



Człowiek – najlepsza inwestycja

# MATERIAŁY POMOCNICZE DO ĆWICZEŃ W PRACOWNI ASTRONOMII I ASTROFIZYKI



*- długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomagania fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo - technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów*

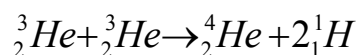
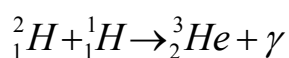
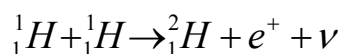
**Projekt współfinansowany jest ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego**

# I

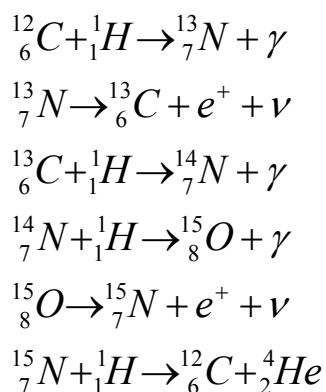
## Materiały pomocnicze do ćwiczeń obserwacyjnych 1-3

### 1.Słońce – charakterystyka fizyczna

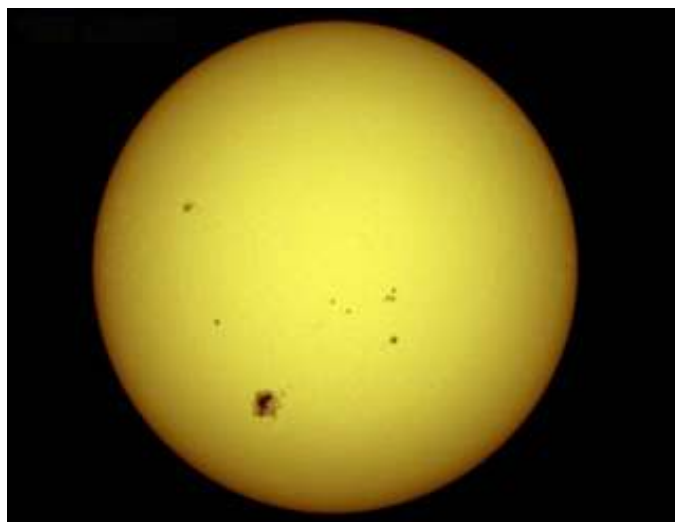
Słońce – jest gwiazdą typu widmowego G2V o jasnościach wizualnej i absolutnej odpowiednio równych  $-26^m.76$  i  $+4^m.81$ . Jest to centralne ciało Układu Słonecznego, które skupia 99,866 % jego całej masy, jest głównym źródłem energii docierającej do Ziemi. Słońce to najbliższa Ziemi gwiazda i jedyna, na której możemy bezpośrednio obserwować szczegóły powierzchniowe. Słońce jest olbrzymią kulą gazową o promieniu  $R_o = 696 \cdot 10^6$  m i masie  $M_o = 1,989 \cdot 10^{30}$  kg co sprawia, że jego średnia gęstość Słońca wynosi  $\rho_o = 1,41 \cdot 10^3$  kg m<sup>-3</sup>. Odległość Słońca od Ziemi zmienia się w granicach od  $1,471 \cdot 10^{11}$  m w styczniu do  $1,521 \cdot 10^{11}$  m w lipcu; co średnio wynosi  $1,496 \cdot 10^{11}$  m. Temperatura efektywna widocznej powierzchni Słońca – fotosfery – wynosi około 5785 K. Całkowita moc promieniowania Słońca jest równa  $L_o = 3,86 \cdot 10^{26}$  W. Słońce wiruje wokół swej osi przechodzącej przez środek jego masy, która jest nachylona do płaszczyzny ekliptyki pod kątem  $82^\circ 45'$ . Jest rzeczą charakterystyczną, że Słońce nie wiruje jak bryła sztywna – materia słoneczna w pobliżu równika słonecznego wiruje z okresem około 25 dni a w pobliżu biegunów 31 dni. Głównym składnikiem Słońca jest wodór (~74%) i hel (~24%). Poza tym relatywnie najobficiej występują takie pierwiastki jak O, C, N, Mg, Si, Fe. W widmie słonecznym obserwowane są również pasma absorpcyjne niektórych prostych molekuł (OH, NH, O<sub>2</sub>, CN, CH, CO). Energia nieustannie wypromieniowywana z powierzchni Słońca jest wytwarzana w reakcjach syntezy jądrowej zachodzących w jądrze Słońca, gdyż tylko tam materia słoneczna znajduje się w dostatecznie wysokiej temperaturze koniecznej aby takie reakcje mogły mieć miejsce. Istota reakcji termojądrowych zachodzących w centralnych obszarach Słońca polega na przemianie czterech jąder wodoru - protonów w jedno jądro helu - cząstkę  $\alpha$ . Cztery protony mają jednak nieco większą masę spoczynkową niż cząstka  $\alpha$ ; dlatego różnica tych mas  $\Delta m$  jest zamieniana na energię  $E$  zgodnie ze słynnym wzorem Einsteina  $E = \Delta mc^2$ , gdzie  $c$  oznacza prędkość światła. Różnicy  $\Delta m$  między masą spoczynkową czterech protonów i masą spoczynkową cząstki  $\alpha$  odpowiada energia około 27 MeV. Proces jądrowy o takiej wydajności może podtrzymywać promieniowanie Słońca przez bardzo długi okres czasu, rzędu 10 mld lat. W warunkach panujących w centrum Słońca przy temperaturze rzędu  $15 \cdot 10^6$  K przemiana wodoru w hel zachodzi w wyniku cyklu protonowego (pp) przebiegającego następująco:



