ziemi znajdują się raz na oświetlonej i raz na nieoświetlonej półkuli.

Wskazówkę miesiąca pod globusem ustawiamy na jedną z równonocy (około 21 marca i 23 września). Obydwa bieguny są oświetlane smugowo. Takie ustawienie pokazuje bardzo jasno, że ciało niebieskie (dotyczy to również Księżyca i innych planet) oświetlane z większej odległości jest oświetlane zawsze tylko w połowie.

Wnioski: Słońce znajduje się w dużej odległości od Ziemi. Oświetla połowę kuli ziemskiej. Na oświetlonej części mamy dzień, na nieoświetlonej - noc.

- Demonstrujemy to na tellurium poprzez wielokrotne obracanie globusa.

## **1. Ziemia, bąk w kosmosie**

Tellurium ukazuje ruchy Ziemi wokół Słońca i Księżycy wokół Ziemi. Ziemia i Księżyc zostały odzwierciedlone we właściwych proporcjach wielkościowych. Jeśli chodzi o Słońce, gdyby właściwe proporcje zostały zachowane, musiałoby ono znajdować się w odległości prawie 2 km i mieć wielkość 5-piętrowego domu. Księżyc musiałby krążyć po tylnej części klasy (4,5 m odległości od globusa).

W tellurium wszystkie te odległości zostały znacznie skrócone. Stawiamy tellurium na stoliku nauczyciela.

Prosimy ucznia/-ów, aby obrócili kilkakrotnie Ziemię wokół jej osi.

Pojęcie osi Ziemi wyjaśniamy jako linię biegnącą od bieguna do bieguna i przebiegającą przez środek Ziemi.

Strzałka na globusie pokazuje nam, że Ziemia obraca się w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara.

Wnioski: Ziemia jest jak bąk w kosmosie. Kręci się przeciwnie do ruchu wskazówek zegara wokół własnej osi.

Wyciągamy teraz jak najdalej przedłużony pręt biegunowy. Obracamy duże ramię tak długo, aż koniec pręta będzie się znajdował jak najbliżej Słońca. Osiągniemy optymalne położenie, gdy czerwony wskaźnik miesiąca pod globusem będzie ustawiony równolegle względem ramienia. Mamy 21 czerwca (patrz tarcza kalendarza).

Widzimy, że Ziemia jest nachylona względem jej orbity wokół Słońca (ok. 23,5° nachylenia ekliptyki).

Pytamy uczniów, czy ich zdaniem oś Ziemi będzie wskazywała ten sam kierunek, jeśli obrócimy ramię o 180 stopni (o połowę roku).

Wskazówka: Najczęściej uczniowie dzielą się z odpowiedziami po połowie.

Obracamy ramię z globusem o połowę długości orbity wokół Słońca, przeciwnie do ruchu wskazówek zegara.

Przedłużona oś Ziemi pokazuje ciągle ten sam kierunek, tj. oś Ziemi nie zmienia swojego kierunku.

Obracamy ramię dalej, aż osiągniemy pozycję wyjściową i upewnimy się, że kierunek osi Ziemi nadal jest identyczny. Oś Ziemi wskazuje ciągle ten sam punkt na sklepieniu nieba (model nie uwzględnia nieznacznych wahań osi). W tym punkcie znajduje się gwiazda, określana jako Gwiazda Polarna.

Gwiazda Polarna jest tym samym jedyną gwiazdą, która mimo pozornych ruchów ciał niebieskich pozostaje zawsze w tym samym miejscu, tak więc z naszego punktu widzenia wydaje się stać na niebie, dokładnie na północy.

[rysunki na str. 8]

[z lewej] położenie osi Ziemi pod koniec czerwca [z  
prawej] położenie osi Ziemi pod koniec grudnia

Tę zależność znali już średniowieczni i starożytni żeglarze. Gdy żeglowali nocą, przy pomocy Gwiazdy Polarnej byli w stanie utrzymać mniej więcej właściwy kurs. Gwiazdę Polarną znajdziemy na niebie przedłużając tył „Wielkiego Wozu” o pięć długości do góry.

[rysunek] Gwiazda

Polarna Mały Wóz

Wielki Wóz

Na tablicy zapisujemy podstawowe wnioski:

Ziemia zachowuje się jak błąk w kosmosie. Oś Ziemi wskazuje zawsze ten sam kierunek. W rzeczywistości przedłużenie osi bieguna pokazuje gwiazdę, która znajduje się w tym miejscu przypadkowo i z tego względu została nazwana „Gwiazdą Polarną”.

Dalsze rozważania astronomiczne

Ziemia zachowuje się w kosmosie jak błąk. Patrząc od strony północnej, w ciągu jednego dnia wykonuje jeden pełny obrót wokół własnej osi, przeciwnie do ruchu wskazówek zegara. Siła odśrodkowa tego ruchu sprawia, że Ziemia na równiku jest nieco wybrzuszona. Geoida Ziemi jest zbliżona kształtem do elipsoidy obrotowej z półosią o kierunku biegun północny – biegun południowy o długości 6 356,8 km i dwoma półosiami w płaszczyźnie równika, każda o długości 6 378,1 km. Patrząc od strony północnej, w ciągu roku Ziemia dokonuje jednego pełnego obiegu wokół Słońca, poruszając się przeciwnie do ruchu wskazówek zegara. Ten ruch zachodzi w płaszczyźnie ekliptyki. Nie ma ona kształtu koła, ale zgodnie z prawami Keplera ma kształt elipsy. Ekscentryczność orbity Ziemi jest równa  $e = 0,0167$ . Oś Ziemi oraz prosta prostopadła do ekliptyki wykazują nachylenie równe  $\varepsilon = 23,44^\circ$ . Takie same nachylenie ma również płaszczyzna ziemskiego równika względem ekliptyki. Na początku wiosny i jesieni Ziemia znajduje się w punktach przecięcia tych dwóch płaszczyzn.

Ponieważ rozkład masy Ziemi z powodu wybruszenia równikowego jest nierównomierny, siły grawitacyjnego przyciągania Słońca i Ziemi próbują ustawić płaszczyznę równika w płaszczyźnie ekliptyki bądź oś obrotu Ziemi w linii prostej prostopadłej do ekliptyki. Ale tak jak w przypadku błąka, oś obrotu odchyła się od pionu. To prowadzi do powolnego obracania się osi Ziemi wokół bieguna północnego nieba, zgodnie z ruchem wskazówek zegara. Pełny taki obrót trwa 25 800 lat. To powoduje precesję ekwinokcji. Punkt równonocy wiosennej przesuwa się do tyłu względem sfery gwiazd stałych nieba o  $1^\circ$  co około 72 lata. Obecnie znajduje się w gwiazdozbiórze Ryb, jednak około roku 2600 wejdzie w gwiazdozbiór Wodnika.



[rysunek] Precesja

osi Ziemi

Płaszczyzna równika ziemskiego w ABCD

Z powodu ruchu precesyjnego osi Ziemi w kosmosie, przesuwa się także biegun północny nieba. Do roku 2100 będzie się on zbliżał do Gwiazdy Polarnej (Polaris), potem będzie się od niej oddalał. W czasach budowy piramid egipskich przed ok. 4500 laty, odchylenie rzeczywistego kierunku północy Ziemi wykazywało odchylenie o około  $25^\circ$  od Gwiazdy Polarnej, obecnie wynosi ono  $\frac{3}{4}^\circ$ . Mniejsze ruchy osi Ziemi są wywoływane poprzez przyciąganie grawitacyjne Księżyca (nutacja), planet i geoidy. Nachylenie ekliptyki wynoszące dzisiaj ok.  $23,44^\circ$  jest zmienne, waha się między  $22\frac{1}{2}^\circ$  a  $24\frac{1}{4}^\circ$  i obecnie nieznacznie zmniejsza się.



## 2. Dzień i noc

### 1. Strona dnia i strona nocy

W przypadku, gdy źródło światła znajduje się w znacznej odległości od kuli, jest ona oświetlana dokładnie w połowie. Ponieważ Słońce jest oddalone od Ziemi o miliony kilometrów, oświetla ono ciągle tylko jedną jej półkulę.

Należy wyjaśnić uczniom, że zasada ta obowiązuje w odniesieniu do wszystkich właściwych ciał niebieskich o kształcie kuli, np. w odniesieniu do Księżyca, ale także w stosunku do naszych sąsiednich planet. Podobnie jak Księżyc, który czasami jest bardzo jasny, innym razem prawie w ogóle niewidoczny, także planety zmieniają swoją jasność.

Wnioski:

- Oświetloną przez Słońce o danej porze część Ziemi nazywamy stroną dnia.
- Nieoświetloną przez Słońce o danej porze część Ziemi nazywamy stroną nocy.

Demonstrujemy to na tellurium.

Wskazówka: W ciągu 24 godzin każda część Ziemi doświadcza następstwa dnia i nocy, z wyjątkiem okolic bieguna, gdzie panują wyjątkowe warunki.

- Z nieoświetlonej części kuli ziemskiej nie można zobaczyć Słońca.

Pokazujemy to przy pomocy figurki do rzucania cień.

- Z oświetlonej części kuli ziemskiej Słońce jest zawsze widoczne, o ile nie jest zasłonięte chmurami.

Demonstrujemy to, jak poprzednio, przy pomocy figurki.

### 2. Ziemia obraca się wokół własnej osi (rotacja Ziemi – przeciwnie do ruchu wskazówek zegara)

Strona dnia i strona nocy występują na przemian z uwagi na obrót Ziemi wokół własnej osi, tj. rotację Ziemi. Ziemia dokonuje w ciągu 24 godzin jednego pełnego obrotu.

Uczeń wykonuje kilka pełnych obrotów Ziemi wokół własnej osi (tak jak pokazuje strzałka, przeciwnie do ruchu wskazówek zegara). Widzimy, że granica światłocien znajduje się przez cały czas w tym samym miejscu, mimo iż Ziemia się obraca.

W strefach przejściowych między światłem a cieniem obserwujemy zmierzch. Cienie podczas wschodu i zachodu Słońca są bardzo długie.

Demonstrujemy to przy pomocy figurki.

### 3. Jak rozpoznać na globusie, że mamy południe?

Ustawiamy tellurium na lato na półkuli północnej (21 czerwca). Czerwona wskazówka miesiąca pod globusem jest skierowana ku Słońcu.

Markerem zaznaczamy południk (linię południka), przebiegający przez Berlin (15° na wschód od Greenwich koło Londynu).

Stawiamy figurkę na Berlin. Obracając globus lekko w jedną i drugą stronę, szukamy ustawienia, w którym cień jest najkrótszy. Mamy południe.

W południe rzucany cień jest więc najkrótszy. Na półkuli północnej za zwrotnikiem raka wskazuje on kierunek północny.

### 4. Długość dnia i nocy na równiku taka sama przez cały rok (por. Lekcja 7)

Wskazówka: Człowiek znajdujący się na równiku wskutek rotacji Ziemi przebywa w ciągu 24 godzin odległość równą długości równika, tj. 40 000 km, czyli obwód Ziemi. W ciągu godziny jest to  $40\,000\text{ km} \div 24 = 1\,666,70\text{ km}$ . Nie zauważa on jednak tej prędkości, ponieważ jest ona stała. W tym samym czasie człowiek znajdujący się na biegunie obraca się tylko raz wokół siebie i nie przebywa prawie żadnej odległości.

Stawiamy figurkę na równiku. Czerwona wskazówka miesiąca jest ustawiona równolegle względem ramienia (21 czerwca – lato na półkuli pn.). Przyklejamy czerwony wałeczek plasteliny wzdłuż oświetlonej części globusa, niebieski – wzdłuż nieoświetlonej. Następnie oba przyklejamy na tablicę. Oba mają tę samą długość. (por. Lekcja 7).

Wysoka prędkość rotacji równika powoduje, że Słońce bardzo szybko przechodzi z fazy cienia w fazę światła. Fazy świtu i zmierzchu, posiadające wszędzie taką samą szerokość, mijają w okolicach równika najszybciej. Dlatego te świt i zmierzch trwają tutaj bardzo krótko. O wpół do szóstej wieczorem jest jeszcze jasno, a Słońce jest wyraźnie widoczne nad horyzontem, o wpół do siódmej natomiast mamy noc.

#### Pytania powtórzeniowe

Ile kilometrów ze względu na rotację Ziemi przebywa człowiek znajdujący się na równiku w ciągu dnia, tj. na oświetlonej części kuli ziemskiej a ile nocą?

- po 20 000 km

Ile godzin potrzebuje, aby przebyć taką odległość?

