

**Uniwersytet Mikołaja Kopernika**  
**Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej.**

Renata Bławat

nr albumu: 233785

Praca magisterska na kierunku: fizyka

**„TYLE ASTRONOMII..**  
**W FIZYCE I ASTRONOMII SZKOLNEJ”.**

Opiekun pracy dyplomowej:  
dr Krzysztof Rochowicz  
Zakład Dydaktyki Fizyki Uniwersytetu  
Mikołaja Kopernika w Toruniu

Toruń 2011

Pracę przyjmuję i akceptuję

Potwierdzam złożenie pracy dyplomowej

.....

.....

*data i podpis opiekuna pracy*

*data i podpis pracownika dziekanatu*

*Składam serdeczne podziękowania promotorowi mojej pracy, za cierpliwość, cenne wskazówki, poświęcony mi czas oraz wsparcie. Chciałabym również podziękować Tym Wszystkim moim Bliskim, którzy pomogli mi w ukończeniu mojej pracy naukowej, za pomoc, dobre rady, otuchę i nieustanną motywację.*

*UMK zastrzega sobie prawo własności niniejszej pracy magisterskiej w celu udostępniania dla potrzeb działalności naukowo-badawczej lub dydaktycznej.*

## Spis treści.

	<b>Strona</b>
<b>1. Wstęp</b> .....	<b>6</b>
<b>2. Historia astronomii</b> .....	<b>8</b>
2.1. Astronomia starożytnego Egiptu i Mezopotamii .....	8
2.2. Astronomia starożytnej Grecji .....	12
2.3. Średniowieczna astronomia islamu .....	14
2.4. Średniowiecze i astronomia arabska .....	15
2.5. Renesans .....	17
2.6. Astronomia współczesna .....	20
<b>3. Narzędzia i metody astronomii</b> .....	<b>23</b>
3.1. Gnomon .....	23
3.2. Dioptria .....	25
3.3. Astrolabium .....	26
3.4. Torquetum .....	27
3.5. Tablice astronomiczne .....	28
3.6. Luneta .....	28
3.7. Teleskop .....	30
3.8. Radioteleskop .....	34
<b>4. Badania przestrzeni kosmicznej</b> .....	<b>37</b>
4.1. Księżyc .....	37
4.2. Planety .....	41
4.3. Słońce .....	42
4.4. Promieniowanie w Kosmosie .....	44
4.5. Kosmiczny teleskop Hubble'a .....	46
<b>5. Układ Słoneczny</b> .....	<b>48</b>
5.1. Słońce .....	49
5.2. Księżyc .....	50
5.3. Merkury .....	53
5.4. Wenus .....	54
5.5. Ziemia .....	55
5.6. Mars .....	58

5.7. Jowisz .....	60
5.8. Saturn .....	61
5.9. Uran .....	63
5.10. Neptun .....	64
5.11. Pluton .....	65
<b>6. Wszechświat .....</b>	<b>67</b>
6.1. Gwiazdy .....	67
6.2. Czarna dziura .....	71
6.3. Galaktyki .....	73
6.4. Materia międzygwiazdowa .....	77
6.5. Małe obiekty Kosmosu .....	79
<b>7. Obserwacje nieba .....</b>	<b>83</b>
7.1. Mapa nieba .....	83
7.2. Odległości między obiektami na niebie.....	85
7.3. Jasność gwiazd .....	86
7.4. Odległości do gwiazd .....	88
<b>8. Program koła astronomicznego .....</b>	<b>90</b>
<b>9. Podsumowanie .....</b>	<b>97</b>
<b>10. Literatura .....</b>	<b>99</b>

## 1. Wstęp.

Spoglądając w roziskrzone nocne niebo, niejednokrotnie zadajemy sobie pytanie, gdzie żyjemy, co nas otacza, co to jest Wszechświat, jak wygląda, kiedy powstał, jakie miejsce zajmuje w nim Ziemia? Żeby uzyskać odpowiedź, należy poznać współczesny obraz Wszechświata, jego budowę i ewolucję. Dzisiaj o Wielkim Wybuchu, powstawaniu galaktyk, budowie i ewolucji gwiazd wiadomo już wiele. Astronomia w istotny sposób formułuje rozumienie otaczającego nas świata a ilość informacji astronomicznych, ogólnie dostępnych poprzez środki masowego przekazu, rośnie z każdym dniem bardzo szybko. Wynika to zarówno z ogólnego postępu nauki i techniki jak i wysiłków podejmowanych dla zrozumienia procesów warunkujących rozwój naszej cywilizacji. Zdaje się to sugerować konieczność wprowadzenia podstaw astronomii nawet do najbardziej elementarnego kanonu wiedzy.

A jakie odbicie znajdują zagadnienia astronomiczne w powszechnej edukacji? Astronomia w szkole nie istnieje praktycznie od około 15 lat. Dawniej była ona osobnym przedmiotem w klasie maturalnej. Do nauczania przedmiotu przygotowany był podręcznik: Konrad Rudnicki: „Astronomia dla klasy IV liceum ogólnokształcącego, technikum i liceum zawodowego”, rok wydania 1988. Obecne „nowe” programy dla szkół średnich i gimnazjalnych obejmują m. in. treści związane z fizyką i astronomią ujęte w jeden przedmiot. O ile dobór treści fizycznych nie wywołuje zasadniczych zastrzeżeń, chociażby z racji długotrwałości rozważań nad ich zawartością, o tyle wybór treści astronomicznych i sugerowany sposób ich wprowadzania może budzić poważne wątpliwości. Młodzież gimnazjalna poznaje tematy astronomiczne w dwóch lub trzech etapach: na geografii w klasie I, gdy omawiane jest miejsce Ziemi w Układzie Słonecznym, oraz w trakcie nauki fizyki, najczęściej w klasie II, gdy omawiane są zagadnienia dotyczące ciężenia powszechnego i kosmologii jest to często koniec klasy III. W najlepszym przypadku są to cztery godziny lekcyjne w całym cyklu kształcenia. To zdecydowanie za mało, aby ucznia zainteresować i pobudzić jego wrażliwość na piękno nocnego nieba oraz na próbę spojrzenia na bezmiar kosmosu. Jednakże oprócz poznawania astronomii w szkole młodzież spotyka się z zagadnieniami astronomicznymi oglądając filmy SF, filmy popularno-naukowe lub uczestnicząc w seansach w planetariach. Zainteresowanie rozbudzone takimi spotkaniami z nauką wypadaloby podtrzymać. Fakt ten wydaje się istotnym powodem do podjęcia próby opracowania nowego programu nauczania fizyki i astronomii uwzględniającego treści

astronomiczne również na poziomie wykształcenia powszechnego. Ponieważ obecnie za taki poziom przyjmuje się wykształcenie ponad podstawowe taka rewizja programu powinna dotyczyć głównie poziomu gimnazjum. Taki jest też cel przedstawionej pracy. Poszczególne jej rozdziały dotyczą :

- Historii astronomii,
- Narzędzi i metod astronomii,
- Badań kosmicznych,
- Układu Słonecznego,
- Wszechświata i galaktyk,
- Widoku nieba,
- Proponowany sposób wprowadzenia tych treści.