Cykl ten jest efektywny w temperaturach rzędu kilku-kilkunastu milionów Kelwinów. Nie jest to jedyny sposób spalania się wodoru w hel. W temperaturach powyżej 18 mln Kelwinów bardziej efektywny staje się cykl węglowo-azotowy (CNO). Zatem w gwiazdach, w których temperatury centralne są znacznie wyższe niż w jądrze Słońca może dominować cykl węglowo-azotowy przebiegający według schematu:



Zauważmy, że końcowy wynik obu cykli jest taki sam; cztery protony ulegają przemianie w jedno jądro helu. Dodatkowo powstają dwie cząstki  $e^+$ , dwa neutrino i kwanty  $\gamma$ , które łącznie z powstającą cząstką  $\alpha$  unoszą wydzielaną energię. Transport produkowanej energii odbywa się ku powierzchni Słońca głównie przez promieniowanie (warstwa promienista) w strefie głębszej otaczającej Słońce albo w wyższych warstwach przez konwekcję (strefa konwektywna). W pierwszym przypadku energia w formie kwantów promieniowania elektromagnetycznego przepływa w kierunku ku powierzchni Słońca ulegając rozproszeniu, absorpcji i powtórnej emisji już w innych – dłuższych długościach fali przez jony i elektrony w kolejnych coraz to wyższych warstwach Słońca. W przypadku konwekcji występują w gwieździe ruchy cieplne gazu – cieplejszy unoszony jest ku powierzchni, gdzie przekazuje ciepło warstwom chłodniejszym a oziębiony sływa z powrotem w dół ku obszarom cieplejszym, gdzie ponownie ulega ogrzaniu.



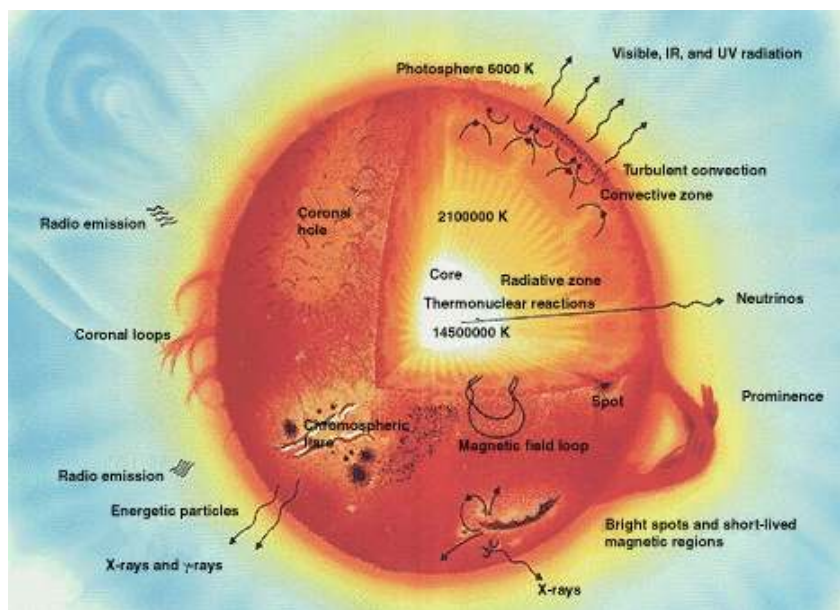
*Fot.NASA*

Rys.1 Tarcza słoneczna pokryta plamami

Tak więc energia z głębszych warstw Słońca wraz z materią unoszona jest ku jego warstwom wyższym. W ten sposób promieniowanie elektromagnetyczne dociera z jądra słonecznego gdzie jest produkowane do warstw powierzchniowych – fotosfery Słońca skąd jest emitowane w przestrzeń kosmiczną. Najgłębsza widoczna warstwa atmosfery słonecznej to fotosfera.

Widoczna jest ona w postaci żółtej tarczy. Z niej pochodzi prawie całe promieniowanie widzialne docierające do Ziemi. Fotosfera i przylegające do niej sąsiednie warstwy są w ciągłym ruchu turbulentnym. Granulacja – ziarnistość – powierzchni Słońca stanowiąca układ komórek konwekcyjnych jest spowodowana wypływającym z wnętrza Słońca strumieniem ciepła. Poszczególne komórki noszą nazwę granul i mają wymiary rzędu 100 km; ich przeciętny czas życia wynosi około 5 do 10 minut. Natężenie innych zjawisk obserwowanych w fotosferze takich jak plamy słoneczne czy pochodnie, którym towarzyszy występowanie lokalnie silnych pól magnetycznych rzędu  $10^5$  A/m jest zmienne i zależy od fazy cyklu aktywności słonecznej. Obserwowane na powierzchni Słońca plamy słoneczne – są to ciemne obszary o rozmiarach dochodzących do 10 000 km chłodniejsze od otaczającej je fotosfery o około 1000 K. Duże plamy słoneczne składają się z części centralnej – cienia i otaczającej ją części jasnej – półcienia. Pochodnie są to z kolei jasne obszary na powierzchni Słońca w pobliżu plam słonecznych. Fotosfera jest relatywnie bardzo cienką warstwą, jej grubość jest szacowana na około 300 km. Ponad nią wznosi się warstwa atmosfery słonecznej zwana chromosferą. Jest to warstwa przejściowa o grubości rzędu 15 000 km (jej grubość nie jest stała) pomiędzy chłodną fotosferą a gorącą zjonizowaną koroną. Chromosfera jest widoczna podczas całkowitych zaćmień Słońca jako czerwona postrzępiona otoczka zakrytej przez Księżyc tarczy słonecznej. Z dolnej warstwy chromosfery wyrzucane są ku górze bryzgi materii osiągające niekiedy wysokość rzędu 10 000 km - licząc od podstawy chromosfery; nadające jej charakterystyczny wygląd płonącego rżyska. Inaczej mówiąc na brzegu tarczy słonecznej chromosfera widoczna jest jako nierówny pasek, z którego wybiegają pojedyncze ząbki, bryzgi – spikule chromosferyczne. Ponad chromosferą obserwuje się często wyrzuty postrzępionych czerwonych obłoków materii słonecznej zwanych protuberancjami. Temperatura ośrodka w chromosferze wzrasta w stosunku do fotosfery do kilkuset tysięcy K na wysokości około 10 000 km. Najbardziej zewnętrzną warstwą atmosfery słonecznej obserwowaną w czasie całkowitych zaćmień Słońca jest korona rozciągająca się daleko w przestrzeń międzyplanetarną do odległości co najmniej kilku promieni Słońca. Kształt korony jest silnie zależny od cyklu aktywności słonecznej.