- 12 godzin, tj. w ciągu 24 godzin przebywa łącznie 40 000 km.

#### Dalsze rozważania astronomiczne

Dzień jako pojęcie można rozumieć dwojako. Po pierwsze, możemy mówić o dniu słonecznym trwającym 24 godziny. Jest to średni czas między dwoma kolejnymi przejściami Słońca przez tę samą linię południka obserwatora, a z drugiej strony okres jasności w określonym miejscu na Ziemi w przeciwieństwie do okresu ciemności - nocy.

Linia południka wyznacza wysokość górowania Słońca na niebie danego dnia. Dzień słoneczny jest o ok. 4 minuty dłuższy od dnia gwiazdowego. Jest to czas, jaki upłynie, zanim dany punkt na Ziemi będzie znajdował się

ponownie w tym samym położeniu względem sfery gwiazd stałych. Ponieważ Ziemia w tym samym czasie przesunie się o  $1^\circ$  na swojej orbicie wokół Słońca, musi ten jeden stopień „dokręcić” się, zanim Słońce znowu osiągnie linię południka.  $1^\circ$  jest równy  $1/360$  dnia = 4 minuty.

Obwód Ziemi na równiku wynosi  $2\pi \times 6\,378,1 \text{ km} = 40\,075 \text{ km}$ , prędkość rotacji na równiku natomiast około  $1\,670 \text{ km/h}$ . Równoleżnik na naszych szerokościach geograficznych (Berlin  $52,5^\circ \text{ N}$ ) ma obwód równy około  $24\,370 \text{ km}$ . Prędkość obrotu Ziemi wokół własnej osi wynosi w Berlinie tylko  $1\,015 \text{ km/h}$ .

Na innych planetach dni są częściowo znacznie dłuższe. Rotacja Wenus wokół własnej osi trwa 243 dni ziemskich, Merkurego 59 dni ziemskich, podczas gdy Mars wykazuje prawie taki sam jak Ziemia okres rotacji, tj.  $24\frac{1}{2} \text{ h}$ .

Latem na półkuli północnej oś Ziemi jest nachylona ku Słońcu. Z tego względu na tych szerokościach geograficznych  $\varphi$  ( $0 < \varphi < 90^\circ$ ) ponad połowa każdego równoleżnika jest oświetlona przez Słońce. Jasność panuje przez ponad 12 h, ciemność przez krócej niż 12 h. Ten efekt będzie tym większy, im dalej na północ będziemy się znajdowali. Za kołem podbiegunowym ( $\varphi > 66,56^\circ$ ) na początku lata w ogóle nie zapada noc. Zimą jest odwrotnie. Panuje tam nieustanna ciemność. Na naszych szerokościach geograficznych różnice w długości dnia są ogromne. Na szerokości  $\varphi = 52,5^\circ$  (Berlin) na początku lata jasno jest przez około 16 h 50 min, na początku zimy tylko przez 7 h 40 min.

Różnica daje się zauważyć również na terenie samych Niemiec. We Flensburgu na początku lata dzień jest o około 40 minut dłuższy niż w Monachium. Na naszych szerokościach geograficznych na początku wiosny i jesieni Słońce wschodzi na wschodzie i zachodzi na zachodzie. Na początku lata natomiast wschodzi na północnym wschodzie i zachodzi na północnym zachodzie. Na początku lata Słońce oświetla ponad połowę równoleżnika. Długość dnia  $T$  można opisać w przybliżeniu za pomocą następującego wzoru

[2 wzory]

gdzie

$\varphi$  = szerokość geograficzna,

$\psi$  = kąt orbity ziemskiej wokół Słońca mierzony od początku zimy  $\varepsilon = 23,44^\circ$

nachylenia ekliptyki

a  $\arccos(x)$  to kąt między  $0^\circ$  a  $180^\circ$ .

Jeśli  $|x| > 1$ , panuje 24-godzinny dzień ( $x < -1$ ) lub noc ( $x > 1$ ).

Długość dnia zależy więc od szerokości geograficznej oraz pory roku, która określa nachylenie osi Ziemi względem Słońca. Korzystając ze wzoru otrzymamy jednak wartości o 15 min mniejsze, ponieważ nie uwzględnia on efektu refrakcji w atmosferze i średnicy Słońca wynoszącej około  $\frac{1}{2}^{\circ}$ . Słońce jest widoczne jeszcze przed jego „geometrycznym” wschodem i po „geometrycznym” zachodzie. Zmierzch cywilny to faza, gdy Słońce znajduje się między  $0^{\circ}$  a  $6^{\circ}$  pod horyzontem. Ponieważ jednak pas zmierzchu posiada wszędzie taką samą szerokość, zmierzch na równiku trwa o wiele krócej niż u nas. Długość zmierzchu zmienia się również w zależności od pory roku. W Berlinie ( $\varphi = 52,5^{\circ}$ ) na początku lata świt i zmierzch trwają około 58 min, na początku zimy 48 min, a na początku wiosny i jesieni tylko około 40 min. Na równiku zmierzch cywilny trwa tylko 26 min 20 czerwca/22 grudnia bądź 24 min 21 marca/23 września, tak więc jest prawie o połowę krótszy niż w Berlinie.



### **3. Linie południków i strefy czasowe**

#### **1. Wszystkie punkty położone na jednej linii południka (południku) mają południe o tej samej porze**

Ustawiamy tellurium na 23 września.

Rysujemy markerem linię od bieguna północnego, poprzez Berlin i dalej na południe za równik. Linia ta oznacza południk 15 stopnia długości geograficznej wschodniej, przebiegający prawie dokładnie przez Berlin.

Stawiamy figurkę na tę linię, a dokładnie na punkt jej przecięcia z równikiem. Obracając globus lekko w prawą i lewą stronę szukamy ustawienia, w którym figurka nie rzuca cienia. W tym miejscu jest teraz południe. Słońce świeci tutaj prostopadle.

- Słońce świeci nad równikiem na 15° dł. geograf. wschodniej, trochę na wschód od Libreville, stolicy Gabonu.

Zostawiamy globus dokładnie w tej samej pozycji (najlepiej, jeśli jeden z uczniów go przytrzyma, a drugi uczeń przesunie figurkę na północ i postawi ją na Berlinie). Zwracamy uwagę na to, aby kierunek północny na tarczy wskazywał na biegun północny. Cień wskazuje teraz dokładnie północ, Słońce świeci więc na południu. W tym momencie mamy w Berlinie południe. Cień wychodzi nieznacznie za czerwoną linię, jest więc troszeczkę większy od figurki.

Przestawiamy teraz figurkę bardziej na południe, na Rzym. Cień jest wyraźnie krótszy.

Celem weryfikacji przesuwamy figurkę ponownie na równik koło Libreville. Kolejną miejscowością, której będziemy szukać, jest Walfischbucht, miasto w Namibii. Jest ono położone na zwrotniku Koziorośca.

Wskazówka: Wszystkie miejscowości położone na tej samej linii południka (południku), jak sama nazwa mówi, mają południe o tej samej godzinie. Możemy na przykład przelecieć samolotem tysiące kilometrów do Południowej Afryki, nie będziemy jednak musieli przestawiać naszych zegarków, jeśli pozostaniemy na tym samym południku (niewielkie różnice są możliwe, np. tam, gdzie latem nie przestawia się czasu na czas letni).

#### **2. Na półkuli południowej Słońce świeci od strony północnej (w strefie podzwrotnikowej okresowo)**

Przyjrzyjmy się bliżej cieniowi koło Walfischbucht. Jest wyraźnie krótszy od tego koło Berlina, ale przecieś sama miejscowość leży bliżej równika.

Przed wszystkim jednak: Cień w Walfischbucht w południowej Afryce wskazuje południe. W chwili, gdy na półkuli północnej mamy lato, Słońce świeci tutaj z północy. Dalej na południe, np. w Johannesburgu czy Kapsztadzie Słońce świeci z północy przez cały rok. Strony, po których Słońce wschodzi i zachodzi, pozostają te same, tj. wschód i zachód. Ziemia bowiem kręci się w jednym kierunku.

### 3. Godzina jako 1/24 część dnia

Tellurium zostawiamy w pozycji 23 września (równonoc). Czerwona wskazówka miesiąca jest ustawiona prostopadle do ramienia.

Odległość między liniami południka bądź południkami nazywamy długością geograficzną. Długość geograficzna może przyjmować wartości do 180 stopni (długość geograficzna wschodnia i zachodnia na wschód i zachód od południka zerowego w Greenwich koło Londynu), łącznie ma więc 360 stopni. Jako że Ziemia w ciągu 24 godzin dokonuje jednego pełnego obrotu wokół własnej osi, 360 stopni odpowiada 24 godzinom.

Innymi słowy: Jedna godzina to 1/24 część pełnego obrotu Ziemi wokół własnej osi.

□ Pełny obrót Ziemi demonstrujemy na tellurium. Część dzienna obejmuje 180 stopni, podobnie część nocna.

Są one liczone według linii siatki kartograficznej na globusie przebiegających co 15 stopni. Jeśli połowa dzienna trwa dwanaście godzin, oznacza to, że (180 ÷ 12) na jedną godzinę przypada 15 stopni.

Ziemia ze względu na rotację własną względem Słońca przebywa w ciągu godziny pas o szerokości 15 stopni. W okolicach równika jest on najszerszy (1 667 km). Na wyższych szerokościach geograf. jest odpowiednio węższy.

### 4. Podział na strefy czasowe

Rysujemy czarną linię na południku zerowym od bieguna północnego poprzez Londyn aż do równika. Stawiamy figurkę na równiku i obracamy globus lekko w jedną i drugą stronę, szukając punktu, w którym figurka nie będzie rzucała cienia.

□ Na całym południku zerowym mamy teraz południe. Uczeń zaznacza markerem koło Londynu godzinę „12”.

Zastanówmy się teraz, która godzina jest właśnie w Berlinie. Ponieważ Ziemia obraca się przeciwnie do ruchu wskazówek zegara, w Berlinie południe musiało już minąć. Berlin leży około 15° na wschód od Londynu, tj. o godzinę. W Berlinie mamy więc godzinę 13. Na południku 15° koło Berlina zaznaczamy godzinę „13”. Przesuwamy się teraz godziną po godzinie w kierunku wschodnim (14, 15, 16 itd.). W Bangladeszu mamy już 18, w Japonii 21 a na południku 180°, linii zmiany daty, mamy 24.

Podobnie postępujemy z półkulą zachodnią. W Irlandii, na 15° długości geograficznej zachodniej, mamy godzinę 11 przed południem, we wschodniej części Grenlandii 10, w Nowym Jorku 7, w Kalifornii 4 rano a na linii zmiany daty (180 stopień długości geograficznej zachodniej) godzinę 0.

### 5. Linia zmiany daty

Wskazówka: Na 180 południku spotykają się dwa dni. Rezultatem tego jest różnica w datach wynosząca jeden dzień, którą zauważa się przy



przekraczaniu linii zmiany daty. Przekraczając ją ze wschodu na zachód przeskakujemy jeden dzień, natomiast przekraczając z zachodu na wschód powtarzamy tą samą datę.

#### Dalsze rozważania astronomiczne

Jedna godzina to  $1/24$  dnia słonecznego. W Starożytności ale również jeszcze w Średniowieczu, kiedy nie było jeszcze dokładnych zegarków, godzina była równa  $1/12$  okresu jasności w danym punkcie na Ziemi. Długość godziny zależała więc od pory roku i szerokości geograficznej. Ponadto każda miejscowość miała swój lokalny czas, ponieważ wysokość górowania Słońca danego dnia wyznaczała „południe, godzinę 12” i czas zależał tym samym bezpośrednio od długości geograficznej  $\lambda$ .

Linia południka to południk przebiegający przez wszystkie punkty na Ziemi, w których górowanie Słońca danego dnia następuje o tej samej godzinie. O tej porze cień rzucany przez przedmioty i osoby jest najkrótszy. Wraz z rozwojem sieci kolejowej w XIX wieku mnogość czasów lokalnych okazała się być przeszkodą. Ok. roku 1840 w całej Anglii wprowadzono więc jedną strefę czasową bazującą na czasie lokalnym Londynu/Greenwich. Wcześniej bowiem czas w Bath np. „późnił się” w stosunku do londyńskiego o ok. 10 minut.