## 2. Zarys historyczny.

Astronomia, a zwłaszcza w starożytności, jest o tyle tajemnicza, że wyniki obserwacji nie zawsze są dostępne w formie zapisanej. Ludzie muszą, więc się zastanawiać czy to, co ktoś odkrył to jest prawda, czy może tylko zmyślona historyjka. Czasami sami możemy być astronomami patrząc na niebo przez lunetę lub też przez lornetkę. Zawsze znajdzie się coś interesującego dla oka. W starożytności interesujące było wszystko począwszy od samego nieba, a skończywszy na najmniejszym świecącym punkcie. Ludzie wykorzystywali to i przekazywali wyniki obserwacji. Dzięki temu wiemy o gwiazdach więcej. Od czasów starożytnych aż po wiek XVII celem astronomii był jak najdokładniejszy opis ruchów ciał niebieskich, obserwowanych nieuzbrojonym okiem: gwiazd oraz planet, Słońca i Księżyca. Wszechświat ograniczony był do orbit planetarnych i sfery gwiazd stałych. Ziemia, jako planeta zajmowała w nim miejsce szczególne. W starożytności wymownie był widoczny podział astronomii na dwa nurty:

- praktyczny – związany z potrzebami życia codziennego,
- naukowy – koncentrujący się na budowie modeli matematycznych, które pozwalałyby precyzyjnie opisywać ruchy planet na sferze niebieskiej i przewidywać ich przyszłe położenia.

Pierwszy nurt dominował przede wszystkim w Egipcie, drugi – w Grecji. Astronomia starożytnej Mezopotamii stanowiła połączenie obu nurtów.

### 2.1. Astronomia starożytnego Egiptu i Mezopotamii.

Nie tylko zamieszkujący południe Dwurzecza Babilończycy wykazywali szczególne zainteresowanie "światem w górze", i nie oni pierwsi rozwijali wiedzę o obiektach niebieskich oddając im boską cześć. Mimo że Babilończycy uczynili dla rozwoju astronomii najwięcej, nie możemy jednak pominąć milczeniem ogromnej przepaści czasowej rozpościerającej się przed nimi, o której tak niewiele wiemy. Za najtrwalsze osiągnięcia astronomii starożytnego Egiptu można uznać wprowadzenie już około 3000 r. p.n.e. kalendarza opartego na roku liczącym 365 dni oraz ustalenie podziału nocy, a potem i dnia, na 12 części, skąd wzięła się ostatecznie nasza doba, mająca 24 godziny. Po ewentualnych megalitycznych budowlach Egiptu nie pozostało śladu, może pochłonęły je piramidy, a może



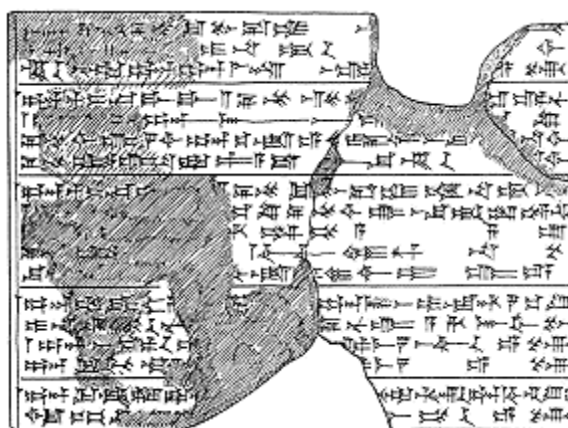
nie było ich nigdy w takiej formie o jakiej myślimy, ale ich zainteresowania astronomiczne zostały utrwalone między innymi w zwyczajach pogrzebowych, wyposażeniu i sytuowaniu pierwszych pochówków, gdzie przetrwały do dziś. Już do prehistorycznych grobów wkładano naczynia ceramiczne, być może wytwarzane wyłącznie w celach obrzędowych, które z uwagi na materiał nieorganiczny najlepiej zachowały się do naszych czasów.

Dzięki tysiącom zachowanych klinowych tabliczek, a zwłaszcza zapisów pochodzących z asyryjskiej biblioteki króla Asurbanipala (668-626 p.n.e.), możemy odtworzyć początki tej archeoastronomii. Najwcześniejsze babilońskie teksty astronomiczne pochodzą z przełomu XVIII-XVII w. p.n.e., a najstarszym zachowanym na piśmie zabytkiem jest astrologiczne kompendium "Enuma Anu Enlil", zawierające informacje o położeniach i okresach widoczności Wenus. To tak zwana "Tabliczka Wenus" znaleziona przez Sir Henry'ego Layarda, a odczytana w 1911 roku przez niemieckiego jezuitę F. X. Kuglera. Uważa się, że oryginał tego zapisu powstał w czasach pierwszej dynastii babilońskiej, za panowania Hammurabiego w latach 1792-1750 p.n.e., a może jeszcze wcześniej. Jej treść można śmiało nazwać protoastrologiczną, gdyż jest rodzajem przepowiedni – wróżenia z gwiazd. Napisano tam, że kiedy pojawi się Wenus "nastaną deszcze na niebiosach", następnie będzie niewidoczna przez trzy miesiące, a kiedy powróci, "wojna nawiedzi kraj, a plony będą obfite". Należy więc przypuszczać, że kapłani odnotowywali pojawianie się Wenus, a także jej nieobecności, oraz wydarzenia towarzyszące temu zjawisku w celach wróżbiarskich, dając tym samym wzorzec późniejszym praktykom astrologicznym stosowanym po dzień dzisiejszy. Podczas gdy kapłani dawnego Babilonu zajmowali się głównie Wenus, Asyryjczycy znali wszystkie planety widoczne gołym okiem, których położenia określano i odnotowywano względem około czterdziestu jasnych gwiazd. Tę wczesną astronomię, posługującą się zapiskami i obserwacjami uprawiano mniej więcej od 800 roku p.n.e. w celu rachuby czasu i uroczystości religijnych. Ogromną rolę odegrały tu obserwacje Księżyca, który obok Słońca i Wenus jest najbardziej charakterystycznym światłem nieba. Głównym celem obserwacji planet było prorokowanie, lecz rachowanie wschodów czy zachodów Słońca pomiędzy dwoma pełniami Księżyca służyło do ustalania początku nowego miesiąca. Pogląd jaki wyraził tysiąc lat później w jednym ze swych midriasy<sup>1</sup> pewien żydowski rabin, że "Księżyc został stworzony do rachowania dni" miał

---

<sup>1</sup> jedna z metod interpretacji i komentowania Biblii hebrajskiej za pomocą sentencji, objaśnień lub przypowieści, łącząca dydaktykę z formą osobistych przemyśleń autora, wg. Encyklopedii PWN.