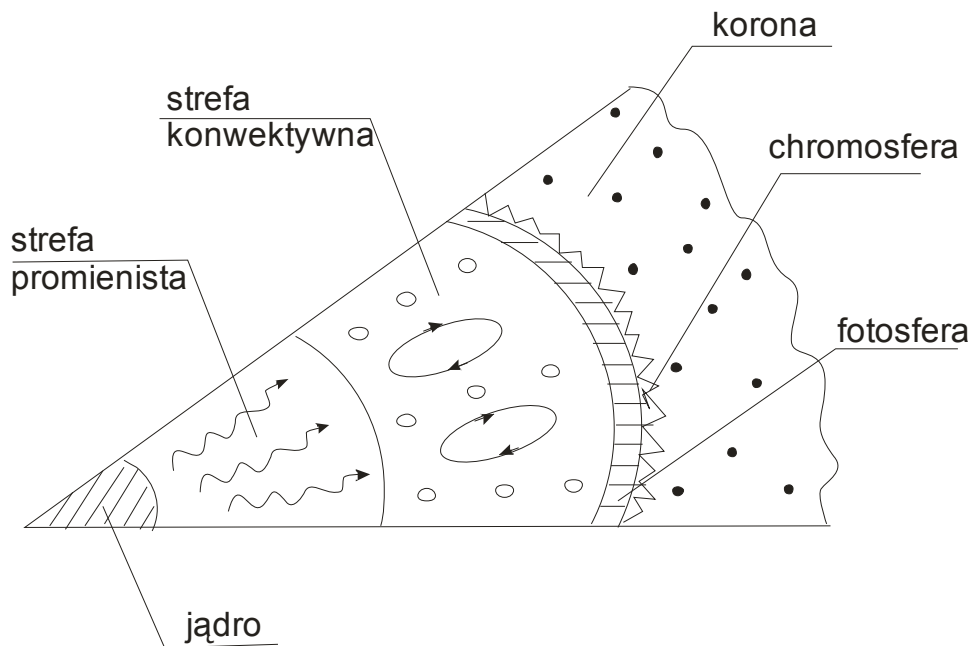
W czasie maksimum długie pasma korony wybiegają od Słońca prawie izotropowo, podczas minimum aktywności smugi koronalne dominują tylko w okolicach równika słonecznego. Korona jest bardzo rozrzedzona ale znacznie gorętsza niż chromosfera – jej temperatura może osiągać nawet  $2 \cdot 10^6$  K. Fakt, że temperatura w chromosferze a później w koronie wzrasta w stosunku do temperatury fotosfery pozornie wydaje się paradoksalny; im warstwa jest bardziej zewnętrzna tym jest cieplejsza. Jednak chromosfera i korona czerpią swoją energię wewnętrzną z ruchów konwekcyjnych wewnątrz Słońca. Ruchy te rozprzestrzeniają się ku górze atmosfery w postaci fal akustycznych. W coraz rzadszym ośrodku amplituda fali rośnie i przekształca się ona w falę uderzeniową, która ogrzewa wyższe warstwy atmosfery słonecznej. Korona słoneczna nie ma określonej granicy lecz przechodzi w wiatr słoneczny – strumień materii w postaci elektronów, protonów i cząstek  $\alpha$ .



Rys. NASA

Rys.2. Słońce w przekroju. Oznaczenia: core – jądro słoneczne, radiative zone – strefa promienista, convective zone – strefa konwektywna, photosphere - fotosfera słoneczna.