[rysunek]

10 rano	11 godzina	12 godzina
30° dł. geogr. zach. (wsch. Grenlandia)	15° (Irlandia)	0° (Londyn)
na zachód	1 godzina	1 godzina

Podobne starania dot. ustalenia stref czasowych podejmowano później również w USA. W roku 1884 na międzynarodowej konferencji w Waszyngtonie wyznaczono obowiązujące dzisiaj strefy czasowe, bazujące na czasie lokalnym południków oddalonych od siebie o 15°. Za południk wyjściowy uznano południk 0° przebiegający przez Greenwich. Obowiązujący u nas czas środkowoeuropejski to czas południka 15° dł. geograf. wschodniej, przebiegającego niedaleko granicy polsko-niemieckiej. W miejscowościach leżących na 10° dł. geogr. wschodniej (np. Hamburg) Słońce góruje ok. 20 min później niż w miejscowościach leżących na 15° dł. geogr. wschodniej, na podstawie którego to południka wyznaczono nasz czas.

Strefy czasowe o szerokości 15° mają na równiku szerokość 1 670 km ( $1/24$  obwodu Ziemi wynoszącego 40 075 km). Na wysokości Berlina mają one niewiele ponad 1 000 km szerokości, jako że równoleśnik Berlina ma odpowiedni mniejszy obwód.

Ziemia porusza się po orbicie o kształcie elipsy wokół Słońca, przy czym Słońce znajduje się w jednym z jej ognisk. Prędkość Ziemi na orbicie jest tym większa, im mniejsza jest jej odległość od Słońca (prawa Keplera). Przez punkt najbliższy Słońcu Ziemia przechodzi co roku ok. 4 stycznia, przez najbardziej oddalony ok. 5 lipca. Daty te zmieniały się na

przestrzeni wieków i przesuwają się powoli wstecz kalendarza ze względu na precesję. Prędkość kątowna Ziemi na półkuli północnej jest zimą znacznie wyższa niż latem. Ziemia musi w stosunku do środka roku trochę „nadgonić”, aby Słońce znowu osiągnęło linię południka. Latem przekracza tę linię odpowiednio wcześniej. Dni w styczniu wydłużają się tym samym do 8 sekund w porównaniu ze średnią długością dnia.

Także nachylenie osi Ziemi wpływa nieznacznie na zmienność długości dnia w zależności od linii południka. Zależnie od pory roku wahania wynoszą  $\pm 20$  s w porównaniu do średniej długości dnia. Rzut kąta  $\alpha$  z punktem równonocy wiosennej na ekliptyce na płaszczyznę równika (nachylenie  $\varepsilon = 23,44^\circ$ ) daje w wyniku kąt nieznacznie odbiegający od  $\alpha$ , o ile  $\alpha$  nie jest równe  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  lub  $270^\circ$ . Oba zjawiska nakładają się na siebie i zostały skumulowane przedstawione w postaci krzywej równania czasu. W grudniu dni są dłuższe do 28 s od średniego dnia, na początku września do 22 s krótsze.

[wykres]

Równanie czasu: Czas pozorny minus czas średni

Aby dni i godziny miały jednakową długość, w roku 1900 wprowadzono dzień słoneczny, który stanowi średnią długości dni na linii południka, obliczoną na podstawie danych z wielu lat. Różnica między średnim czasem słonecznym a prawdziwym czasem słonecznym, mierzonym na podstawie przejść Słońca przez linię południka, może wynosić do 16 min. Jest to skumulowany efekt wynikający z faktu, że dni mogą być dłuższe do 28 s lub krótsze do 22 s w porównaniu do dnia średniego. Równanie czasu opisuje to zjawisko. Odzwierciedla ono różnicę między czasem prawdziwym a średnim. Maksymalna różnica wynosząca 16 min jest osiągana 4 listopada, minimalna -14 min, 12 lutego danego roku. W Hamburgu np. 12 lutego górowanie Słońca następuje o godz. 12 + 20 min ( $10^\circ$  E zamiast  $15^\circ$  E) + 14 min równania czasu = 12.34



## **4. Dzień polarny i noc polarna**

Tellurium ustawiamy na lato na półkuli północnej: czerwona wskazówka pod globusem wskazuje 21 czerwca.

Biegun północny jest nachylony w kierunku Słońca. W takiej pozycji półkula północna otrzymuje więcej światła słonecznego niż półkula południowa. Dlatego też oświetlony obszar półkuli północnej obejmuje również część za biegunem.

Obracamy Ziemię o 24 godziny, tj. dokonujemy jednego pełnego obrotu obserwując jednocześnie linię światła-cienia na biegunie północnym, jak również sam biegun. Biegun północny jest oświetlony przez cały czas obrotu. Słońce nie zachodzi więc, niezależnie od tego ile razy obrócimy globus.

Jeden z uczniów przykłada zmywalny (!), dołączony do opakowania marker pionowo do linii światło-cień, drugi natomiast obraca globus. Powstaje linia o kształcie koła. Odpowiada ona linii koła podbiegunowego. Wewnątrz koła podbiegunowego są dni w roku, gdy Słońce nie wschodzi albo nie zachodzi. Na biegunie taki okres trwa pół roku, na kole podbiegunowym jest to tylko jedna noc.

Latem na półkuli północnej, tj. w czasie, który ustawiliśmy, Słońce na biegunie nie zachodzi przez pół roku. Okres ten rozpoczyna się na trzy miesiące przed 21 czerwca i kończy trzy miesiące później, czyli w równonoc wiosenną i jesienną, odpowiednio w marcu i wrześniu. Świeci tu wówczas tzw. słońce polarne.

Na półkuli południowej, gdzie teraz mamy zimę, Słońce przez pół roku nie pojawia się nad linią horyzontu. Mamy tutaj noc polarną.

Obracamy teraz tellurium o 180 stopni, a więc o pół obrotu, śledząc jednocześnie z wysuniętą osią bieguna kierunek bieguna. Wskazuje on wciąż to samo miejsce w przestrzeni. Teraz jednak biegun północny jest odwrócony do Słońca, zwrócony ku Słońcu jest natomiast biegun południowy.

Oznacza to, że na biegunie północnym mamy teraz noc polarną. Obracamy globus kilka razy wokół jego osi i widzimy, że Słońce nie dociera do tej części kuli ziemskiej.

Oznacza to, że na biegunie północnym mamy teraz noc polarną. Obracamy globus kilka razy wokół jego osi i widzimy, że Słońce nie dociera do tej części kuli ziemskiej.

Obszar wokół bieguna północnego nazywamy Arktyką, a wokół południowego Antarktyką. Na Antarktyce świeci teraz Słońce polarne.

Dalsze rozważania astronomiczne

Na północ od koła podbiegunowego, równoleśnika leżącego na szerokości  $\varphi = 90^\circ - 23,44^\circ = 66,56^\circ$  Słońce świeci przez 24 h. Na biegunie północnym dzień polarny trwa pół roku, od początku wiosny do początku jesieni. Wewnątrz koła podbiegunowego Słońce polarne świeci w określonych okresach od początku wiosny do początku jesieni i to tym dłużej, im bardziej na północ się znajdujemy (między  $66,56^\circ$  a  $90^\circ$ ).

Wewnątrz koła podbiegunowego na półkuli południowej między  $66,5^\circ$  a  $90^\circ$  S panuje wtedy noc polarna.

Na początku lata na półkuli północnej na kole podbiegunowym Słońce przekraczając linię południka świeci na południu i znajduje się na wysokości  $46,9^\circ$  nad horyzontem. Słońca polarne przebijają się z północy, przy czym pozostaje ono nieprzerwanie ponad linią horyzontu. Na biegunie północnym 21 czerwca Słońca znajduje się na stałej wysokości  $23,44^\circ$ . Na szerokościach pomiędzy, około  $\varphi = 75^\circ$  N, jest podobnie. Słońce południowe świeci na wysokości  $23,44^\circ + (90^\circ - 75^\circ) = 38,44^\circ$  nad horyzontem południowym, Słońce polarne jest jeszcze widoczne na wysokości  $23,44^\circ - (90^\circ - 75^\circ) = 8,44^\circ$  ponad horyzontem półkuli północnej.

Z powodu zmiernicy także na obszarach na południe od koła podbiegunowego na początku lata niebo jest jasne przez 24 godziny. Taka sytuacja ma miejsce w przypadku zmiernicy cywilnego (Słońce znajduje się między  $0^\circ$  a  $6^\circ$  poniżej linii horyzontu) na szerokościach geograficznych na północ od  $60,56^\circ$  N. Przy zmiernicy nawigacyjnym (do  $12^\circ$  poniżej horyzontu) takie zjawisko można zauważyć nawet na najbardziej wysuniętych na północ krańcach Niemiec ( $\varphi > 54,56^\circ$ ).

## 5. Koła podzwrotnikowe

Dla celów tej jednostki lekcyjnej soczewkę Fresnela należy ustawić w pozycji 3 „Punkt słoneczny”.

Obracamy ramię, a wskazówka miesiąca wskaże 21 czerwca (lato na półkuli północnej).

Stawiamy tarczę horyzontu z figurką dokładnie na punkt słoneczny i widzimy, że figurka nie rzuca żadnego cienia.

- Punkt słoneczny w prosty sposób pokazuje nam miejsce na kuli ziemskiej, w którym Słońce świeci pionowo.

Odkładamy tarczę horyzontu na bok. Przykładamy marker do punktu słonecznego. Drugi uczeń obraca globus trzymając go poniżej punktu słonecznego, tak aby powstało zamknięte koło.

Obracamy teraz ramię o 180 stopni. Wskazówka miesiąca wskazuje na 21 grudnia. Przykładamy ponownie marker do punktu słonecznego i rysujemy drugie koło w takiej samej odległości od równika.

Koła te określane są mianem zwrotników, ponieważ Słońce nie przekracza ich linii, aby iść dalej w kierunku bieguna, ale po osiągnięciu w tym miejscu górowania zawraca w kierunku równika.

- Zwrotnik na półkuli północnej nazywany jest zwrotnikiem Raka, na południowej zwrotnikiem Koziorośca. Nazwy te pochodzą od gwiazdozbiorów w zodiaku o tej samej nazwie.

Obszar pomiędzy zwrotnikami nazywany jest tropikiem.

W ciągu roku w strefie tej (abstrahując od linii samych zwrotników) Słońce zmienia kierunek, z którego świeci. Na równiku Słońce przez pół roku świeci z północy (między 21 marca a 23 września), a przez pół roku z południa. Zawsze jednak wschodzi na wschodzie a zachodzi na zachodzie (patrz też Lekcja 3.2).

Obracamy teraz ramię o 180 stopni, tj. ustawiamy tellurium na 21 czerwca.

Obracamy globus, a południk zerowy znajdzie się w punkcie słonecznym. Zaznaczamy to miejsce krzyżykiem. Obracamy teraz tellurium o jeden miesiąc na koniec lipca. Zatrzymujemy się i w punkcie słonecznym ponownie stawiamy krzyżyk. Tak samo postępujemy obracając tellurium o kolejne miesiące aż do maja.

Łączymy wszystkie punkty i otrzymujemy wygiętą linię biegnącą między zwrotnikami wokół równika. Wyobraźmy sobie cały proces raz jeszcze wykonując pełny obrót tellurium i obserwujemy świadomie widoczne zawracanie Słońca na zwrotnikach.

Wnioski: Słońce może świecić prostopadle wyłącznie na obszary znajdujące się między zwrotnikami, nie poza nimi.

Dalsze rozważania astronomiczne



Na początku lata na półkuli północnej 21 czerwca Słońce oświetla prostopadle równoleśnik  $23,44^\circ$  N, tj. północny zwrotnik, czyli Zwrotnik Raka. Oś Ziemi jest wówczas nachylona o  $23,44^\circ$  w kierunku Słońca. Odpowiednio w czasie przesilenia zimowego Słońce oświetla prostopadle równoleśnik  $23,44^\circ$  S, tj. południowy zwrotnik, czyli Zwrotnik Koziorośca. Słońce świeci prostopadle wyłącznie w tropiku, czyli obszarze leżącym między zwrotnikami. Na szerokościach geograficznych  $\varphi$  między  $23,44^\circ$  N a  $23,44^\circ$  S ma to miejsce dokładnie dwa razy w roku, na równiku ( $\varphi = 0^\circ$ ) na początku wiosny i jesieni. W tropiku w zależności od pory roku Słońce może świecić od strony północnej lub od południowej.