swe odzwierciedlenie w asyryjskim kalendarzu opartym na jego fazach. Asyryjczycy wiedzieli, że czas jaki upływa pomiędzy kolejnymi pełni Księżyca, wynosi około 29,5 dnia. Całkowita wielokrotność dawała jednak różnicę około 11 dni w roku. Dlatego dla wyrównania czasu dodawano co trzy lata trzynasty miesiąc księżycowy. Ich miesiąc zaczynał się wraz z pierwszym półksiężycem, dlatego dzień rozpoczynał się o zachodzie, a nie o wschodzie Słońca, do czego jesteśmy przyzwyczajeni. Asyryjczycy zauważyli też, że nie tkwi on nieruchomo wśród gwiazd stałych, co doprowadziło do nadania nazw gwiazdom położonym w pobliżu jego pozornej drogi po niebie. Jednym z rezultatów dokładnej obserwacji Księżyca, był podział tej drogi na dwadzieścia osiem "stacji księżycowych", rozmieszczonych mniej więcej co trzynaście stopni, co odpowiada odległości przebywanej przez Księżyc w ciągu 24 godzin. Księżyc porusza się wśród tych samych charakterystycznych gwiazd stałych, bez względu na to, czy obserwowany jest z Ur, Madras, czy Szanghaju. Dlatego stacje te znane były zarówno Chińczykom, jak i mieszkańcom Indii, oraz w późniejszych czasach Arabom. Jednak wszystkie grupy gwiazd tworzące owe "stacje lunarne" są identyczne w tych oddalonych od siebie krajach, co świadczy o rozprzestrzenianiu się wiedzy Babilonu na inne ludy. Nieocenionym dokumentem Dwurzecza jest również tekst znany pod nazwą Mulapin – pierwsze kompendium wiedzy astronomicznej, jak również tekst pochodzący z miasta Aszur, wprowadzający nas w świat gwiazdnej geometrii opisujący kształty niektórych konstelacji (Rys. 1).



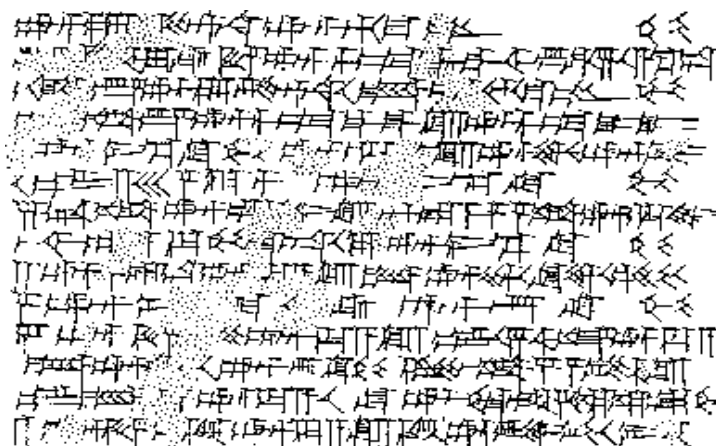
Rys. 1. Fragment tabliczki z Aszur.

Opierając się na tych dokumentach, możemy przypuścić, że Mezopotamczycy starali się dostrzec ludzkie i zwierzęce kształty w figurach utworzonych przez gwiazdy. Pośród dokumentów tych znaleźć można bardzo schematyczne listy gwiazd, w których wymieniane

są nazwy ciał niebieskich używane w tym rejonie, z których część dotrwała do naszych czasów tworząc podwaliny astronomicznej nomenklatury.

W bałaganie Dwurzecza, po wcieleniu wojujących ze sobą państw i miast do imperium perskiego, zniknęły niepotrzebne Persom przepowiednie od Isztar czy Marduka, jednak obserwacje astronomiczne kontynuowano nadal. Prowadzili je mędrcy zwani Chaldejczykami Babilonu. W prorocztwie Danielowym wyraz Chaldejczyk oznacza astronoma, astrologa, czy w ogóle czarownika. To oni stali się pierwszymi astronomami w naszym rozumieniu – ludźmi prowadzącymi obserwacje nieba w celach poznawczych. Zaczęli nawet dokonywać pierwszych pomiarów okresów synodycznych pięciu znanych im planet. Ziemię jednak uważali za nieruchomą, a horyzont traktowali jako linię dzielącą sferę niebieską na dwie połowy. Do naszych czasów dotrwały również teksty podające względną lokalizację poszczególnych obiektów i konstelacji. Dzięki nim możliwe jest dziś ustalenie, w którym rejonie nieba szukać należy określonych gwiazdozbiorów i w jakim stopniu pokrywają się one z dzisiejszymi konstelacjami. Kiedy odcyfrowano ich zapisy, wydało się zdumiewające na pierwszy rzut oka, że tak wiele konstelacji nosiło już wówczas nazwy, którymi nadal się posługujemy (Rys. 2). Obecnie używamy tych nazw dlatego, że Grecy zapożyczyli je od Chaldejczyków i przekazali potomności. Chaldejczycy pomimo całej swej biegłości obserwacyjnej i rachunkowej, nigdy nie posunęli się poza coraz doskonalsze spisywanie efemeryd. Nie stworzyli żadnego systemu astronomicznego, zapewne głównie dlatego, że pełnili służbę religijną. Zrzucili asyryjskie polowanie na znaki wróżebne, a naczelnym celem ich ustaleń dotyczącym wydarzeń astronomicznych było wyznaczenie właściwych terminów odprawiania obrzędów religijnych. Ich obliczenia były formą kultu. Nie odczuwali też potrzeby rozwijania jakiegoś systemu astronomicznego, ponieważ swą wiedzę o świecie czerpali ze swej religii. Ich astronomii nie położył kres żaden kataklizm polityczny w rodzaju wojny czy oblężenia, jak w przypadku Inków. Po prostu wygasła. Ostatnie tabliczki odcyfrowane przez Kuglera dotyczą 10 roku p.n.e., a ostatni almanach astrologiczny utrzymany w tej tradycji pochodzi z 75 r. i został znaleziony w świątyni w Babilonie. Astronomii babilońskiej zawdzięczamy wprowadzenie zodiaku (ok. V w. p.n.e.), zarówno jako zbioru konstelacji, jak i koła wielkiego, będącego podstawą ekliptycznego układu współrzędnych na sferze niebieskiej. Z tamtejszej tradycji obliczeniowej wziął się stopień – jako podstawowa jednostka miary kątowej – oraz system sześćdziesiątny. Poza tekstami bogatymi w informacje o obserwowanych zjawiskach astronomicznych (np. lista zaćmień sięgająca połowy VIII w. p.n.e.), astronomia babilońska pozostawiła dokładnie

wyznaczone fundamentalne parametry, takie jak miesiąc synodyczny, rok zwrotnikowy, i stosunki między okresami obiegu planet. Około 500 r. p.n.e. w astronomii babilońskiej pojawiły się modele matematyczne, które umożliwiały obliczanie – na podstawie opracowanych algorytmów i przy użyciu kilku wyznaczonych parametrów – czasu występowania ważnych zjawisk astronomicznych: nowiu i pełni Księżyca, zaćmień, okresów widoczności planet, ich opozycji i stanowisk.



Rys. 2. Odrys babilońskiej tabliczki klinowej (VII-V w. p.n.e.) zawierającej listę gwiazd.