Widmo słoneczne jest widmem ciągłym, na tle którego można zaobserwować absorpcyjne linie Fraunhofera. Zasadniczą rolę w powstawaniu widma ciągłego odgrywa tworzenie się w fotosferze ujemnych jonów  $H^-$ . W temperaturze warstw fotosferycznych (4500 – 6000 K) wodór stanowiący główny składnik materii słonecznej nie jest zjonizowany; natomiast jonizacji ulegają pierwiastki ciężkie o niższych potencjałach jonizacyjnych. Swobodne elektrony łącząc się z neutralnymi atomami wodoru tworzą jony  $H^-$ . Pod wpływem promieniowania jon  $H^-$  absorbując foton rozpada się na atom wodoru  $H$  i elektron. Energia pochłoniętego fotonu zużyta jest na przezwycięzenia sił wiążących elektron z atomem wodoru oraz na energię kinetyczną neutralnego teraz atomu  $H$  i elektronu. Uwalniane tą drogą elektrony podczas zderzeń ze sobą, atomami i jonami ośrodka ustalają pewien rozkład prędkości zależny od temperatury ośrodka. Jeśli teraz elektron zostanie przyłączony ponownie przez atom  $H$ , następuje emisja fotonu. Jednak jego energia jest na ogół inna od energii pochłoniętego poprzednio fotonu. Spowodowane jest to tym, że rozkład energii fotonów emitowanych przy tworzeniu się jonów  $H^-$  jest określony przez ciągły rozkład energii swobodnych elektronów, zdeterminowany przez temperaturę ośrodka. W ten sposób tworzy się widmo ciągłe w fotosferze Słońca (gwiazdy). Neutralne atomy wodoru, atomy i jony innych pierwiastków znajdujący się w fotosferze pochłaniają fotony o określonych energiach ulegając przy tym wzbudzeniu; następuje wówczas przeskok elektronu z niższego na wyższy poziom energetyczny. Energia pochłoniętego fotonu jest równa różnicy energii wyższego i niższego poziomu energetycznego elektronu, odpowiadających obu poziomom energetycznym. Absorpcji towarzyszy co prawda proces odwrotny; wzbudzone atomy przy przeskokach elektronów z wyższych poziomów energetycznych na niższe emitują fotony o energiach charakterystycznych dla danego pierwiastka i stanu wzbudzenia. Jednak fotony te są promieniowane w dowolnych kierunkach na ogół różnych od pierwotnego – wyznaczonego przez fotony absorbowane. Ostatecznie z widma ciągłego usuwana jest pewna część fotonów o energiach równych energii wzbudzenia atomów i jonów. W ten sposób powstają w widmie słonecznym linie absorpcyjne.



Rys.3. Schemat struktury wnętrza Słońca.

Istnieje powszechne przekonanie, że Słońce powstało około 4,6 mld lat temu z pierwotnej mgławicy gazowo-pyłowej. Czas życia takich gwiazd jak Słońce ocenia się na około 10 mld lat. Tak więc Słońce jest gwiazdą o średnim wieku. Za około 5 miliardów lat wyczerpią się zapasy wodoru w jądrze słonecznym i reakcje przemiany wodoru w hel będą zachodziły w otocze wokół-jądrowej. Spowoduje to niestabilność, w wyniku której Słońce stanie się czerwonym olbrzymem. Zwiększy ono na tyle swoje wymiary, że pochłonie najbliższe planety Merkurego i Wenus a być może nawet Ziemię. W toku dalszej ewolucji odrzuci zewnętrzną otoczkę i zacznie przemieniać się w białego karła zapadając się pod wpływem samograwitacji. Ponieważ ustaną reakcje termojądrowe więc słoneczny biały karzeł pozbawiony źródła energii będzie się przez miliardy lat ochładzał do temperatury otoczenia aby osiągnąć w końcu stadium czarnego karła- zimnego ciemnego obiektu - kosmicznego żużlu.

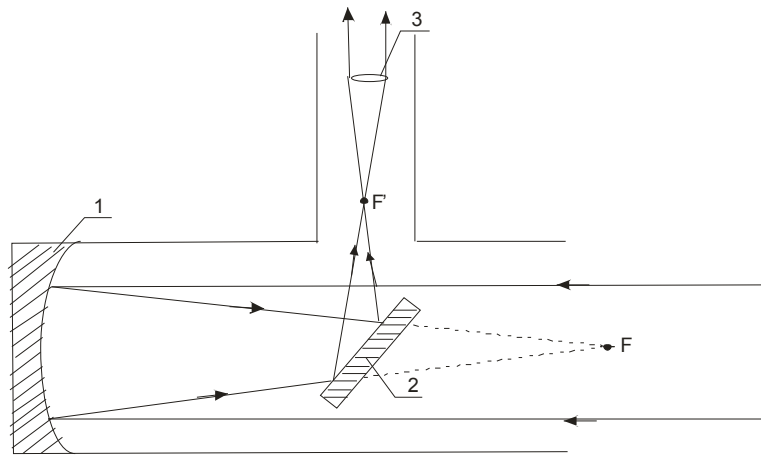
## 1. Teleskop optyczny - zasada działania

Teleskop optyczny to przyrząd służący do obserwacji bardzo odległych obiektów; najczęściej ciał niebieskich: planet, komet, asteroidów, gwiazd, galaktyk. Generalnie teleskopy dzielimy na soczewkowe (refraktery), zwierciadlane (reflektory) lub zwierciadlano-soczewkowe. Światło docierające od obserwowanego obiektu do obiektywu a następnie okularu teleskopu tworzy obraz obserwowanego obiektu, który może oglądać obserwator. Zamiast okularu można umieścić w płaszczyźnie ogniskowej obiektywu teleskopu inny niż oko ludzkie odbiornik promieniowania świetlnego. Może to być np. klisza fotograficzna, płytki CCD współpracująca z komputerem lub spektrograf. Jakość teleskopu może być scharakteryzowana przez jego parametry optyczne do których należą:

- ogniskowa obiektywu  $f_{ob}$ ,
- średnica obiektywu –  $D$ , zależą od niej zdolność rozdzielcza teleskopu oraz jego zasięg,
- powiększenie kątowe  $p$  będące ilorazem ogniskowej obiektywu i okularu  $p = f_{ob}/f_{ok}$
- światłosiła  $A$  równa ilorazowi średnicy obiektywu przez jego ogniskową  $A = D/f_{ob}$  ;  
decyduje ona o jasności otrzymanego obrazu.

Jako przykład teleskopu zostanie poniżej przedstawiony teleskop Newtona.