Ponieważ nachylenie ekliptyki  $\varepsilon = 23,44^\circ$  w ciągu tysięcy lat zmieniało nieznacznie swoją wartość, zmieniło się również położenie zwrotników i kół podbiegunowych. Około 7500 r. p.n.e. nachylenie ekliptyki osiągnęło najwyższą wartość około  $24\frac{1}{2}^\circ$ , około 12 000 r. n.e. osiągnęła wartość minimalną  $22\frac{1}{2}^\circ$ , aby następnie znowu zacząć rosnąć. Zmiany te są wywołane efektami przyciągania grawitacyjnego planet na geoidę. Cykl wahań nachylenia ekliptyki trwa średnio 41 000 lat. Nutacja natomiast to dodatkowe okresowe drganie osi ziemskiej o dużo mniejszej sile, wywoływane przyciąganiem grawitacyjnym Księżyca. Tutaj daje się zauważyć okres rotacji linii węzłów orbity Księżyca wynoszący 18,6 lat. Ta linia węzłów to linia przecięcia płaszczyzny orbity Księżyca z ekliptyką. Nawet w przypadku, gdy – jak np. koło Asuanu w Egipcie północny zwrotnik jest zaznaczony na stałe, zmienia on powoli swoje położenie. Obecnie porusza się ze średnią prędkością 14 m rocznie na południe.

[Wykres]

Nachylenie ekliptyki w poszczególnych wiekach od roku 2000 (za J.

Meeus: Astronomical Algorithmus)



## 6. Pory roku

### 1. Lato na półkuli północnej (zima na półkuli południowej)

Rozpoczynamy lato na półkuli północnej, tj. wskazówka miesiąca ustawiona jest równoległe do ramienia, mamy jedną z dwóch skrajnych pór roku. Czerwona wskazówka wskazuje 21 czerwca (przesilenie letnie, solstycjum).

Półkula północna jest skierowana ku Słońcu (pod kątem  $23,5^\circ$  - nachylenie ekliptyki), co szczególnie wyraźnie widać na wysuniętej osi biegunowej.

Przesuwamy naszą figurkę tak długo, aż znajdziemy miejsce, w którym nie rzuca cienia. Mamy południe i znajdujemy się na zwrotniku Raka.

[rysunek]

Lato na półkuli północnej: Oś Ziemi jest nachylona ku Słońcu.

Wnioski: 21 czerwca (lato na półkuli północnej) Słońce świeci prostopadle na Zwrotnik na półkuli północnej. Półkula północna jest uprzywilejowana, jeśli chodzi o światło słoneczne.

### 2. Jesień na półkuli północnej (wiosna na półkuli południowej)

Obracamy tellurium o ćwierć obrotu przeciwnie do ruchu wskazówek zegara. Tellurium wskazuje 23 września. Biorąc pod uwagę lata przestępne jak również inne przyczyny data ta może się czasami przesunąć o jeden dzień.

- Stawiamy figurkę tak, aby nie rzucała cienia, tj. na równiku.

Słońce oświetla równomiernie obie półkule, północną i południową. Biegun północny i południowy znajdują się w takiej samej odległości od Słońca, tj. oś Ziemi ustawiona jest teraz bokiem do Słońca.

Oba bieguny znajdują się w takiej samej odległości od Słońca. Światło słoneczne muska je swymi promieniami. Na całym świecie mamy teraz równonoc (ekwinokcjum), tj. dzień i noc mają po 12 godzin.

Mamy jesień na półkuli północnej bądź wiosnę na południowej.

Wnioski: 23 września (jesień na półkuli północnej) Słońce świeci nad równikiem. Mamy równonoc (ekwinokcjum). Dzień i noc trwają na całej kuli ziemskiej po 12 godzin.

### 3. Zima na półkuli północnej (lato na półkuli południowej)

Jeśli obrócimy tellurium o kolejne ćwierć obrotu dotrzemy do 21 grudnia (przesilenie zimowe, solstycjum) a tym samym do drugiej skrajnej pory roku, zimy na półkuli północnej. Słońce świeci teraz prostopadle na zwrotnik na półkuli południowej, widzimy to obserwując naszą figurkę.

[rysunek]

Zima na półkuli północnej. Słońce świeci prostopadle na Zwrotnik Koziorośca.

Wnioski: 21 grudnia (zima na półkuli północnej) Słońce świeci prostopadle na Zwrotnik na półkuli południowej. Półkula południowa jest uprzywilejowana, jeśli chodzi o światło słoneczne.

#### **4. Wiosna na półkuli północnej (jesień na półkuli południowej)**

Obracamy tellurium o kolejną ćwierć obrotu i docieramy do wiosny na półkuli północnej. Wskazówka miesiąca wskazuje 21 marca. Podobnie jak jesienią Słońce muska promieniami obydwie bieguny. Mamy drugą równonoc w roku (ekwinokcjum).

Stawiamy figurkę ponownie w miejscu, gdzie nie rzuca śadnego cienia, tj. ponownie na równiku. Oznacza to, że Słońce świeci prostopadle nad równikiem co pół roku. Także na pozostałym obszarze znajdującym się między zwrotnikami promienie słoneczne padają na Ziemię prostopadle dwa razy do roku. Nie dzieje się to jednak w równych odstępach, jak w przypadku równika.

Wnioski: 21 marca (wiosna na półkuli północnej) Słońce świeci nad równikiem. Mamy równonoc (ekwinokcjum). Dzień i noc na całej kuli ziemskiej trwają po 12 godzin.

Upewniamy się przy pomocy tellurium, że półkula północna ze względu na nachylenie osi Ziemi 21 czerwca otrzymuje więcej światła słonecznego niż półkula południowa. Obracamy ramię o 180 stopni na 21 grudnia. W ciągu roku więc obie półkule są równomiernie oświetlane światłem. Tym samym ciepło i zimno na Ziemi rozkładają się lepiej, niż miałyby to miejsce w przypadku, gdyby oś Ziemi była prostopadła (do orbity Ziemi wokół Słońca).

Wybryk natury sprawił, że oś Ziemi jest pochylona o  $23,5^\circ$  w stosunku do linii prostopadłej do orbity Ziemi wokół Słońca. To sprawia, że względnie duży obszar Ziemi otrzymuje wystarczającą ilość ciepła, które umożliwia życie roślin, zwierząt oraz człowieka.

Wnioski: Dzięki nachyleniu osi Ziemi natura stwarza więcej przestrzeni życiowej dla człowieka, roślin i zwierząt.

#### **Dalsze rozważania astronomiczne**

Pory roku powstają dzięki okresowo zmieniającemu się nasłonecznieniu różnych regionów świata, spowodowanemu przez nachylenie równika ziemskiego względem ekliptyki o  $\epsilon = 23,44^\circ$ . Na początku lata 21 czerwca oś Ziemi jest nachylona ku Słońcu a na zwrotnik na półkuli północnej znajdujący się na szerokości geograficznej  $\varphi = 23,44^\circ$  promienie słoneczne padają pod kątem prostym. W Berlinie Słońce podczas górowania nie osiąga wprawdzie wysokości  $90^\circ$ , ale osiąga swoją wysokość maksymalną tj.  $90^\circ - 52,5^\circ + 23,44^\circ = 60,94^\circ$ . Poziom nasłonecznienia na metr kwadratowy jest wówczas w Berlinie jedynie o



13% niższy niż w przypadku prostopadłego padania promieni słonecznych ( $\sin 60,94^\circ = 0,87$ ). Na początku zimy 22 grudnia w Berlinie Słońce znajduje się na wysokości  $90^\circ - 52,5^\circ - 23,44^\circ = 14,06^\circ$ . Nasłonecznienie na metr kwadratowy w Berlinie jest wówczas aż o 76% mniejsze niż w przypadku prostopadłego padania promieni słonecznych ( $\sin 14,06^\circ = 0,24$ ). Promieniowanie słoneczne w Berlinie w południe na początku zimy stanowi więc tylko ok. 28% promieniowania z początku lata ( $\sin 14,06^\circ \div \sin 60,94^\circ = 0,28$ ). Na początku wiosny i jesieni nasłonecznienie jest o 39% mniejsze niż na równiku, tj. tam gdzie Słońce w południe świeci prostopadle ( $\sin 37,5^\circ = 0,61$ ). Gdyby oś Ziemi nie była nachylona, nasłonecznienie to miałyby taką samą wartość przez cały rok. Tym samym nie mielibyśmy pór roku.

W równonoc wiosenną ( $\approx 21$  marca) i jesienną ( $\approx 23$  września) Ziemia na swojej orbicie wokół Słońca znajduje się na linii węzłów, tj. linii przecięcia płaszczyzny równika ziemskiego z ekliptyką. Słońce świeci w tych dniach prostopadle na równik. W chwili solstycjum letniego ( $\approx 21$  czerwca) Słońce świeci prostopadle na Zwrotnik Raka, podczas solstycjum zimowego ( $\approx 21$  grudnia) na Zwrotnik Koziorożca. Słońce zawraca wówczas ze swojej drogi na południe bądź północ w kierunku równika (obserwacja zawsze w południe).

Zgodnie z pierwszym prawem Keplera Ziemia porusza się wokół Słońca po elipsie, przy czym Słońce znajduje się w jednym z jej ognisk. Średnia odległość Ziemi od Słońca wynosi 149,6 mln km (1 AE = jednostka astronomiczna). Ziemia znajduje się najbliżej Słońca na początku stycznia ( $\approx 4.1$ ), tj. w odległości 147,1 mln km, najdalej zaś na początku lipca ( $\approx 5.7$ ) w odległości 152,1 mln km. Dlatego też ekscentryczność elipsy wynosi  $e = 2,5 \div 149,6 = 0,01671$ . Całkowite promieniowanie słoneczne jest w zimie (na półkuli północnej) na początku stycznia o około 7% wyższe niż w lecie, ponieważ stosunek powierzchni wynosi  $(152,1 \div 147,2)^2 = 1,07$ . Ochłodzenie podczas zimy na półkuli północnej jest o wiele mniejsze, niż miałyby to miejsce w przypadku orbity o kształcie koła, na półkuli południowej natomiast nieco większe.

Zgodnie z drugim prawem Keplera promień wodzący Ziemia-Słońce zakreśla w równych jednostkach czasu równe pola. Ponieważ odległość Ziemi od Słońca w zimie jest mniejsza niż latem, prędkość na orbicie i prędkość kątowna Ziemi poruszającej się wokół Słońca jest nieco wyższa niż latem. Na półkuli północnej półrocze zimowe (od początku jesieni do początku wiosny) jest z tego względu krótsze o  $7\frac{1}{2}$  dnia od półrocza letniego (od początku wiosny do początku jesieni). Na półkuli południowej relacje te są dokładnie odwrotne. Prędkość kątowna Ziemi 4 stycznia jest o ok. 7% wyższa niż 5 lipca, ponieważ  $((1 + e) \div (1 - e))^2 = 1,07$ . Na półkuli północnej pory roku mają następującą długość: wiosna 92,75 dni, lato 93,66 dni, jesień 89,83 dni, zima 89,00 dni. Ze względu na precesję ekwinokcji wartości te zmieniają się wraz z upływem czasu. Obecnie zimy na półkuli północnej są krótsze i łagodniejsze niż na południowej.

Nasz kalendarz opiera się na roku tropicznym, który odzwierciedla cykliczny charakter pór roku. Jest to średnia długość okresu od początku wiosny do początku kolejnej wiosny, od początku lata do początku następnego lata itd. Rok ten trwa 365,2422 dni = 365 dni 5 godz. 49 min. Rok w kalendarzu gregoriańskim trwa średnio 365,2425 dni, a więc średnio jest dłuższy o 27 sekund rocznie. Od roku tropicznego należy odróżnić rok gwiazdowy (syderyczny). Jest to czas, jaki upłynie zanim Ziemia będzie ponownie wskazywała ten sam kierunek w sferze gwiazd stałych. Ze względu na zjawisko precesji ekwinokcji rok syderyczny liczący 365,2564 dni jest o 0,0142 dnia lub 20 minut dłuższy od roku tropicznego.

[rysunek]

Pory i roku i nachylenie osi Ziemi

lato (Sommer), wiosna (Frühling), jesień (Herbst), zima (Winter) L = kąt

pór roku



## 7. Długość dnia i nocy na różnych szerokościach geograficznych

Długość dnia będziemy obserwować na tellurium ustawionym na lato na półkuli północnej. Czerwona wskazówka miesiąca wskazuje 21 czerwca. Formujemy z plasteliny trzy czerwone i trzy niebieskie wałeczki (grubości ok. od pół do jednego centymetra) o długości ok. 30 cm.

Uczniowie przyklejają je na granicę światło-cień wzdłuż równoleżnika.






Szczególne uwagę należy zwrócić na to, aby cały wałeczek znajdował się nad danym równoleżnikiem.