## 2.2. Astronomia starożytnej Grecji.

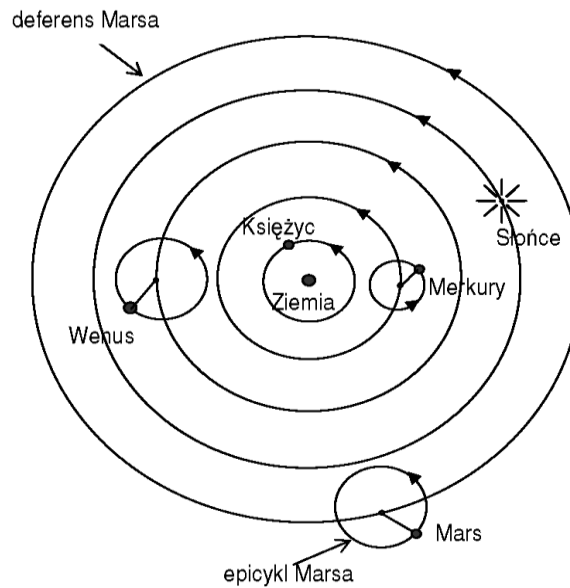
Astronomia starożytnej Grecji stworzyła model uprawiania nauki, który łączył dwa elementy: teorię, wykorzystującą do opisu zjawisk niebieskich geometrię (oryginalna idea grecka), i przewidywania położenia ciał niebieskich, mające postać danych liczbowych. W pierwszym okresie rozwoju, począwszy od VI w. p.n.e., astronomia grecka miała charakter opisowy. Pojawiło się wiele spekulatywnych teorii kosmologicznych, próbujących wyjaśnić fizyczną naturę świata i ciał niebieskich.

Platon, który w swej kosmologii przyjmował, że Wszechświat jest urządzony harmonijnie, sformułował program rozwoju greckiej astronomii starożytnej, żądając, by przyjęła ona, iż ruchy ciał niebieskich są jednostajne i kołowe, i za pomocą tylko tego rodzaju ruchów oraz ich złożenia opisała obserwowane zachowanie planet. Jako pierwszy rozwiązanie tego problemu podał Eudoksos z Knidos, uczeń Platona, konstruując model świata w postaci współśrodkowych sfer. W modelu tym każda planeta była unoszona przez jedną lub kilka sfer, wirujących ze stałą prędkością wokół Ziemi, która tkwiła w miejscu ich wspólnego środka. Sfery obracały się wokół osi mających różne bieguny i były ze sobą połączone, tak, że

ruch sfery zewnętrznej przenosił się na sferę wewnętrzną. Model Eudoksosa, rozwinięty później przez Kalipposa, który zwiększył liczbę sfer z pierwotnych 26 do 35, przyjął następnie Arystoteles w jeszcze bardziej rozbudowanej postaci (nawet 55 sfer). Model sfer współśrodkowych nie był jednak w stanie opisać ilościowo ruchu planet.

Nowy okres w astronomii starożytnej Grecji, charakteryzujący się wyznaczaniem parametrów modeli planetarnych z obserwacji, rozpoczął w III w. p.n.e. Arystarch z Samos. Uczony ten jako pierwszy wysunął tezę, że Ziemia wykonuje dwa ruchy: obrotowy wokół swej osi i roczny dokoła Słońca. Apoloniusz z Pergii wprowadził dwa geometryczne modele orbit planet. W pierwszym z nich planeta krążyła wokół Ziemi ruchem jednostajnym po okręgu, ale Ziemia nie leżała w jego środku, lecz była od niego nieco odsunięta; powodowało to zmiany odległości planety od Ziemi, a zatem prędkości tej pierwszej na tle gwiazd. W drugim modelu planeta poruszała się ruchem jednostajnym po małym okręgu, zwanym epicyklem, którego środek wędrował z kolei – również ruchem jednostajnym – po dużym okręgu, czyli deferencie; środek deferentu pokrywał się z Ziemią. Modele te były sobie równoważne.

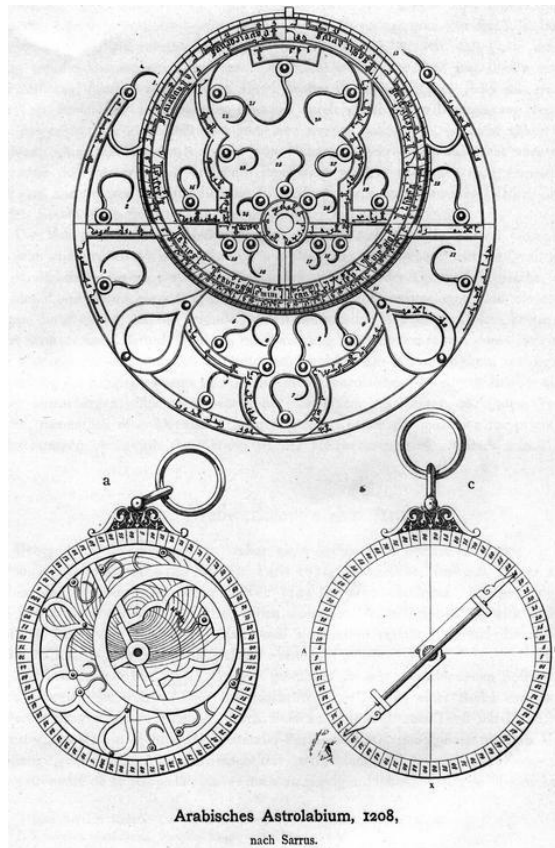
Pierwszy z modeli Apoloniusza wykorzystał Hipparch (II w. p.n.e.) do opisanie ruchu Słońca wokół Ziemi. Wyzначzył on parametry orbity na podstawie pomiarów długości dwóch pór roku: wiosny i lata. Drugi model posłużył Hipparchowi do przedstawienia ruchu Księżyca; do określenia parametrów orbity księżycowej uczony użył danych ze źródeł babilońskich. Informacje o osiągnięciach Hipparcha zachowały się niemal wyłącznie we fragmentach "Almagestu" Klaudiusza Ptolemeusza (II w. n.e.), który był kontynuatorem jego dzieła. Pracując w Aleksandrii, opisał w swym dziele astronomicznym kompletny system modeli geometrycznych i związanych z nimi tabel, pozwalający przewidzieć położenia Słońca, Księżyca i planet w dowolnej chwili w przeszłości i przyszłości. Za sprawą Ptolemeusza utrwalił się także na długo porządek planet w rosnącej odległości od Ziemi: Księżyc, Merkury, Wenus, Słońce, Mars, Jowisz i Saturn. W opisanym przez niego modelu każda z planet poruszała się w sferycznej powłoce, na tyle grubej, by mieścił się w niej epicykl; przy czym dolna granica powłoki bardziej zewnętrznej planety była jednocześnie górną granicą powłoki planety bliższej Ziemi. Dzieło Ptolemeusza stanowi szczyt dokonań astronomii starożytnej (Rys. 3).



**Rys. 3.** Układ słoneczny Klaudiosa Ptolemeusza (Almagest, ~150 n.e.).

### 2.3. Średniowieczna astronomia islamu.

Między VIII i XIV w. astronomia rozwijała się bujnie w krajach islamu: na Bliskim Wschodzie, w Afryce Północnej i w mauretańskiej Hiszpanii. Zdecydowały o tym dwa czynniki: geograficzna bliskość tych obszarów w stosunku do światowych ośrodków nauki starożytnej, gdzie przechowywano teksty naukowe, oraz praktyki religii islamu, które stawiały przed astronomią wiele zadań, dotyczących rachuby czasu (kalendarz księżycowy, wymóg pięciokrotnego odmawiania modlitwy w ciągu dnia) i wyznaczenia kierunku ku Mekce w dowolnym miejscu na Ziemi. Uczni islamu wnieśli duży wkład w rozwój astronomii sferycznej (rozwiązywanie trójkątów na sferze), co odzwierciedla terminologia przejęta z języka arabskiego: zenit, nadir, azymut. Świadectwem zainteresowania uczonych islamu katalogiem 1022 gwiazd z "Almagestu" jest jego krytyczna rewizja, opracowana w X w. przez Abd al-Rahmana al-Sufiego. Wraz z rozprzestrzenianiem się w Europie arabskiej wersji astrolabium płaskiego – przyrządu służącego do rozwiązywania zadań astronomii sferycznej, będącego jednocześnie miniaturą mapą nieba (Fot. 1) – upowszechniały się arabskie nazwy najjaśniejszych gwiazd. W krajach islamu funkcjonowały również duże obserwatoria astronomiczne, wyposażone w instrumenty i mające liczny personel; do najbardziej znanych zalicza się obserwatorium w Maradze.