Teleskop Newtona jest bardzo popularnym i prostym w konstrukcji typem teleskopu. Rolę obiektywu pełni w nim paraboliczne zwierciadło główne. Promienie świetlne biegnące od obserwowanego obiektu po odbiciu od głównego zwierciadła padają na małe płaskie zwierciadło, umieszczone pod kątem  $45^{\circ}$  do osi teleskopu. Jego zadaniem jest „złamanie” ogniska zwierciadła głównego i odchylenie promieni świetlnych w kierunku prostopadłym do osi teleskopu tak aby skierowały się do umieszczonego z boku tubusu teleskopu okularu (rys4.).



Rys.4. Schemat teleskopu Newtona (1 - główne zwierciadło paraboliczne, 2 - płaskie zwierciadło, 3 - okular)

## 2. Opracowanie fotografii tarczy słonecznej

Aby wyznaczyć wymiary liniowe widocznych elementów zdjęcia tarczy słonecznej (plam, pochodni, protuberancji) możemy postąpić w następujący prosty sposób . Najpierw na podstawie zdjęcia wyznaczamy wymiary promienia Słońca na zdjęciu  $R$ . Jeśli dysponujemy zdjęciem zawierającym całą tarczę słoneczną to wyznaczenie promienia Słońca jest elementarnym zagadnieniem, które można rozwiązać za pomocą ekierki i linijki (rys.5). Jeśli na zdjęciu znajduje się tylko część tarczy słonecznej to wtedy można postąpić według schematu przedstawionego poniżej (rys.6).

Mierzymy cięciwę dowolną  $AB = 2d$  tarczy słonecznej, wyznaczamy jej symetralną i mierzymy odcinek  $CD = h$ . Z twierdzenia Pitagorasa wynika, że:

$$d^2 + (R-h)^2 = R^2.$$

Po prostych przekształceniach otrzymamy:

$$R = (d^2 + h^2) / 2h .$$

W ten sposób wyznaczymy w milimetrach wymiary promienia Słońca  $R$  na zdjęciu. Następnie należy wyznaczyć w milimetrach wymiary interesującego nas obiektu na zdjęciu np. wysokość protuberancji  $p$ . Rzeczywiste wymiary wysokości protuberancji  $p_0$  (w kilometrach) wyznaczymy z proporcji:

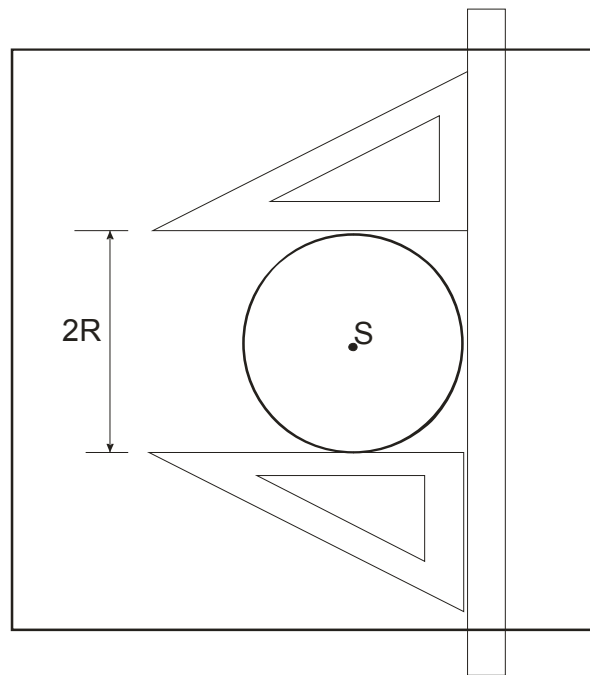
$$R/R_0 = p/p_0,$$

Stąd

$$p_0 = (R_0/R)p,$$

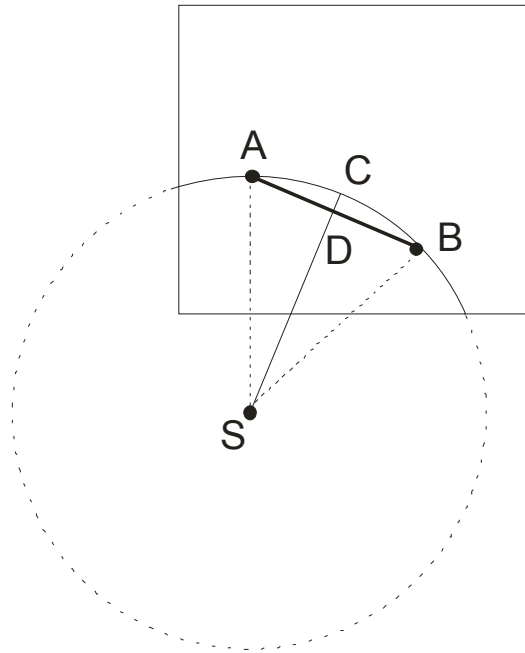
gdzie  $R_0 = 696\,000$  km jest rzeczywistym promieniem słonecznym.

Należy pamiętać, że na zdjęciu obserwujemy projekcję (rzut) interesującego nas obiektu na płaszczyznę prostopadłą do osi teleskopu (kierunku obserwacji). Dlatego rzeczywiste wymiary obiektu mogą być nieco większe w zależności od jego położenia względem kierunku naszej obserwacji. Tym niemniej uzyskane wyniki dobrze charakteryzują skalę wielkości obiektów obserwowanych na tle tarczy słonecznej.