Wzdłuż równoleżnika strony oświetlonej, strony dnia, przykładamy czerwony wałeczek, wzdłuż równoleżnika strony nieoświetlonej natomiast, strony nocy, wałeczek niebieski. Uczniowie odcinają plastelinę w odpowiednim miejscu.







Te same czynności powtarzamy w odniesieniu do kolejnych kwartałów, tzn. przedstawiamy wskazówkę miesiąca na 23 września, następnie na 21 grudnia i w końcu na 21 marca.

Na koniec uczniowie przyklejają wałeczki na tablicę. Na tablicy otrzymujemy:

Lato na półkuli północnej (21 czerwca):


	Dzień (czerwony)	Noc (niebieski)	Długość dnia/nocy
Równik			taka sama długość (po 12 godz.)
Europa środkowa			dłuższy/krótszy
Arktyka (80°)	 *		24 godz./ nie ma nocy

Jesień na półkuli północnej (23 września):

	Dzień (czerwony)	Noc (niebieski)	Długość dnia/nocy
Równik			taka sama długość (po 12 godz.)
Europa środkowa			taka sama długość (po 12 godz.)
Arktyka (80°)			taka sama długość (po 12 godz.)

\* Wałeczki przyklejamy na tablicę w kształcie koła, aby pokazać, że Słońce świeci tam przez cały dzień.

Zima na półkuli północnej (21 grudnia):

	Dzień (czerwony)	Noc (niebieski)	Długość dnia/nocy
Równik	_____	_____	taka sama długość (po 12 godz.)
Europa środkowa	_____	_____	krótszy/dłuższy
Arktyka (80°)	_____		nie ma dnia/ 24 godz.

Wiosna na półkuli północnej (21 marca):

	Dzień (czerwony)	Noc (niebieski)	Długość dnia/nocy
Równik	_____	_____	taka sama długość (po 12 godz.)
Europa środkowa	_____	_____	taka sama długość (po 12 godz.)
Arktyka (80°)	_____	_____	taka sama długość (po 12 godz.)

Uczniowie wpisują wyniki do zeszytów. Nauczyciel w międzyczasie odkleja wałeczki, a w ich miejsce rysuje kolorową kredą kreski.

Wnioski: Na równiku dzień i noc przez cały rok mają taką samą długość (por. Lekcja 2.4). W średnich szerokościach geograficznych różnica między długością dnia i nocy w lecie i w zimie jest znaczna. Na biegunie nie obserwuje się następstwa dnia i nocy.

W równonoc we wrześniu i w marcu dzień i noc na całej kuli ziemskiej trwają po 12 godzin.

Arkusze robocze „Długość dnia i nocy w różnych porach roku” znajduje się na stronie 22.

Kolorową plastelinę można zamówić u Cornelsen Experimenta, nr zam. 70200.

Dalsze rozważania astronomiczne

O długości dnia i nocy na różnych szerokościach geograficznych kuli ziemskiej oraz w różnych porach roku pisaliśmy już w rozdziale 2.

Średnica Słońca wynosi 1 392 mln km. Przy średniej odległości równej około 149,6 mln km wydaje się nam, że jest ono tarczą o średnicy kątowej  $0,53^\circ$  lub  $32'$  (średnia). Jest ona widoczna już w chwili, gdy środek Słońca znajduje się  $0,25 = \frac{1}{4}^\circ$  pod horyzontem. Dodatkowo refrakcja w atmosferze ziemskiej sprawia, że Słońce jest już bądź jeszcze dla nas widoczne, nawet jeśli znajduje się na wysokości o pół stopnia niższej, tj. ok.  $\frac{3}{4}^\circ$  pod horyzontem.

Gdyby tych dwóch zjawisk nie było, dzień i noc podczas ekwinokcjum wiosennego i jesiennego (ekwinokcjum = równonoc) trwałyby dokładnie po 12 godzin. Po ich uwzględnieniu natomiast dzień 21 marca lub 23 września jest dłuższy o około 24 minuty od nocy. Moment, kiedy możemy obserwować rzeczywistą równonoc wypada około trzy dni przed początkiem wiosny bądź trzy dni po rozpoczęciu jesieni. Na równiku, gdybyśmy nie uwzględnili zjawiska refrakcji oraz średnicy końcowej Słońca, dzień i noc trwałyby po 12 godzin przez cały rok, po wzięciu ich pod uwagę natomiast dzień na równiku jest dłuższy od nocy o około 15 minut i to przez cały rok.

Arkusz roboczy „Długość dnia i nocy w różnych porach roku” Lato na półkuli północnej (21 czerwca):

	Dzień (czerwony)	Noc (niebieski)	Długość dnia/nocy
Równik			
Europa środkowa			
Arktyka (80°)			

Jesień na półkuli północnej (23 września):

	Dzień (czerwony)	Noc (niebieski)	Długość dnia/nocy
Równik			
Europa środkowa			
Arktyka (80°)			

Zima na półkuli północnej (21 grudnia):

	Dzień (czerwony)	Noc (niebieski)	Długość dnia/nocy
Równik			
Europa środkowa			
Arktyka (80°)			

Wiosna na półkuli północnej (21 marca):

	Dzień (czerwony)	Noc (niebieski)	Długość dnia/nocy
Równik			
Europa środkowa			
Arktyka (80°)			



## **8. Pory dnia**

Ustawiamy tellurium na wiosnę na półkuli północnej (21 marca).

### **1. Średnie szerokości geograficzne**

Ustawiamy globus tak, aby Europa była zwrócona ku Słońcu. Wybieramy 15 południk i stawiamy figurkę z tarczą horyzontu na Berlinie. Obracamy teraz globus do zachodniej granicy światło-cień, a więc całkiem w lewo.

Zwracamy uwagę, aby kierunek północny na tarczy horyzontu wskazywał biegun północny.

Długi cień widoczny na początku wskazuje o tej porze roku dokładnie kierunek zachodni. Obracamy globus przeciwnie do ruchu wskazówek zegara z powrotem ku Słońcu. Stopniowo cień zaczyna przesuwać się na północ. Jednocześnie staje się coraz krótszy do chwili, gdy w południe na tarczy widoczny jest tylko cień głowy figurki. O tej porze roku cień jest nieco dłuższy niż sama figurka, tak więc proporcja wynosi nieco ponad 1:1.

W południe cień wskazuje u nas północ, tj. geograficznie biegun północny, Słońce świeci bowiem z południa.

Gdy obrócimy globus dalej na popołudnie, cień będzie stopniowo zmieniał swój kierunek poprzez północno-wschodni na wschodni. Jednocześnie będzie stawał się coraz dłuższy.

Jeśli ktoś chciałby dokładnie wiedzieć, może policzyć, o ile godzin Berlin po południu jest oddalony od miejsca, w którym promienie Słońca padają prostopadle na Ziemię. W tym celu, nie obracając globusa, stawia figurkę na równiku, w miejscu gdzie nie rzuca ona cienia. Na tym południku jest obecnie południe. Licząc linie południka (co 15°, por. Lekcja 3.3) aż do Berlina dowiemy się, jaka jest różnica czasu, którą należy dodać do godziny południa, aby otrzymać godzinę popołudnia.

### **2. Zwrotnik**

Powtarzamy wszystkie kroki na zwrotniku Raka. Obserwujemy, że cień jest o połowę krótszy od figurki, co oznacza, że Słońce świeci w tym miejscu znacznie wyżej nad horyzontem.

### **3. Równik**

Stawiamy tarczę horyzontu na zachodniej granicy światło-cień, a więc całkiem po lewej stronie na równiku.

Zwracamy uwagę, aby kierunek północny na tarczy horyzontu wskazywał biegun północny.

Obracamy teraz figurkę na globusie powoli w kierunku Słońca. Cień wskazuje zachód, Słońce świeci więc ze wschodu.

Widzimy, że cień staje się coraz krótszy, ale wciąż wskazuje zachód, a do momentu, gdy całkowicie znika w południe. Słońce świeci teraz pionowo nad równikiem (jest w zenicie).

Gdy obracamy globus dalej, cień zaczyna pojawiać się na wschodzie. Staje się coraz dłuższy, przez cały czas jednak wskazując dokładnie wschód.

Zapisujemy więc, że Słońce porusza się po niebie po linii prostej. Wschodzi na wschodzie, wznosi się pionowo, by po południu kontynuować niezmiennie swoją wędrówkę i na koniec rzucając długi cień zejść dokładnie na zachodzie. Rano jego kąt względem kierunku północnego (azymut) wynosi 90 stopni, aby po południu przeskoczyć do 270 stopni. Przeskok wynosi więc 180 stopni. Linia, po której się porusza, pozostaje prosta.

Możemy powtórzyć to ćwiczenie dla wszystkich pozostałych pór roku. Za każdym razem otrzymamy różne długości i kierunki cienia.

Gdy ustawimy tellurium np. na 21 grudnia na lato na półkuli południowej i postawimy figurkę na Kapsztadzie, zauważymy, że Słońce zatacza lekki łuk na północ, tj. (tylko krótki) cień wskazuje południe (por. Lekcja 3.2).

Dalsze rozważania astronomiczne

W tym miejscu napiszemy kilka słów o orbitach Słońca i gwiazd ponad sferą niebieską.

Rotacja Ziemi warunkuje pozorny dzienny ruch gwiazd ze wschodu na zachód. Nie poruszają się jedynie północny i południowy biegun niebieski. Wyobraźmy sobie obserwatora na półkuli północnej na szerokości geograficznej  $\varphi$  (około  $\varphi = 50^\circ$  dla Europy Środkowej). Odległość kątowa północnego bieguna niebieskiego na północnym horyzoncie, wysokość bieguna, jest równa szerokości geograficznej. Wszystkie gwiazdy, które są oddalone od bieguna niebieskiego o mniej niż  $\varphi$  (około  $\varphi = 50^\circ$ ) zataczają małe koła wokół bieguna, tak że z punktu widzenia obserwatora na szerokości  $\varphi$  nie zachodzą i są przez cały czas widoczne. Są one określane mianem gwiazd okołobiegunowych. Gwiazdy oddalone od bieguna o więcej niż  $\varphi$  (ale mniej niż  $180^\circ - \varphi$ ) zataczają łuk od wschodniego horyzontu (wschód gwiazdy) osiągając kulminację na południu i dalej do zachodniego horyzontu (zachód gwiazdy). Wszystkie pozorne orbity gwiazd przebiegają w płaszczyznach, które tworzą kąt  $90^\circ$

-  $\varphi$  z płaszczyzną horyzontu. Na równiku ( $\varphi = 0^\circ$ ) płaszczyzna orbity gwiazd jest prostopadła do horyzontu, na biegunie północnym ( $\varphi = 90^\circ$ ) równoległa do niego. Widoczne tam gwiazdy to gwiazdy okołobiegunowe dla bieguna północnego.

Ze względu na olbrzymią odległość gwiazd stałych od Ziemi, kątnachylenia osi Ziemi/nieba względem horyzontu gwiazd stałych nie zmienia się w ciągu roku (albo prawie się nie zmienia). Nie odnosi się to do Słońca, które Ziemia okręca raz w ciągu roku. Powoduje to przesunięcie równoległe pozornej dziennej płaszczyzny orbity Słońca z pn.-wsch. – pn.-zach na początku lata w kierunku pd.-wsch. – pd.-zach. na początku zimy. Tym samym zataczany łuk jest wyraźnie mniejszy na początku zimy niż lata, co powoduje że dzień jest odpowiednio krótszy.

[rysunek]

Meridian	południk
Zenit	Zenit
Zirkumpolarsterne für die Breite $\varphi$	gwiazdy okołobiegunowe dla szerokości $\varphi$
Himmelsnordpol	niebieski biegun północny
Polhöhe $\varphi$	wysokość bieguna $\varphi$
Nord	północ
Nadir	Nadir
für die Breite $\varphi$ nie aufgehende Sterne	gwiazdy nie wschodzące dla szerokości $\varphi$
Himmelsüdpol	niebieski biegun południowy
Süd	południe
Horizont	horyzont
Ost	wschód
Bewegungsrichtung eines Gestirns	kierunek ruchu ciał niebieskich
West	zachód
Himmelsäquator	równik nieba
Himmelsachse	oś nieba
Kulm. 90°	kulminacja 90°

Pozorna orbita Słońca na niebie dla obserwatora na szerokości geograficznej 50°, 66,5°, 90°, 23,5°.



Pozorne orbity gwiazd na niebie dla obserwatora na szerokości geograficznej  $50^{\circ}$ ,  $66,5^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $23,5^{\circ}$ .