**Fot. 1.** Astrolabium z 1208 roku.

Astronomowie islamu próbowali wyznaczyć dokładniejsze parametry orbit w systemie Ptolemeusza i konstruować lepsze fizyczne modele Wszechświata. Thabit ben Qurra (IX w.), pragnąc wyjaśnić rozbieżność między obserwowaną wartością precesji a błędną wartością, podaną przez Ptolemeusza, opracował nową teorię tego zjawiska. Muhammad al-Battani (ok. 854-929) na podstawie własnych obserwacji poprawił wiele parametrów modelu geocentrycznego (m.in. orbitę Słońca). Jego "Zij", czyli "Tablice astronomiczne", zostały w XII w. przełożone na łacinę i były wykorzystywane przez astronomów europejskich. Wielką popularnością cieszyły się "Tablice toledańskie" mauretańskiego astronoma al.-Zarqaliego (Arzachela; XI w.), które szybko zostały przetłumaczone na łacinę.

#### **2.4. Średniowiecze i astronomia arabska.**

Wraz z nadejściem europejskiego średniowiecza szybkość odkryć astronomicznych, nadana przez Greków, została szybko wyhamowana. Problemy, z jakimi Europa wchodziła w tę epokę, wpłynęły na aktywność intelektualną tamtych czasów. Większość astronomicznych traktatów powstałych w starożytności (zwłaszcza w Grecji) była wtedy

nieosiągalna, dostępne były tylko uproszczone podsumowania i opracowania. Jedynym ambitniejszym wykorzystaniem astronomii w średniowieczu było wyliczanie dokładnej daty Wielkanocy.

Świat arabski pod wpływem Islamu zaczął się tymczasem szybko rozwijać. Wiele ważnych prac starożytnych greckich myślicieli zostało przetłumaczonych na arabski i było używanych do badań i przechowywanych w bibliotekach na całym terytorium państwa arabskiego. Perski astronom z IX wieku, al-Farghani, opisał szczegółowo ruch ciał niebieskich. Jego dzieło zostało przetłumaczone na łacinę w XII wieku. W II poł. X wieku w pobliżu Teheranu, w Iranie, astronom al-Khujandi wybudował duże obserwatorium, w którym zaobserwował szereg przejść południkowych Słońca. Obserwacje te pozwoliły mu obliczyć nachylenie osi obrotu do płaszczyzny orbity Ziemi. W Persji, Omar Chajjam opracował wiele tablic i przedstawił projekt reformy kalendarza, który był dokładniejszy od kalendarza juliańskiego i zbliżony dokładnością do kalendarza gregoriańskiego. Niesamowitym wyczynem było wyliczenie długości roku na 365, 24219858156 dnia, co jest obliczeniem właściwym aż do szóstego miejsca po przecinku. Począwszy od roku 1100, z początkiem tzw. renesansu dwunastowiecznego, w Europie wzrosło zapotrzebowanie na wiedzę przyrodniczą. Astronomia była jedną z siedmiu sztuk wyzwolonych, a w efekcie jednym z głównych przedmiotów każdego studium generale (średniowiecznych uniwersytetów). Modelem najchętniej rozważanym w średniowieczu był zaczerpnięty od Greków model geocentryczny, w którym kulista Ziemia umiejscowiona była w centrum Wszechświata, ze Słońcem, Księżycem i planetami umieszczonymi w swoich koncentrycznych sferach (Fot. 2). Stałe gwiazdy wypełniały najdalszą część nieboskłonu. W XIV wieku Mikołaj Oresme, późniejszy biskup Liseux, stwierdził, że zarówno przesłanki biblijne, jak i doświadczenie i obserwacja nie dostarczają dowodu, że obraca się niebo, a nieruchoma jest Ziemia. Jednakże, jak konkludował: „każdy twierdzi swoje i sędzę, że to niebiosy się ruszają, nie Ziemia. Przecież Bóg ustanowił świat, który nie będzie się poruszał.” W XV stuleciu kardynał Mikołaj z Kuzy sugerował w niektórych swoich opracowaniach, że Ziemia obraca się wokół Słońca oraz, że każda gwiazda jest tak naprawdę odległym słońcem. Jednakże, nie poparł on swoich domysłów dowodami sprawdzalnymi naukowo.



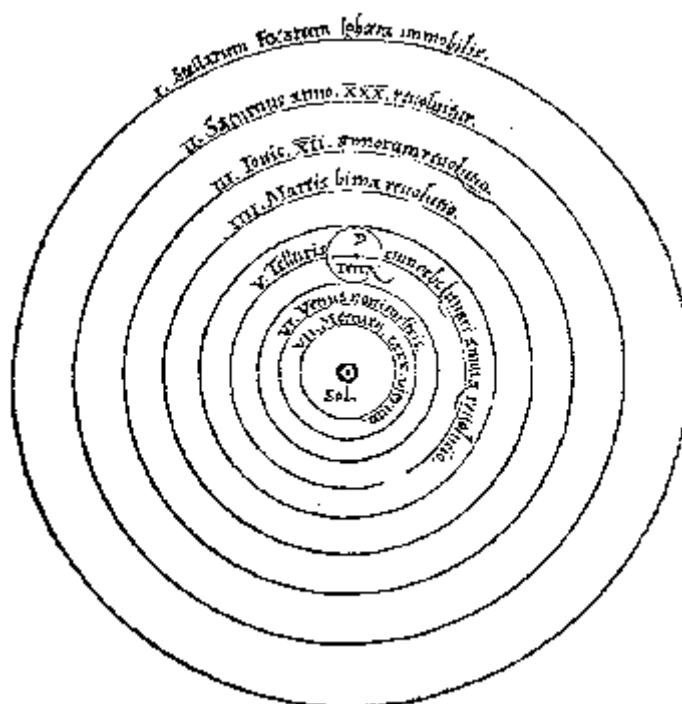


**Fot. 2.** Średniowieczny system sfer planetarnych, otaczających Ziemię, został przedstawiony na obrazie "Wygnanie z raju" Giovanniego di Paolo (ok. 1445 r.). Bóg wprawia w ruch najbardziej zewnętrzną sferę układu geocentrycznego.