Rys. 5. Wyznaczenie promienia Słońca  $R$  w przypadku, gdy zdjęcie obejmuje całą gwiazdę.  $S$  oznacza środek tarczy słonecznej





Rys. 6. Wyznaczenie promienia Słońca  $R$  w przypadku, gdy na zdjęciu widoczna jest tylko pewna część powierzchni gwiazdy (S oznacza środek tarczy słonecznej niewidoczny na zdjęciu,  $AB = 2d$ ,  $CD = h$ ,  $AS=BS=CS= R$ ).

### 3. Fizyczne podstawy działania sekstantu

Sekstant jest przyrządem służącym do pomiarów kątów.

Jego zasadę działania ilustruje rysunek 7. Na płaszczyźnie przyrządu, która w czasie pomiaru powinna pokrywać się z płaszczyzną mierzonego kąta umocowane są dwa zwierciadła  $Z_1$  i  $Z_2$ . Ich płaszczyzny są prostopadłe do płaszczyzny sekstantu (rysunku). Ramię FC jest nieruchome, zwierciadło  $Z_1$  można obracać, gdyż jest ono umieszczone na ruchomym ramieniu FB. Zwierciadło  $Z_2$  jest umieszczone na nieruchomym ramieniu FA, i jego płaszczyzna jest równoległa do nieruchomego ramienia FC. Jego dolna połowa (licząc od płaszczyzny rysunku) jest posrebrzona, górna zaś przezroczysta.

Aby zmierzyć wysokość środka Słońca nad horyzontem należy ustawić płaszczyznę sekstantu pionowo tak aby zawierała ona również Słońce. Następnie doprowadzamy do takiej sytuacji aby widzieć przez lunetkę E w przezroczystej części zwierciadła  $Z_2$  horyzont a w drugiej posrebrzonej części tego samego zwierciadła zobaczyć obraz Słońca stykający się z horyzontem. W tym celu odpowiednio przesuwamy ruchomym ramieniem FB tak aby dolna krawędź Słońca dotykała horyzontu. Wskaźnik B ruchomego ramienia FB wskaże na podziałce łuku sekstantu przybliżoną wartość wysokości horyzontalnej Słońca  $h'$ . Ramię FB jest zakończone ramką, która może przesuwać się po łuku limbusa ABC sekstantu. Wewnątrz ramki znajduje się podziałka noniusza, która przylega do podziałki na limbusie. Kreska zerowa (indeks) na noniuszu pozwala odczytać kąt na podziałce limbusa z dokładnością do jednego stopnia.

Podziałka noniusza pozwala odczytywać kąty z dokładnością do  $6'$ . Wykorzystując prawa odbicia i analizując trójkąty  $FZ_2E$  oraz  $FZ_2D$  (rys.1) możemy zapisać:

$$\begin{aligned} 2\beta + h &= 2\alpha \\ \omega + \beta &= \alpha \end{aligned}$$

Stąd po prostych przekształceniach uzyskamy:  
 $\omega = h/2$ .

Proste  $Z_1D$  oraz  $Z_2D$  są prostopadłe do zwierciadeł  $Z_1$  oraz  $Z_2$  więc są także prostopadłe do prostych  $Z_1B$  i  $FC$ . Ponieważ kąty o ramionach wzajemnie prostopadłych są sobie równe dlatego kąt  $BZ_1C = \omega$ . Tak więc wysokość Słońca równa kątowi  $SES = h$  jest dwa razy większa od kąta o jaki należy obrócić ramię sekstantu  $FB$  od położenia równoległego do  $FC$ , aby uzyskać w lunecie  $E$  obraz Słońca styczny do horyzontu. Kąt  $\omega$  odczytujemy na limbusie sekstantu. Aby obserwator nie musiał mnożyć przez dwa kąt  $\omega$ , łuk limbusa sekstantu równy  $60^\circ$  podzielono nie na 60 ale 120 podziałek stopniowych.

Ponieważ atmosfera ziemską pozornie nieco „unoszą” bliżej zenitu ciała niebieskie (zjawisko refrakcji astronomicznej) aby uzyskać dokładniejszą wartość wysokości Słońca należy uwzględnić wartość refrakcji astronomicznej  $R$ . Należy w tym celu wykorzystać odpowiednie tablice (znajdują się one w poradnikach astronomicznych, np. w Poradniku miłośnika astronomii, P.G. Kulikowskiego, PWN W-wa 1976).

Dlatego ogólna poprawka dla pomiaru wysokości Słońca składa się z poprawki na refrakcję  $R$  o znaku ujemnym, oraz poprawki na promień Słońca  $r_0 = 16'$  o znaku dodatnim.

Przykład pomiaru:

Zmierzono wysokość dolnej krawędzi Słońca  $h' = 32^\circ 12'$ . Wtedy  $R = -1'.5$  (odczytana z tablic).

Mamy więc:

$$\begin{aligned} h' &= 32^\circ 12' \\ R &= -1'.5 \\ r_0 &= +16' \end{aligned}$$

Tak więc ostatecznie wysokość środka tarczy słonecznej nad horyzontem wynosi  $h = h' + R + r_0 = 32^\circ 26'.5$

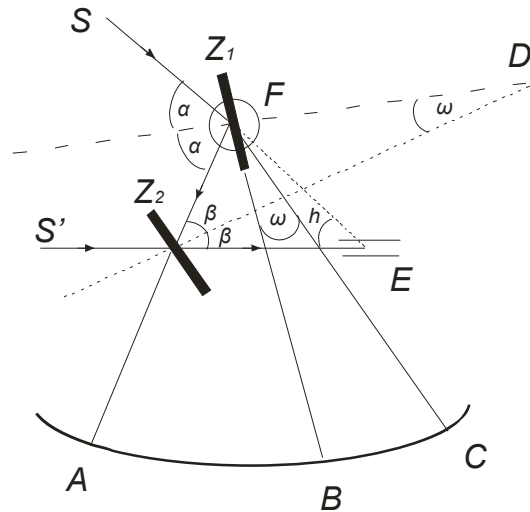
### UWAGA!