Rysunki na tej stronie za J. Hermann: dtv-Atlas Astronomie; zmienione

## **9. Fazy Księżyca**

Dla celów tej lekcji należy ustawić soczewkę Fresnela w pozycji 2 „Księżyc”.

### **1. Księżyc zwraca się ku Ziemi zawsze tą samą stroną.**

Abstrahując od nieznacznych wahań na pasach brzegowych Księżyc zwraca się do nas zawsze jedną stroną. Widzimy to bardzo dokładnie na tellurium.

Z przyczyn technicznych Księżyc nie jest prowadzony wokół Ziemi z właściwym nachyleniem. Można to jednak zasymulować wyciągając bądź wsuwając pręt teleskopowy.

Ustawiamy Księżyc po stronie leżącej naprzeciw Słońca. Wyciągamy lekko pręt, aby światło słoneczne oświetlało cały Księżyc. Na środku oświetlonej strony rysujemy krzyżyk zmywalnym markerem. Wsuwamy pręt i wykonujemy powoli pełny obrót Księżyca wokół Ziemi (przeciwnie do ruchu wskazówek zegara). Widzimy, że krzyżyk przez cały czas zwrócony jest do Ziemi, niezależnie od tego, czy strona ta jest oświetlona czy nie.

Wnioski: Księżyc zwraca się ku Ziemi zawsze tą samą stroną. Wskazówka:

Dopiero w roku 1959 Rosjanie wykonali pierwsze zdjęcia tylnej strony Księżyca. Z tego względu też znajdują się tam m.in. „Góry Łomonosowa” czy „Morze Moskiewskie”.

### **2. Fazy Księżyca**

Uczniowie opisują, w jaki sposób widzą Księżyc z Ziemi. Należy w tym celu ustawić figurkę na globusie naprzeciwko Księżyca.

a) Rozpoczynamy od nowiu.

Księżyc znajduje się między Ziemią a Słońcem. Nie możemy dostrzec Księżyca, ponieważ jest on do nas zwrócony nieoświetloną stroną.

b) Niecały tydzień później mamy przybývający Księżyc.

Obracamy Księżyc o ćwierć obrotu przy pomocy prętu przytrzymującego Księżyc (przeciwnie do ruchu wskazówek zegara).

„Tarcza” Księżyca jest z perspektywy Ziemi oświetlona tylko w połowie. Mamy pierwszą kwadrę.

c) Następnie przychodzi pełnia.

Musimy wyciągnąć pręt, w przeciwnym razie będzie panowało zaćmienie. Z Ziemi widoczna jest cała tarcza Księżyca o kształcie koła.



d) Tydzień później mamy Księżyc ubywający. Oświetlona strona przybiera formę małej litery „a”. Pozwala nam to rozpoznać, która kwadra Księżyca jest obecnie widoczna.

[rysunek] ubywający

Księżyc

Fazy Księżyca (za J. i S. Mitton: Astronomia, Wydawnictwo Christian Verlag; zmienione)

[rysunek]

Księżyc

Ziemia

nów – przybywający sierp Księżyca – pierwsza kwadra – przybywający Księżyc – pełnia – ubywający Księżyc – ostatnia kwadra – ubywający sierp Księżyca – nów

W dawniejszych czasach Księżyc funkcjonował jako wskaźnik miesięcy. Był on bowiem przez wszystkich widoczny. Pełnia służyła jako wieczorne oświetlenie, przy którym odbywały się liczne uroczystości. Wiele religii do dzisiaj zna święta wyznaczone przez fazy Księżyca, przede wszystkim Islam. Ramadan, miesiąc postu, wędrował na przestrzeni lat i dalej wędruje po całym roku, ponieważ nie jest dostosowany do kalendarza słonecznego.

Także nasze sąsiednie planety są z naszej perspektywy w różnym stopniu w różnym czasie oświetlane przez Słońce i zmieniają tym samym swoją jasność.

Dalsze rozważania astronomiczne

Ruch Księżyca wynika zasadniczo z wzajemnego przyciągania Słońca, Ziemi i Księżyca. Średnica Księżyca wynosi 3 476 km, czyli nieco więcej niż  $\frac{1}{4}$  średnicy Ziemi wynoszącej 12 742 km. Masa Księżyca natomiast to  $\frac{1}{81}$  masy Ziemi. Księżyc porusza się wokół Ziemi na orbicie podobnej kształtem do elipsy. Dokładnie rzecz biorąc Księżyc i Ziemia poruszają się wokół tego samego punktu ciężkości znajdującego się w Ziemi a oddalonego od jej środka o ok. 4500 km. Na to nakłada się jeszcze ruch środka masy Ziemia-Księżyc wokół Słońca. Płaszczyzna orbity Księżyca wokół Ziemi jest nachylona do ekliptyki, tj. płaszczyzny orbity Ziemi wokół Słońca, pod kątem ok.  $5,15^\circ$ . Płaszczyzna orbity Księżyca wykazuje więc w zależności od pory nachylenie względem równika ziemskiego/niebieskiego między  $18,3^\circ$  ( $= 23,45^\circ - 5,15^\circ$ ) a  $28,6^\circ$  ( $= 23,45^\circ + 5,15^\circ$ ). Ekscentryczność orbity Księżyca wokół Ziemi jest znacznie wyższa niż orbity Ziemi wokół Słońca. Podczas gdy odległość Ziemia-Słońce waha się maksymalnie w granicach do 3,3%, odległość Księżyca od Ziemi może się różnić nawet do 14%, tj. może wynosić od 356 400 km do 406 700 km przy średniej wielkości równej 384 400 km.

Z uwagi na to, że Księżyc nie emituje własnego światła, a jedynie odbija światło słoneczne, w nowiu, tj. gdy Księżyc znajduje się między Ziemią a Słońcem, jest on dla nas niewidoczny. Podczas pełni Księżyc znajduje się po przeciwnej stronie Ziemi niż Słońce. Słońce oświetla go w całości, ponieważ znajduje się on zasadniczo do  $\pm 5,15^\circ$  na północ lub południe od ekliptyki. Tylko jeśli Księżyc znajduje się w pełni a jednocześnie bardzo blisko ekliptyki, Ziemia zakrywa całą jego tarczę i mówimy wówczas o zaćmieniu Księżyca. W przypadku kwadry,  $90^\circ$  między nowiem a pełnią,

ilość odbijanego światła Księżyca to tylko około  $1/9$  odbijanego światła podczas pełni. Kontrasty zwłaszcza na pasach brzegowych Księżyca są jednak wyraźnie większe.

W zimie w naszych szerokościach geograficznych w południe, np. w Berlinie znajdującym się na  $\varphi = 52,5^\circ$  Słońce świeci tylko  $14^\circ$  nad horyzontem. Podczas pełni w zimie oś Ziemi jest nachylona w kierunku Księżyca, który znajduje się po stronie Ziemi odwróconej od Słońca. W nocy Księżyc znajduje się na bardzo dużej wysokości, w Berlinie np. nawet na  $61^\circ \pm 5^\circ$  ( $61^\circ = 90^\circ - 52,5^\circ + 23,5^\circ$ ). Latem natomiast również podczas pełni już nie tak wysoko ( $14^\circ \pm 5^\circ$ ).

Lunacja to czas pomiędzy kolejnymi pełniami Księżyca. Taki miesiąc księżycowy trwa 29,5306 dni = 29 dni 12 h 44 min. W niektórych przypadkach może on trwać do 7 godzin dłużej lub krócej. Podana wartość, tj. 29,5306 dni to wartość średnia obliczona z bardzo długiego okresu. Oprócz lunacji mamy również jeszcze miesiąc sydereczny, średni okres czasu, który upływa pomiędzy osiągnięciem przez Księżyc tej samej odległości względem sfery gwiazd stałych. Miesiąc sydereczny trwa 27,3216 dnia = 27 dni 7 godz. 43 min. Jest więc o ponad 2 dni krótszy od lunacji. Po 27,3 dniach Księżyc na swojej orbicie okołoziemskiej poruszając się przeciwnie do ruchu wskazówek zegara znajduje się wprawdzie ponownie w tym samym położeniu względem sfery gwiazd stałych, zmieniło się jednak w międzyczasie położenie Ziemi względem Słońca o około  $27^\circ$  z uwagi na ruch Ziemi wokół Słońca. Aby osiągnąć kolejną pełnię Księżyc musi pokonać dodatkowy obszar kątowy.

Rotacja Księżyca wokół własnej osi trwa tyle samo co obieg Księżyca wokół Ziemi. Ta „zsynchronizowana” rotacja, powoduje że Księżyc jest zwrócony ku Ziemi zawsze tą samą stroną. Tylna strona Księżyca nie jest w związku z tym widoczna z Ziemi. Niektóre obszary brzegowe tylnej strony Księżyca mogą być jednak okresowo widoczne z uwagi na zjawisko libracji, tak że z Ziemi można dostrzec czasami nawet 59% powierzchni Księżyca. Na librację składają się dwa zjawiska. Libracja w długości opisuje obrót Księżyca wokół Ziemi w ciągu miesiąca o około

$\pm 8^\circ$ . Księżyc porusza się jednostajnie wokół własnej osi, jego prędkość obrotowa wokół Ziemi jest jednak różna w zależności od odległości od niej. Libracja w szerokości natomiast zachodzi wówczas, gdy równik Księżyca jest nachylony względem płaszczyzny orbity Księżyca o około  $6 \frac{2}{3}^\circ$ . To



powoduje, że Księżyc zwraca się więc ku Ziemi na przemian biegunem północnym i południowym.

[rysunek]

Miśsiąc sydereyczny (AX) i lunacja (AB) Słoińce

(Sonne)

Ziemia (Erde)

Księżyc(Mond)

## 10. Zaćmienia

Dla celów tej lekcji naleŹy ustawić soczewkę Fresnela w pozycji 2 „Księżyc”.

### 1. Zaćmienie Księżyca

Jeśli Słoińce, Ziemia i Księżyc, dokładnie w tej kolejności, ustawione są w jednej linii, cień Ziemi zakrywa tarczę Księżyca. Zamiast pełni Księżyca mamy do czynienia z zaćmieniem Księżyca.

Wskazówka: Pręt podtrzymujący Księżyc jest wsunięty. Ze względu na małą odległość między Ziemią a Księżycem na tellurium zamiast pełni Księżyca co miśsiąc mylnie obserwujemy jego zaćmienie. Jako że odległość w rzeczywistości jest duŹo większa (przy zachowaniu proporcji odległość ta musiałaby wynosić ok. 4,5 m) oraz ze względu na fakt, że orbita Księżyca wokół Ziemi jest krzywą, zaćmienia Księżyca występują w przyrodzie bardzo rzadko.

### 2. Zaćmienie Słoińca

Ustawiamy Księżyc dokładnie między Ziemią a Słoińcem. Jego cień pada na Ziemię i przesłania jej część. Dochodzi wówczas do zaćmienia Słoińca, ponieważ S znajdując się w tym czasie na Ziemi w sferze cienia nie moŹna zobaczyć Słoińca.

Ustawiamy tarczę horyzontu z figurką między Ziemią a Księżycem. Ziemia i jej otoczenie pozostaje nieoświētlone. Wydaje się jakby w Źrodku dnia na kilka minut zapadła noc (obrócić globus). To niezwykle zjawisko dawniej było postrzegane jako przepowiednia wielkich, najczęściej złowrogich wydarzeń.

Tak że to zjawisko występuje w naturze bardzo rzadko.

Dalsze rozwaŹania astronomiczne

W przypadku całkowitego zaćmienia Słoińca Księżyc rzucając pas cienia na Ziemię przysłania całkowicie powierzchnię Słoińca, nie przysłania natomiast korony słoińecznej. W przypadku zaćmienia Księżyca Księżyc wchodzi w cień Ziemi. Oba zaćmienia są moŹliwe, ponieważ obserwator na Ziemi widzi Księżyc i Słoińce mniej wiēcej pod tym samym kątem  $\Theta = 0,5^\circ$ . Słoińce w swojej Źrednicy jest co prawda 400 razy wiēksze niŹ Księżyc, ale tak że znajduje się 400 razy dalej. Promień Słoińca wynosi  $R = 696\ 000$  km, promień Księżyca  $r = 1\ 738$  km, Źrednia

odległość Słońca  $149,6 \times 10^6$  km, średnia odległość Księżycy  $0,3844 \times 10^6$  km. Ponieważ odległość Ziemia-Słońce może wynosić między  $147,1 \times 10^6$  km a  $152,1 \times 10^6$  km a odległość Księżyc-Ziemia waha się jeszcze bardziej między  $0,357 \times 10^6$  km a  $0,407 \times 10^6$  km, rozmiary kątowe Słońca  $\Theta_S$  i Księżyc  $\Theta_M$  dla obserwatora z Ziemi wahają się między  $0,524^\circ \leq \Theta_S \leq 0,542^\circ$  a  $0,497^\circ \leq \Theta_M \leq 0,567^\circ$ , przy czym ich średnia wartość wynosi odpowiednio  $\Theta_S = 0,533^\circ$  i  $\Theta_M = 0,527^\circ$ .