## 2.5. Renesans.

Odrodzenie astronomii w Europie Zachodniej powiązane jest z przyswajaniem wiedzy arabskiej (arabskich przekładów autorów greckich i oryginalnych dzieł uczonych islamu) w XI i XII w. w ośrodkach hiszpańskich (m.in. Toledo, Kastylia). W drugiej połowie XIII w. pod protektorem Alfonsa X Mądryego, powstały "Tablice alfonsyńskie" (ich ostateczną redakcję przypisuje się środowisku naukowemu Paryża), które zgodnie z modelami Ptolemeusza podawały sposoby obliczania położenia planet. Zastąpiły one "Tablice toledańskie" i na długie lata zyskały popularność wśród astronomów i astrologów. Okres od końca XV do początku XVII w. W pierwszym etapie powstania nowego modelu Wszechświata najważniejszą rolę odegrały dwa ośrodki: wiedeńsko-norymberski i krakowski. Z pierwszym z nich związane są nazwiska dwóch uczonych: Georga Peurbacha i Johannesa Müllera, zwanego, Regiomontanem. Peurbach, zgodnie z wytyczonym przez siebie planem odnowy astronomii poprzez studiowanie dzieł autorów starożytnych, przedstawił w "Nowych teoriach planet" skrót astronomii Ptolemeusza i jego arabskich krytyków. Zaczął również pisać streszczenie "Almagestu" ("Epitoma in Almagestum"), które po jego śmierci dokończył i wydał Regiomontanus. Oba dzieła cieszyły się wielką popularnością.

Mikołaj Kopernik zawdzięczał podstawy swej wiedzy astronomicznej szkole krakowskiej, związanej z tamtejszym uniwersytetem. Wykładał tam m.in. Wojciech z Brudzewa, autor komentarza do "Nowych teoryk planet" Peurbacha. Kończąc swe wykształcenie we Włoszech, na początku XVI w. Kopernik sformułował założenia nowego systemu świata - Słońca okrążanego przez planety – w niewielkim traktacie, noszącym tytuł "Commentariolus". Jego największym osiągnięciem było opracowanie heliocentrycznego modelu Układu Słonecznego, według którego Słońce znajduje się w centrum, Ziemia jest planetą i podobnie jak pozostałe planety obiega Słońce po orbicie kołowej.



**Rys. 4.** Rysunek orbit planet Układu Słonecznego z dzieła Kopernika "De Revolutionibus Orbium Coelestium". (Źródło: The Galileo Project na Rice University) .

Jego dzieło wydrukowane zostało w 1543 roku w Norymberdze, w ilości około 1000 egzemplarzy, pod tytułem: "De revolutionibus orbium coelestium" (O obrotach sfer niebieskich). Mimo zadedykowania dzieła ówczesnemu papieżowi Pawłowi III, nie zostało ono przychylnie przyjęte przez Kościół, a nawet umieszczono je w roku 1616 w indeksie ksiąg zakazanych. Do swoich obserwacji Mikołaj Kopernik stosował bardzo proste instrumenty, często własnej konstrukcji. Przy obserwacji planet wykorzystał kwadrant słoneczny (do obliczania szerokości geograficznej miejsca obserwacji), sferę armilarną (do wyznaczania kątów współrzędnych planety), triquetrum (do obserwacji Księżyca). Obliczenia wykonywał w systemie sześćdziesiątkowym, ponieważ w Europie ułamki dziesiętne nie były

jeszcze znane. Rachunki przeprowadzone przez Kopernika niewiele różnią się od obecnych, a jego teoria wpłynęła na sposób patrzenia na miejsce Ziemi i człowieka we Wszechświecie i stała się podstawą rozwoju nauk ścisłych. System kopernikański stał się przedmiotem słynnego procesu, podczas którego zmuszono Galileusza do wyznania, że Ziemia jest nieruchoma. Dzieło Kopernika skreślono z indeksu ksiąg zakazanych dopiero w 1835 roku. W drugiej połowie XVI w. inny astronom, Duńczyk Tycho Brahe sprawił, że o dalszych losach modeli astronomicznych zaczęły decydować coraz dokładniejsze obserwacje. Tycho w 1576 roku rozpoczął budowę dużego obserwatorium na wyspie Hven, gdzie do 1597 r. z wielką dokładnością rejestrował położenia planet i gwiazd. Obserwując w 1577 r. komety, odkrył, że porusza się ona w obszarze zastrzeżonym przez model Ptolemeusza dla planet, a zatem wątpliwe stało się istnienie sfer, unoszących planety. Ostatnie lata życia Brahe spędził w Pradze, na dworze cesarza Rudolfa II. W opracowywaniu danych obserwacyjnych pomagał mu od 1600 r. Johannes Kepler, zdolny matematyk niemiecki, zwolennik teorii Kopernika. Dokładne obserwacje położen planet, zwłaszcza Marsa, wykonane przez Brahego, pozwoliły Keplerowi odkryć naturę planetarnych orbit – ich eliptyczność. Przewrót kopernikański umożliwił prowadzenie dalszych prac z zakresu astronomii. W XVII wieku Kepler określił trzy prawa opisujące ruch planet wokół Słońca, potwierdzając tym samym teorię heliocentryczną. Bardzo ważnym wydarzeniem z punktu widzenia dalszego rozwoju astronomii było skonstruowanie lunety, dzięki której możliwa stała się znacznie bardziej dokładna obserwacja nieba. Jednym z pierwszych, którzy wykorzystywali ten przyrząd był Galileusz (Fot. 3).



**Fot. 3.** Luneta Galileusza.

Obserwując za jego pomocą planetę Jowisz udało mu się ustalić, że wokół tejże planety nieustannie krążą cztery inne mniejsze obiekty. Dziś wiadomo, że obiektami tymi są cztery księżyce Jowisza. Stanowiło to zaprzeczenie tezy geocentrycznej, że wszystkie obiekty niebieskie znajdujące się we Wszechświecie nieustannie okrążają Ziemię. Stwierdzenie Galileusza stało się zarzewiem konfliktu pomiędzy konserwatywnymi środowiskami kościelnymi a ówczesnymi środowiskami naukowymi. Kościół niezmiennie przyjmował ustalenia starożytnych Greków o wyjątkowej uprzywilejowanej roli Ziemi, która jako wybrana przez Boga, pozostaje w centrum Wszechświata. Odkrycia Kopernika, a później Galileusza zaburzały ustalony porządek rzeczy, co nie było na rękę hierarchii kościelnej. By nie dopuścić do rozprzestrzeniania się odkryć Galileusza uczonego został wezwany do Rzymu i zmuszony, pod groźbą śmierci, do odwołania swych wcześniejszych stwierdzeń. Uczynił to, a oficjalne przyznanie się Kościoła do winy miało miejsce dopiero w roku 1992.