**1. Sekstant zaopatrzony jest w odpowiednie filtry w postaci płytek płasko-równoległych, które umożliwiają bezpieczną dla ludzkich oczu obserwację Słońca. Absorbują one na tyle światło słoneczne, że to docierające do obserwatora jest dla niego już nieszkodliwe. Dlatego też w czasie wykorzystywania sekstantu należy pamiętać o tym aby filtry przesłaniały Słońce.**

**2. Sekstant z natury rzeczy nadaje się do pomiarów wysokości środka tarczy słonecznej nad horyzontem na morzu, gdzie widoczna jest dokładnie linia horyzontu. W sytuacji gdy znajdujemy się na lądzie do wypoziomowania sekstantu możemy wykorzystać poziomnicę znajdującą się nad lunetką przyrządu.**

Otrzymany wynik jest obarczony błędami wynikającymi z następujących przyczyn:

- niedokładne ustawienie sekstantu względem horyzontu ( niedokładne wypoziomowanie przyrządu),
- niedokładne „ustawienie” Słońca względem horyzontu w polu widzenia lunety sekstantu,
- niedokładny odczyt pomiaru na skali limbusa lub noniusza.



Rys.7. Schemat działania sekstantu (opis znajduje się w tekście)

## II

# Materiały pomocnicze do ćwiczeń 4-8 wykonywanych w laboratorium

### 1. MAPA OBROTOWA NIEBA

Mapa obrotowa nieba jaką mają uczniowie do dyspozycji pozwala symulować położenie ciał niebieskich na niebie w dowolnym dniu roku o dowolnej godzinie czasu środkowoeuropejskiego (CET). Składa się ona z nieruchomej podkładki, na której naniesiono mapę nieba oraz obracalnej tarczy. Obracając tarczę mapy o  $360^{\circ}$  w kierunku przeciwnym do obrotu wskazówek zegara symulujemy obrót sfery niebieskiej ze wschodu na zachód odbywający się w ciągu 24 godzin. Wówczas na tarczy w owalu horyzontu przesuwają się obrazy nieba, który jest widoczny w danym momencie.

Na obwodzie podkładki znajduje się kalendarz, która zawiera miesiące i dni całego roku. Na tarczy zaznaczono godziny doby od  $0^h$  do  $23^h$ .

Aby porównać obraz na mapie z wyglądem nieba należy ją odpowiednio zorientować zgodnie ze stronami świata. Np. oglądając niebo w kierunku północnym należy trzymać mapę zwróconą ku dołowi „północ” (N na mapie). Analogicznie postępujemy patrząc w innych kierunkach. Aby uzyskać przybliżony wygląd nieba w ustalonym dniu roku o wybranej godzinie należy zestawić datę tego dnia znajdującą się na podkładce z wybraną godziną na obwodzie tarczy.

#### Przykład 1

Aby uzyskać wygląd nieba w Rzeszowie w dniu 25.XII. o godz. 20 obracamy tak mapę aby zestawić datę 25 grudnia z godziną 20. Wtedy uzyskamy przybliżony obraz nieba w Rzeszowie 25.XII. o godz 20.

Aby uzyskać dokładniejszy wygląd nieba należy uwzględnić poprawkę w długości geograficznej. Godziny na obwodzie tarczy podają czas miejscowy. Czas środkowo-europejski, który obowiązuje w Polsce w miesiącach jesienno-zimowych (CET) jest czasem miejscowym na  $15^{\circ}$  długości geograficznej wschodniej (np. w Zgorzelcu). Czas miejscowy w Rzeszowie uzyskamy dodając do czasu CET poprawkę 28 minut wynikającą z różnicy długości geograficznych pomiędzy Zgorzelcem a Rzeszowem.

**Tak więc nastawiając mapę na żądany moment czasu środkowo-europejskiego  $t_0$  nastawiamy ją na czas  $t_0 + \text{poprawka}$ , czyli dla Rzeszowa na czas:  $t_0 + 28 \text{ min}$ . Wynika stąd, że dla Rzeszowa w dniu 25 grudnia o godz.20 należy zestawić datę 25.XII. z godziną 20 min 28.**

**Odwrotnie aby odczytać z mapy moment danego zjawiska astronomicznego w czasie CET należy od godziny wskazanej przez mapę odjąć poprawkę w długości geograficznej.**

## **Przykład 2**

Aby uzyskać np. moment wschodu gwiazdy Syriusz znajdującej się w gwiazdozbiorze Wielkiego Psa w Rzeszowie w dniu 25. XII. ustawiamy mapę tak aby ta gwiazda znajdowała się na linii horyzontu po jego wschodniej (E) stronie. Przy dacie 25.XII. odczytujemy moment czasu  $19^{\text{h}}55^{\text{m}}$ . Jest to przybliżony moment wschodu Syriusza w Rzeszowie 25. XII. Dokładniejszy moment uzyskamy odejmując od tej godziny poprawkę dla Rzeszowa (28 minut).  
Tak więc Syriusz wschodzi w Rzeszowie 25.XII. o godzinie:  $19^{\text{h}}55^{\text{m}} - 0^{\text{h}}28^{\text{m}} = 19^{\text{h}}27^{\text{m}}$ .