W związku z tym obserwatorowi z Ziemi Księżyc wydaje się zazwyczaj nieco mniejszy.

Zaćmienia są możliwe wyłącznie w przypadku, gdy Słońce, Księżyc i Ziemia ustawione są w jednej linii. Zaćmienia Słońca, gdy Księżyc znajduje się między Słońcem a Ziemią, Księżyc, gdy Ziemia wejdzie pomiędzy Słońce i Księżyc. Zaćmienia Słońca są możliwe tylko podczas nowiu Księżyc, zaćmienia Księżyc wyłącznie podczas jego pełni. Ponieważ orbita Księżyc jest nachylona do ekliptyki pod kątem  $5,15^\circ$ , Księżyc podczas nowiu bądź pełni znajduje się na północ lub południe względem ekliptyki i do zaćmień nie dochodzi. Tylko gdy Księżyc znajduje się w pobliżu linii punktów węzłowych (przecięcia się płaszczyzny orbity Księżyc i ekliptyki), znajduje się na tylko blisko ekliptyki, aby spowodować zaćmienie.

[rysunki na str. 31]

Cień całkowity i półcień: całkowite, obrączkowe i częściowe  
zaćmienia Słońca

[rysunek 1]

Całkowite zaćmienie Słońca: Księżyc stosunkowo blisko Ziemi, cień pada bezpośrednio na Ziemię

Średnica cienia całkowitego  $q$  do 260 km [rysunek 2]

Obrączkowe zaćmienie Słońca: Księżyc stosunkowo daleko od Ziemi Średnica cienia całkowitego  $q$  do 320 km

[rysunek 3]

Częściowe zaćmienie Słońca: Księżyc stosunkowo wysoko, cień nie dociera na Ziemię

[na rysunkach opisy]

Sonne - Słońce Mond -

Księżyc Erde - Ziemia

Kernschatten - cień całkowity

Halbschatten - półcień

Gdy Księżyc wchodzi między Słońce a Ziemię, a rozmiary kątowe Księżyc  $\Theta_M$  są większe od rozmiarów kątowych Słońca  $\Theta_S$ , z wąskiego pasa na Ziemi możliwe jest zaobserwowanie całkowitego zaćmienia Słońca. Gdy natomiast  $\Theta_M$  są



mniejsze od  $\Theta_S$  obserwujemy zaćmienie obrączkowe. Księżyc nie przesłania całego Słońca, widoczny pozostaje wąski pierścień. Zaćmienia obrączkowe są nieco częstsze niż całkowite.

W przypadku zaćmienia częściowego Księżyc zasłania tylko część Słońca. Obserwator z Ziemi, Księżyc i Słońce nie ustawieni są dokładnie w jednej

linii. Linia punktów węzłowych nie stoi wprawdzie nieruchomo w przestrzeni, ale obraca się bardzo powoli raz na 18,6 lat zgodnie z ruchem wskazówek zegara przeciwnie do horyzontu gwiazd stałych. Dlatego też Ziemia na swojej orbicie wokół Słońca mija sferę punktów węzłowych około dwa razy w roku (dokładniej mówiąc co 173 dni). Właśnie wtedy może dojść do zaćmień. Zaćmienia częściowe lub centralne (obráczkowe lub całkowite) zdarzają się co najmniej dwa razy w roku, przy czym Księżyc przesłania przynajmniej część Słońca. Maksymalnie w ciągu roku można zaobserwować pięć zaćmień Słońca. Po dwa w pobliżu linii punktów węzłowych oraz kolejne częściowe w ciągu pozostałych 19 dni. Liczba możliwych zaćmień Księżyca, częściowych i całkowitych, wynosi od 0 do 3.

Wierzchołek cienia Księżyca znajduje się w odległości  $s$  od Księżyca, przy czym  $367,3 \times 10^3 \text{ km} \leq s \leq 379,8 \times 10^3 \text{ km}$ . Jeśli Księżyc znajduje się w nowiu oraz w odległości  $d < s$  od Ziemi oraz w pobliżu linii punktów węzłowych, dochodzi do całkowitego zaćmienia Słońca. Stożek cienia ma średnicę  $\rho$ , którą można łatwo obliczyć korzystając z twierdzeń o proporcjonalności odcinków

[wzór]

gdzie  $d$  = odległość Księżyca,  $D$  = odległość Słońca.

Wartość  $\rho$  znajduje się w przedziale od 0 do 260 km. Cień całkowity dotyka Ziemię w pasie całkowitego zaćmienia. Jeśli  $d > s$ , to  $\rho < 0$ , to z miejsc leżących pod osią stożka średnicy  $0 < |\rho| < 320 \text{ km}$  obserwujemy obrączkowe zaćmienie Słońca. Całkowite zaćmienia Słońca w pobliżu równika mogą trwać do  $7\frac{1}{2}$  minuty, na naszych szerokościach geograficznych ( $50^\circ \text{ N}$ ) maksymalnie  $5\frac{3}{4}$  min. Wynika to z wyższej prędkości rotacji Ziemi na równiku, która obniża prędkość względną cienia całkowitego nad Ziemią. Typowe zaćmienie Słońca na naszych szerokościach geograficznych trwa 2-3 minuty.

Jako że Ziemia jest znacznie większa od Księżyca, stożek cienia Ziemi jest dłuższy od stożka cienia Księżyca (ok.  $1,4 \times 10^6 \text{ km}$ ), a Księżyc w swojej średniej odległości dobrze wpasowuje się w stożek cienia Ziemi (pełnia Księżyca blisko linii punktów węzłowych). Wynikające z tego całkowite zaćmienie Księżyca może trwać nawet do  $1\frac{3}{4}$  godziny. Całkowite zaćmienie Księżyca można obserwować na całej nieoświetlonej półkuli kuli ziemskiej, podczas gdy zaćmienia Słońca tylko z wąskiego pasa (zazwyczaj 100-150 km szerokości i 12 000 km długości).

Następne całkowite zaćmienie Słońca widoczne w Niemczech będzie miało miejsce 3 września 2081 r. w południowo-zachodnich Niemczech, w okolicach Fryburga, a kolejne 7 października 2135 w północnej części Niemiec (Brema).

## 11. Pływy

Gdy Słońce, Księżyc i Ziemia ustawione są w jednej linii, skumulowane siły pływowe powodują, że danego dnia na oceanach i morzach obserwujemy wysokie pływy.

Zjawisko to nazywamy pływem syzygijnym. Ponieważ z takim ułożeniem ciał niebieskich mamy do czynienia zarówno podczas nowiu, jak i pełni, pływy syzygijne lub wysoka woda syzygijna występują co 14 dni (patrz rysunek). To zjawisko możemy przedstawić następująco:

1. Ustawiamy Księżyc w pozycji pełni.

Znajduje się on w jednej linii z Ziemią i Słońcem.

2. Rysujemy zmywalnym markerem linię łączącą obydwa bieguny i przebiegającą przez Greenwich wzdłuż południka zerowego a następnie przedłużamy ją, tak aby powstało zamknięte koło (wzdłuż południka  $180^{\circ}$ ). Podobne linie rysujemy wzdłuż południków  $90^{\circ}$  długości geograficznej wschodniej i zachodniej i otrzymujemy w ten sposób kulę ziemską podzieloną na cztery części.

3. Obracamy globus tak, aby południk zerowy był zwrócony ku Słońcu.

4. Globus „owijamy” szeroką tasiemką lub sznurkiem. Powinny być one dłuższe od obwodu globusa o dwie szerokości palca. Dwóch uczniów napręży tasiemkę ciągnąc ją w kierunku Słońca oraz w kierunku odwrotnym.

Na południku zerowym oraz na południku  $180^{\circ}$  mamy teraz wysoką wodę syzygijną.

Trzeci uczeń trzymając globus pod tasiemką powoli go obraca.

Po obróceniu globusa o ćwierć obrotu, czyli po 6 godzinach wysoka woda przesuwa się w kierunku Ameryki i Azji.

Po obróceniu kuli ziemskiej o kolejne ćwierć obrotu, czyli po 2 razy po 6 godzin = 12 godzin, wysoka woda pojawia się ponownie wzdłuż linii wyjściowych.

Obracają się wokół własnej osi Ziemia w ciągu 24 godzin „doświadczą” dwa razy w danym miejscu wysokiej bądź niskiej wody.

Dlatego też na wielkich morzach nawet dwa razy dziennie rejestrujemy najwyższe (wysoka woda) i najniższe (niska woda) stany wody.

Wskazówka: Przyczyny takiego stanu rzeczy są bardzo skomplikowane, nie chodzi tutaj bowiem tylko o siły grawitacji bądź przyciągania, ale także o siły odśrodkowe. Ziemia i Księżyc tworzą układ grawitacji, którego wspólny punkt ciężkości z uwagi na masę kuli ziemskiej znajduje się poniżej powierzchni Ziemi. Ponieważ Księżyc każdego dnia przesuwa się nieco na swojej orbicie, cykl dwóch pływów nie trwa więc dokładnie 24 godzin, ale ok. godzinę dłużej.

Tydzień po płycie syzygijnym Ziemia, Słońce i Księżyc tworzą kąt prosty. Mamy kwadrę. Siły pływowe słabną. Na całej kuli ziemskiej obserwujemy wówczas pływ kwadraturowy. W przypadku pływu kwadraturowego wysokość wody wysokiej jest mniejsza a wysokość wody niskiej nieco większa, tzn. różnica między wysokością wody wysokiej i niskiej, skok pływu, jest mniejsza.

Wskazówka: Siły pływowe Księżyca są silniejsze od sił pływowych Słońca.

Różnica między pływem syzygijnym a kwadraturowym może wynosić na niemieckim wybrzeżu Morza Północnego nawet kilka decymetrów. Spotkanie się pływu syzygijnego z przypadkowym sztormem prowadzi do bardzo wysokich stanów wody na wybrzeżu. Takie wysokie wody są jednymi z najbardziej niebezpiecznych.

[rysunek]

Pływ syzygijny z mocno wyołbrzymionymi górami „fal”

Dalsze rozważania astronomiczne

Odprawy i przypływy są wywoływane przyciąganiem grawitacyjnym Słońca, Ziemi i Księżyca oraz przez siły odśrodkowe, przy czym oddziaływanie Księżyca na wody oceanu jest znacznie silniejsze niż Słońca. Wynika to głównie z faktu, że Księżyc znajduje się dużo bliżej Ziemi niż Słońce. W zasadzie przyciągana jest nie tylko woda, obserwuje się także wychylenie lądu stałego w kierunku Księżyca bądź Słońca, choć ze znacznie mniejszą amplitudą. Znaczna cykliczność Księżyca w odniesieniu do przejść południków określa częstotliwość pływów. Średni czas, jaki upływa pomiędzy kolejnymi przejściami południka przez Księżyc, wynosi 24 h i 50 min. Ziemia w ciągu 24 godzin dokonuje jednego pełnego obrotu wokół własnej osi, w tym samym czasie natomiast Księżyc przesuwają się na swojej orbicie o  $13^\circ$ , w związku z tym Ziemia potrzebuje dodatkowo 50 minut, aby Księżyc znalazł się w wyjściowym położeniu względem danego południka. Jako że prędkość Księżyca obracającego się wokół Ziemi wykazuje znaczne wahania (ekscentryczność orbity wynosi średnio  $e = 0,055$ ), okres 24 h i 50 min. to średnia wartość dla dnia księżycowego. Podobnie okres 12 godz. i 25 min. stanowi jedynie średnią wartość obu okresów między pływami dla dnia księżycowego.