## **2.6. Współczesna astronomia.**

W końcu XIX wieku odkryto, że podczas rozpraszania światła słonecznego można zaobserwować szereg linii spektralnych (ciemnych lub jasnych linii w jednolitym, ciągłym widmie). Eksperymenty z gorącymi gazami pokazały, że te same linie można zaobserwować w widmach gazów. Zostało udowodnione, że chemiczne pierwiastki, które zostały znalezione na Słońcu (głównie wodór i hel), znajdują się także na Ziemi. W XX wieku spektrometria (nauka zajmująca się m. in. Wspomnianymi widmami) zanotowała spore postępy, głównie z powodu pojawienia się fizyki kwantowej, która była niezbędna do poprawnej interpretacji obserwacji. W poprzednich stuleciach wybitni astronomowie byli wyłącznie mężczyznami. Na przełomie XIX i XX wieku kobiety zaczęły odnotowywać pierwsze sukcesy i brać udział w ważnych odkryciach. W okresie przed wprowadzeniem maszyn liczących, kobiety w obserwatorium Marynarki Wojennej USA (USNO), na uniwersytecie Harvarda i innych instytucjach zajmujących się badaniami astronomicznymi często pracowały, jako „ludzkie komputery”, wykonując żmudne obliczenia, podczas gdy naukowcy prowadzili badania wymagające większej wiedzy specjalistycznej. Szereg odkryć tego okresu było początkowo zauważanych przez kobiece „komputery”, które zwracały na nie uwagę swoim przełożonym. Na przykład Henrietta Swan Leavitt odkryła zależność zmieniającej się okresowo jasności gwiazd zmiennych cefeid, Annie Jump Cannon uporządkowała gwiazdny typ widmowy według temperatury gwiazd, zaś Mariam Mitchell jako pierwsza odkryła kometę przy pomocy

teleskopu. Niektóre z tych kobiet nie zyskały uznania za życia z powodu niskiego statusu ich profesji. I pomimo tego, że o ich odkryciach nauczamy w wielu miejscach na świecie, wciąż niewielu studentów astronomii może je przypisać właściwym autorom. W XX w. rozwój astronomii nabrał nieoczekiwanego tempa, koncentrując się na dwóch tematach: powstawaniu i ewolucji gwiazd oraz systemów gwiazdnych z jednej strony, a galaktyk i gromad galaktyk z drugiej. Kluczem do zrozumienia ewolucji gwiazd stał się wykres Hertzsprunga – Russella, zaprezentowany po raz pierwszy w roku 1913. Wraz z nowymi odkryciami, dającymi wyobrażenie o rzeczywistej wielkości i budowie Wszechświata, nastąpił decydujący zwrot w badaniach mgławic spiralnych i galaktyk. W roku 1924, amerykański astronom Edwin Powell Hubble zdołał rozdzielić obszary brzegowe Mgławicy Andromedy na pojedyncze gwiazdy za pomocą największego teleskopu zwierciadlanego Obserwatorium Mount Wilson. Dzięki temu potwierdzono optyczne podobieństwo Drogi Mlecznej i Mgławicy Andromedy. W tym czasie odkryto i skatalogowano wiele nowych galaktyk leżących daleko we Wszechświecie. W roku 1930, wykorzystując prawo Dopplera do pomiaru prędkości galaktyk, udało się Hubble’owi wyznaczyć odległość do galaktyk co wywołało sensację i wiele dyskusji. Okazało się bowiem, że prędkości radialne odległych galaktyk są dodatnie, czyli że galaktyki te oddalają się od nas, i to z tym większą prędkością, im dalej znajduje się galaktyka. Zjawisko to otrzymało nazwę ekspansji (rozszerzania się) Wszechświata, podczas której materia i galaktyki rozlatują się jak odłamki eksplodującego granatu. Taki pulsujący, rozszerzający się i kurczący na przemian Wszechświat nie jest bowiem obcy współczesnej myśli naukowej. Wielkie znaczenie dla współczesnej kosmologii miała ogólna teoria względności opublikowana w 1916 roku przez Alberta Einsteina, która postulowała istnienie zakrzywionej przestrzeni, która wprawdzie jest bez granic, ale nie jest nieskończona. Rok 1965 przyniósł odkrycie kosmicznego promieniowania tła. Było to dziełem dwóch Amerykanów: Roberta Woodrowa Wilsona i Arno Penziasa, a odkrycie to zostało dokonane za pomocą radioteleskopu w Holmden. Zgodnie z poglądami większości naukowców kosmiczne promieniowanie tła jest promieniowaniem, które powstało w bardzo wczesnej fazie ekspansji Wszechświata i stanowi dowód słuszności teorii Wielkiego Wybuchu. Zagadką dla współczesnych astronomów są tak zwane kwazary odkryte w roku 1963. Burzliwy rozwój astronomii w bieżącym stuleciu ma przede wszystkim trzy źródła. Po pierwsze, astronomowie mieli do dyspozycji skuteczne instrumenty badawcze. Do nich należy od niedawna największy na świecie, 5-metrowy teleskop na Mount Palomar w Kalifornii, który ostatnio „wyprzedził” sześciometrowy teleskop umieszczony w Specjalnym Obserwatorium Astrofizycznym w Zelenczuku. Drugim krokiem był początek

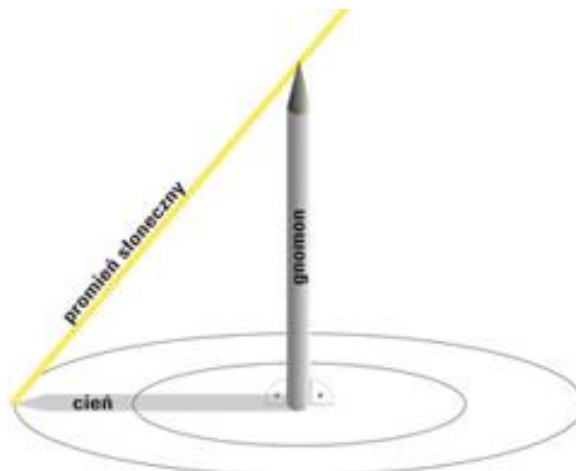
radioastronomii, zupełnie nowej dziedziny badań, która powstała z dala od tradycyjnej astronomii i otworzyła nowe okno do badań promieniowania pochodzącego ze Wszechświata. Systematyczne obserwacje radioastronomiczne rozpoczęto jednak dopiero po II wojnie światowej. Dziś nie ma dziedziny badań astrofizycznych, na którą radioastronomia nie miała wpływu. Informacji z Kosmosu dostarcza więc nie tylko światło, ale także promieniowanie radiowe. Bardzo owocny okazał się oczywiście rok 1957, w którym wystrzelono „Sputnika”. Fakt ten stanowił przełomowy moment w rozwoju lotów kosmicznych. Astronomia zyskała bowiem bardzo wiele dzięki obserwacjom prowadzonym przez sztuczne satelity Ziemi i sondy badawcze. W bieżącym stuleciu dowiedzieliśmy się o Kosmosie więcej niż w ciągu wszystkich poprzednich stuleci. Sama astronomia optyczna zyskała także bardzo wiele dzięki technice astronautycznej. Obrazy otrzymywane obecnie mają wyjątkową rozdzielczość i praktycznie każdy miesiąc przynosi nowe odkrycia dokonane na podstawie obserwacji teleskopem Hubble’a.

### 3. Narzędzia i metody astronomii.

Wraz z dokonaniem pierwszych spostrzeżeń astronomicznych i odkryciem ich praktycznego znaczenia zaistniała potrzeba wynalezienia specjalnych przyrządów pomiarowych. Te najstarsze instrumenty uchodziłyby dzisiaj za grupę przyrządów astrometrycznych, czyli takich, przy pomocy których wyznacza się kierunki, położenie geograficzne, czas astronomiczny, nachylenie ekliptyki do równika, położenie gwiazd, średnice Słońca i Księżyca.