## **2. Układ współrzędnych równikowych II (równonocnych)**

W pewnym uproszczeniu można powiedzieć, że mapa nieba jest atlasem astronomicznym, w którym do wyznaczenia położenia obiektów kosmicznych wykorzystuje się układ współrzędnych równikowych II (równonocnych). Dlatego poniżej dokonano krótkiej charakterystyki układu współrzędnych równonocnych, który jest powszechnie stosowany w atlasach i kalendarzach astronomicznych.

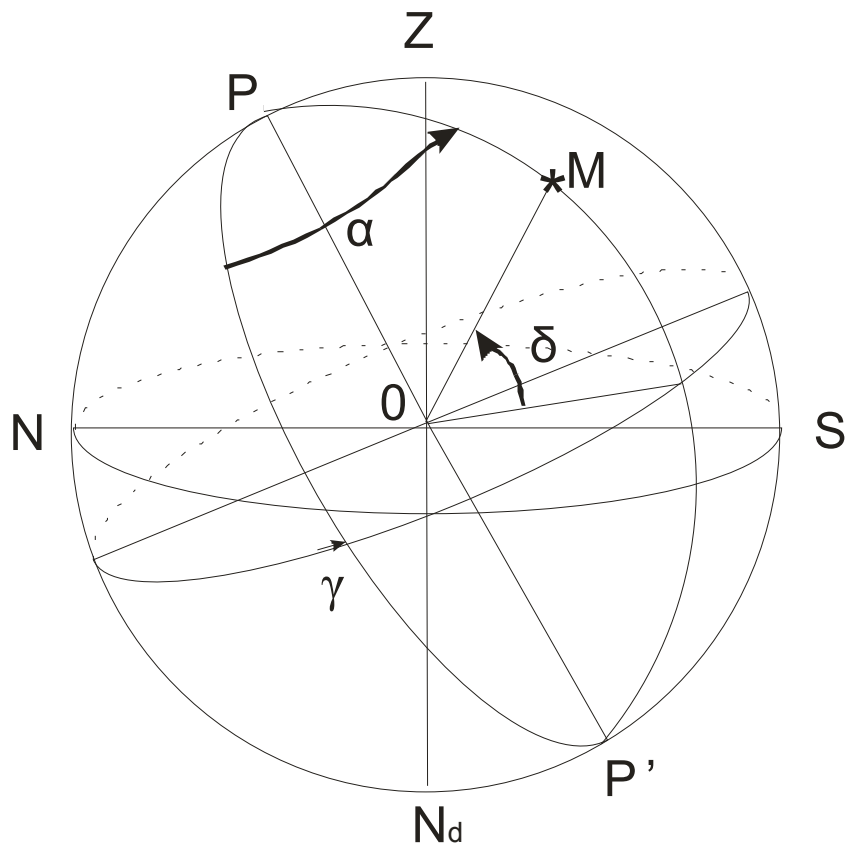
Podstawowym kołem tego układu jest równik niebieski. Jest on wyznaczony przez rzut równika ziemskiego na sferę niebieską. Dlatego płaszczyzna równika niebieskiego pokrywa się z płaszczyzną równika ziemskiego. Ośią podstawową tego układu jest tzw. oś świata. Łączy ona północny i południowy biegun niebieski. Bieguny niebieskie to punkty nieruchome na sferze niebieskiej nie biorące udziału w jej dobowym obrocie. Północny biegun niebieski widoczny jest na półkuli geograficznej północnej a południowy biegun niebieski na półkuli geograficznej południowej. Bieguny niebieskie są wyznaczone przez rzuty odpowiednich biegunów geograficznych na sferę niebieską. Punktem początkowym układu współrzędnych równikowych II jest punkt Barana - punkt równonocy wiosennej, przez który przechodzi co roku Słońce około 21 marca (oznaczany symbolem  $\gamma$ ). Koła wielkie przechodzące przez bieguny niebieskie nazywane są kołami godzinnymi.

Położenie ciała niebieskiego w układzie współrzędnych równikowych II określają dwie współrzędne: deklinacja  $\delta$  oraz rektascensja  $\alpha$ .

Deklinacja ( $\delta$ ) ciała niebieskiego jest wyznaczona przez kąt pomiędzy kierunkiem obserwator - ciało niebieskie a płaszczyzną równika niebieskiego. Inaczej jest to łuk koła godzinowego przechodzącego przez dane ciało niebieskie zawarty pomiędzy równikiem niebieskim a tym ciałem. Deklinacja zmienia się w granicach od  $-90^\circ$  (biegun niebieski południowy) przez  $0^\circ$  (równik niebieski) do  $+90^\circ$  (biegun niebieski północny).

Rektascensja ( $\alpha$ ) – jest wyznaczona przez kąt dwuścienny pomiędzy kołem godzinnym przechodzącym przez punkt Barana ( $\gamma$ ) a kołem godzinnym danego ciała niebieskiego.

Inaczej mówiąc jest równa łukowi równika niebieskiego, którego końce stanowią punkt Barana  $\gamma$  oraz punkt płaszczyzny koła godzinowego danego ciała niebieskiego. Rektascensję mierzymy w mierze czasowej od punktu Barana w kierunku przeciwnym do obrotu sfery niebieskiej i zmienia się ona od  $0^h$  do  $24^h$ .



Rys. 8. Układ współrzędnych równikowych II (równonocnych). Przyjęto następujące oznaczenia: P – północny biegun niebieski, P' – południowy biegun niebieski, N- punkt północny, S- punkt południowy, Z – zenit, Nd - nadir,  $\gamma$  - punkt równonocy wiosennej, M – ciało niebieskie,  $\delta$ ,  $\alpha$  jego deklinacja oraz rektascensja.