Skok pływu oraz dokładna godzina przypływów i odprawy zależą również od ukształtowania wybrzeża. W zatoce niemieckiej amplituda pływów w przypadku wysokiej wody wynosi niewiele ponad 3 metry, pływów kwadraturowych poniżej 2 metrów (średnie wartości). Tarcie mas wody na wybrzeżu powoduje straty w energii rotacyjnej i zmniejszanie się momentu pędu ruchu obrotowego Ziemi. Prędkość rotacyjna Ziemi zmniejszała się w związku z tym na przestrzeni milionów lat, średnia długość dnia natomiast zwiększała się o 1,7 ms na każde 100 lat. Wpływ pływów, który spowodowałby zmianę o ok. 2,3 ms na każde 100 lat, został częściowo skompensowany przez ilościowo nie do końca zbadane zjawiska jak na przykład podnoszenie się lądu po ostatnim zlodowaceniu.



Ponieważ jednak obowiązująca dzisiaj długość dnia opiera się na długości z roku 1900, po średnio około 600 dniach  $\approx 1,6$  roku ( $1000 \div 1,7$ ) konieczne jest dodanie jednej sekundy przestępnej. Dodawana jest ona na końcu ostatniego dnia czerwca lub grudnia.

Ponieważ moment pędu układu Słońce-Ziemia-Księżyc jest stały, co odnosi się również do układów częściowych Słońce-Ziemia i Ziemia- Księżyc, zmniejszenie momentu pędu rotacji Ziemi jest kompensowane wzrostem momentu pędu rotacji Księżyca wokół Ziemi. Prowadzi to do powolnego oddalania się Księżyca od Ziemi. Średnia odległość Księżyca od Ziemi rośnie o 3,7 m na 100 lat.

[rysunek] Mond –

Księżyc Erde –

Ziemia Ozean –

ocean Sonne –

Słońce

Księżyc, Słońce i działanie pływów (za J. i S. Mitton: Astronomia, wydawnictwo Christian Verlag; zmienione)



## **12. Pomiar obwodu Ziemi**

Obwodu Ziemi nie da się zmierzyć wykonując bezpośrednio pomiary, niezbędne są więc pomiary pośrednie. Grecki astronom Eratostenes zmierzył średnicę Ziemi ok. 250 r. p.n.e. posługując się prostymi geometrycznymi twierdzeniami. Wiedział on, że Słońce w dniu przesilenia letniego świeci w zenicie nad Asuanem (A) (nie ma cienia). Niedaleko Syene (dzisiejszy Asuan) była bowiem studnia, w której raz do roku można było dostrzec odbicie Słońca. Tego samego dnia o tej samej godzinie w Aleksandrii Słońce (B) rzucało cień, co oznaczało, że Słońce nie znajdowało się tam w zenicie. Na podstawie obserwacji cienia można było stwierdzić, że pozycja Słońca jest odchylona od zenitu o  $7^\circ$ .

Eratostenes wywnioskował, że promienie słoneczne, które wychodzą ze źródła światła znajdującego się dużej odległości, docierają do Ziemi równolegle, a ponieważ wiedział, że odległość między oboma miastami wynosi ok. 800 km (zmierzył 5 000 stadiów), obliczył wielkość Ziemi w sposób następujący:

$7^\circ$  to około  $1/50$  całkowitego obwodu Ziemi ( $360^\circ$ ). Obwód Ziemi musi w związku z tym wynosić = ok. 40 000 km, czyli  $50 \times 800$  km (odległość między Asuanem a Aleksandrią).

Ustawiamy tellurium na 21 czerwca (lato na półkuli północnej) i stawiamy figurkę na Asuan. Obracając globus lekko w prawą i lewą stronę znajdujemy punkt, w którym figurka nie rzuca cienia. Słońce świeci w tym momencie prostopadle nad Asuanem.

Stawiamy teraz figurkę na Aleksandrii. Rzuca ona krótki cień w kierunku północnym.

Mierzymy odległość między Asuanem a Aleksandrią przy pomocy papieru milimetrowego. Odległość ta wynosi 9-10 mm. Przy skali globusa wynoszącej około 1:85 mln, daje to około 800 km.

Figurka ma 29 mm wysokości i traktujemy ją jako promień koła o obwodzie 182 mm. Jeden stopień odpowiada 182:360, a więc około 0,5 mm. Kładziemy teraz papier milimetrowy na stopach figurki i odczytujemy długość cienia. Wynosi on ok. 3-4 mm. Przy 3,5 mm otrzymujemy kąt ok. 7 stopni. To jest kąt, który obliczył Eratostenes.

Wskazówka: W czasie oświecenia we Francji metr został uznany za sztuczną jednostkę miary. Uznano najpierw, że ćwierć obwodu Ziemi, tj. odległość między biegunem a równikiem wynosi 10 000 km. Kilometr podzielono następnie na części tysięczne i w ten sposób otrzymano metr jako jedną dziesięciomilionową kwadrantu Ziemi.

Dalsze rozważania astronomiczne

Już w starożytności było wiadomo, że Ziemia ma kształt kuli. Wskazywały na to przypominający koło cień Ziemi na Księżycu obserwowany podczas zaćmień Księżyca albo fakt, że podczas zbliżania się statku do lądu, najpierw widoczne były jego najwyższe partie.

Eratostenes był jednym z najbardziej wszechstronnych uczonych Antyku. żył w 3 wieku p.n.e. w Aleksandrii. Wiedział, że w dniu przesilenia letniego promienie Słońca padają prostopadle na Syene (Asuan). Asuan leży na Zwrotniku Raka. Aleksandria leży mniej więcej na tym samym południku, tylko nieco na północ. Tym samym w obu tych miejscach południe wypadało mniej więcej o tej samej godzinie. Na podstawie cienia gnomonu, Eratostenes stwierdził, że w południe w dniu przesilenia letniego w Aleksandrii położenie Słońca względem zenitu tworzyło kąt około  $7,2^\circ$ . Odległość między Syene a Aleksandrią musiała więc wynosić  $\frac{1}{50}$  (=  $360^\circ$

$\div 7,2^\circ$ ) obwodu Ziemi. U niego wynosiła ona 5 000 stadiów, co dawało jednocześnie obwód Ziemi równy 250 000 stadiów. Nie wiadomo dokładnie, jak należy przeliczać stadia na metry. Prawdopodobnie 250 000 stadiów odpowiadało odległości między 37 000 km a 37 500 km. Obwód Ziemi uzyskany przez Eratostenesa był za mały, ale mogło to wynikać z niedokładnego określenia odległości między Aleksandrią a Syene. Średnia szerokość geograficzna Syene ( $24,1^\circ$  N) nie do końca też zgadzała się z ówczesnym nachyleniem ekliptyki ( $23,8^\circ$  N).

### **13. Satelita geostacjonarny**

Przygotowanie:

Ustawiamy czerwoną wskazówkę miesiąca na grudzień, a Księżyc, aby nam nie przeszkadzał, na maj. Zdejmujemy soczewkę Fresnela.

Pręt z kulą na końcu wstawiamy w figurkę tarczy horyzontu, a samą tarczę na równiku na południe od Europy.

Wyobraźmy sobie, że kula znajdująca się końcu pręta to satelita ziemski. Znajduje się dokładnie w odległości 42,2 cm od Ziemi, zachowane zostały tym samym proporcje jego rzeczywistej odległości od Ziemi.

Jeśli średnica globusa wynosi 15 cm a jego obwód odpowiednio 47,1 cm, odległość satelity od powierzchni Ziemi jest nieco mniejsza niż jej obwód.

Rzeczywiste odległości przedstawiają się następująco: Obwód

Ziemi: 40 000 km

Odległość satelity od powierzchni Ziemi: 36 000 km

Skąd się wzięła odległość 36 000 km? Na satelity oddziałują siły przyciągania ziemskiego oraz odśrodkowe. Siła przyciągania ziemskiego ściąga go na Ziemię, siła odśrodkowa natomiast wypycha w przestrzeń kosmiczną. Przy odległości wynoszącej 36 000 km siły te wzajemnie się równoważą. Satelita złapany między obie te siły okręca Ziemię, zachowując ciągle tę samą pozycję względem równika. Ponieważ siły te równoważą się wyłącznie na równiku, geostacjonarne satelity ziemskie mogą być umieszczane tylko tutaj. Obróćmy teraz powoli globus z satelitą przeciwnie do ruchu wskazówek zegara.

Tellurium przekonuje nas, że satelita ziemski znajduje się przez cały czas na tej samej pozycji nad równikiem. To położenie określa się jako geostacjonarne. Za pośrednictwem takiego satelity można więc przekazywać nieprzerwanie informacje na określony obszar. Musi być jednak zapewniona „widoczność” satelity, tzn. budynki oraz drzewa mogą zakłócać odbiór.

W ciągu 24 godzin Ziemia dokonuje jednego pełnego obrotu wokół własnej osi. Tym samym figurka na tarczy horyzontu przebywa na równiku odległość równą 40 000 km. Porusza się więc z prędkością  $40\,000 \div 24 = 1\,667$  km/h. W przypadku satelity ziemskiego musimy uwzględnić odległość od powierzchni Ziemi wynoszącą 36 000 km, oraz 6 300 km odległości do środka Ziemi. Otrzymujemy promień o długości 42 300 km. Obwód wynosi więc ( $U = 2 \pi r$ ) ok. 256 600 km. Dzielimy na 24 godziny i otrzymujemy ok. 11 000 km.

Satelita porusza się więc w przestrzeni z prędkością 11 000 km/h.

Gdy przyłożymy dłuższą linijkę (50 cm), dostrzeżemy, że na biegunach nie ma kontaktu wzrokowego z satelitą, co oznacza, że nie jest na tych obszarach możliwy odbiór obrazu telewizyjnego pochodzącego z satelity.

Cała sytuacja została przedstawiona na poniższym rysunku.



[rysunek]

Nordpol - biegun północny Südpol -

biegun południowy

50 Grad nördl. Breite – 50 ° szer. geograf. pn.

ca. 32 Grad Höhenwinkel (Elevation) – ok. 32 ° kąt podniesienia (elewacji) Äquator -  
równik

Geostationärer Satellit z.B. Fernsehsatellit – satelita geostacjonarny np.  
telewizyjny

15 cm im Modell – model 15 cm

ca. 42 km im Modell – ok. 42 cm w modelu

Widzimy równieŝ, Ŝe w Niemczech na ok. 50° szerokości geograficznej północnej, aby móc odbierać optymalny sygnał z satelity anteny muszą być nachylone do horyzontu o ok. 32°.

Zasadniczo z naszej perspektywy satelita znajduje się na południu i przez cały czas znajduje się na tej samej pozycji względem równika, moŝe jednak zostać przesunięty o kilka stopni na zachód (o ponad 180 stopni azymutu geograficznego) lub na wschód (o mniej niŝ 180 stopni azymutu geograficznego). Satelita ASTRA np. znajduje się na pozycji, która względem kierunku południowego jest odchylona o 19,2° na wschód, a więc powyŝej 19,2° długości geograficznej wschodniej. Z perspektywy Hamburga satelita znajduje się na wysokości 28,3° nad horyzontem, Monachium 34,2° a Frankfurtu 31,7°.

Wnioski:

Satelity geostacjonarne pozostają przez cały czas na tej samej pozycji względem równika na wysokości 36 000 km nad powierzchnią Ziemi. Na tej wysokości siły przyciągania ziemskiego i odśrodkowe wzajemnie się równowaŝą. W przypadku obszarów bardziej oddalonych sygnały są wysyłane pod kątem. Na obszarach okołobiegunowych odbiór z satelit nie jest moŝliwy.

Dalsze rozwaŝania astronomiczne

Jeŝli spojrzymy na układ Ziemia-Satelita jak na układ dwóch ciał, to zgodnie z prawem Keplera dotyczącym ruchu planet oraz zasadami dynamiki Newtona a takŝe prawem powszechnego ciąŝenia czas obiegu T satelity wokół Ziemi moŝna obliczyć za pomocą następującego wzoru:

[wzór na str. 40]

Stała powszechnego ciąŝenia: [wzór]

Masa Ziemi:  $M = 5,977 \times 10^{24}$  kg

R = większa półoŝ orbity eliptycznej satelity wokół Ziemi

Jeŝli satelita ma być geostacjonarny T musi wynosić = 24 h = 86 400 sek. Przy założeniu, Ŝe orbita satelity wokół Ziemi ma kształt zbliŝony do koła,



promień odległości satelity od środka Ziemi  $R$  wynosi  $R = (\gamma M)^{1/3} (T + 2\pi)^{2/3} - 42\,250$  km. Satelita znajduje się na wysokości 35 870 km nad równikiem nad powierzchnią Ziemi. Jego orbita ma długość  $2\pi r \approx 265\,500$  km a on sam porusza się na orbicie z prędkością 11 060 km/h.