#### 3.1. Gnomon.

Najprostszym, a zarazem najstarszym przyrządem astronomicznym był prosty kij, wbity pionowo w ziemię, zwany gnomonem. Oficjalna, znana historia wykorzystania gnomonu sięga starożytnej Grecji. Z pism Herodota dowiadujemy się między innymi, że Grecy wiedzę o wykorzystaniu gnomonu przejęli od Babilończyków. Trudno jednak zakładać, że przyrząd tak prosty i tak potrzebny narodził się tylko w jednym miejscu. Bardziej prawdopodobne wydaje się, że odkrywany był wielokrotnie w różnych krajach i w różnych czasach. Cała idea zastosowania gnomonu sprowadza się do faktu, że rzuca on cień. Zarówno długość, jak i kierunek tego cienia się zmieniają. W słoneczny dzień gnomon rzuca cień, który zmienia swoją długość w zależności od położenia Słońca na niebie; w momencie południa Słońce osiąga najwyższy punkt na swojej pozornej drodze (góruje), a cień jest najkrótszy i skierowany na północ (na półkuli północnej); obserwację cienia ułatwiają współśrodkowe okręgi narysowane wokół gnomonu (Rys. 5).



Rys. 5. Gnomon.

Gnomonem może być każdy obiekt znajdujący się na Ziemi, także człowiek (Fot. 4.), który rzuca cień w momencie górowania Słońca.



**Fot. 4.**

Aby uzyskać informację, ile czasu minęło od wschodu do zachodu, należy odpowiednio oznaczyć powierzchnię tarczy, na którą pada cień. Tak powstał podział na godziny i mniejsze jednostki, co wymaga znacznej wiedzy matematycznej. W taki sposób powstaje zegar słoneczny, który udoskonalili Grecy ustawiając pręt równoległe do osi ziemskiej. Zegary słoneczne przetrwały dziesiątki stuleci, dziś są mile widziane jako dekoracja parków i eleganckich budowli.



**Fot. 5.** Płocki zegar słoneczny horyzontalny na Starym Rynku z roku 1793.





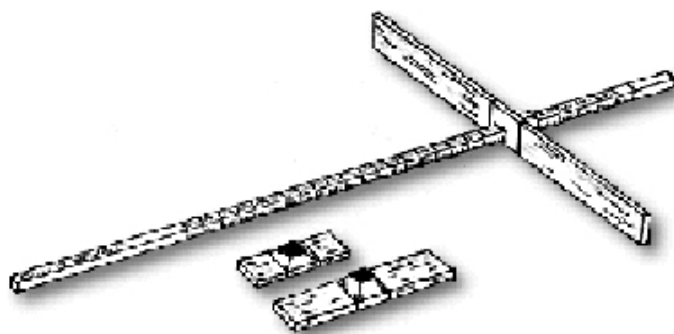
**Fot. 6.** Place de la Concorde – jeden z największych gnomonów na świecie.

Jakie to niesie konsekwencje i co oznacza, nasi przodkowie odkryli już dawno temu. Pomimo że gnomon to przyrząd najprostszy z możliwych, można dzięki niemu zaobserwować bardzo wiele interesujących zjawisk i w praktyce poznać i zrozumieć to, o czym bardzo często uczymy się tylko teoretycznie. Mówiąc prościej, gnomon pozwoli nauczyć się wielu rzeczy o otaczającym świecie, w szczególności o wzajemnym ruchu Ziemi i Słońca. Biorąc pod uwagę szerokie możliwości zastosowania, jak też olbrzymią prostotę, wydaje się, że jest to idealny przyrząd do nauki astronomii i geografii w szkole, klubie astronomicznym czy na kursie. Bez komputerów, teleskopów, drogich narzędzi można w prosty i przyjemny sposób bawić się astronomią.

### **3.2. Dioptria.**

To drugi z najstarszych instrumentów nawigacyjnych używanych na dawnych żaglowcach. Składa się z długiej listwy, na której można było założyć krótsze, poprzeczne listewki. Listewki te miały pośrodku otwory pasujące do prostokątnego przekroju długiej listwy i mogły się po niej przesuwać. Takich listewek było kilka, każda odpowiadająca pewnemu zakresowi mierzonych kątów. Podczas pomiaru na długiej listwie zakładano tylko jedną z krótszych, przesuujących się listewek i trzymając koniec długiej listwy przy oku, tak ustawiano położenie krótszej listewki, aby jej końce pokrywały się z punktami, między którymi dokonywano pomiaru. Na tym końcu laski, który dokonujący pomiaru trzymał przy oku, znajdował się specjalny przeziernik. Patrząc przez jego szczelinę, można było

precyzyjnie zgrać z końcami poprzecznych listewek. Następnie należało odczytać kąt ze skali na długiej listwie w miejscu, gdzie znajdowała się krawędź krótszej, poprzecznej listewki. Instrument ten wydaje się być wyjątkowo prosty, a wręcz prymitywny, co można oczywiście uznać także za jego zaletę. Jego dość duże wymiary czyniły go przyrządem wystarczająco dokładnym w czasach, gdy był stosowany. Za pomocą współczesnej, precyzyjnie wykonanej repliki przyrządu udało się osiągnąć pomiary z błędem w granicach 5' kątowych. Oczywiście wprawa i umiejętność posługiwania się każdym nawigacyjnym instrumentem ma decydujący wpływ na niepewności pomiarowe. Podobnie jest także przy wykorzystywaniu laski Jakuba (Rys. 6).



Rys. 6. Laska Jakuba, John Seller *Practical Navigation* (1672).

### 3.3. Astrolabium.

Najbardziej skomplikowanym starożytnym przyrządem, opierającym swoją konstrukcję na kręgach, była tzw. armilla, czyli sfera armilarna. Zwano ją także astrolabium. Przy odpowiednio ustawionych, zaopatrzonych w podziałki kątowe koncentrycznych kołach można było tym przyrządem bezpośrednio odczytać współrzędne ekliptyczne lub równikowe ciał niebieskich. Jedną z pochodnych sfery armilarnej było udoskonalone w średniowieczu przez Arabów astrolabium płaskie – planisferyczne (Fot. 7). Był to pierwszy przyrząd wyrabiany na większą skalę z metalu. Zaopatrzony w przeziernicę i podziałki oraz wykresy łuków pozwalał wyznaczyć wśród gwiazd stałych pozycje planet na niebie i obliczać kąty ich wzajemnych położenia. Przyrząd ten bardzo spopularyzował obserwacje nieba i znacznie przyczynił się nie tylko do rozwoju astronomii praktycznej, ale i do rozwoju właściwej naukowej astronomii.



**Fot. 7.** Astrolabium Marcina Bylicy w Muzeum Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie.

### **3.4. Torquetum.**

Jednym z najnowszych w czasach Kopernika i podstawowym w końcu średniowiecza przyrządem służącym do wyznaczania współrzędnych ekliptycznych było torquetum. Do jego konstrukcji znacząco przyczynił się w XIII w. paryski profesor, nazywający się Frankon z Polski. Na torquetum (łac. Torqueo – obracać) mierzono pozycję ciała niebieskiego, a poprzez obrót wzdłuż poszczególnych osi można było odczytać zaobserwowaną pozycję ciała niebieskiego w trzech różnych układach współrzędnych sferycznych.



**Fot. 8.** Kopia torquetum - Muzeum Uniwersytetu Jagiellońskiego.

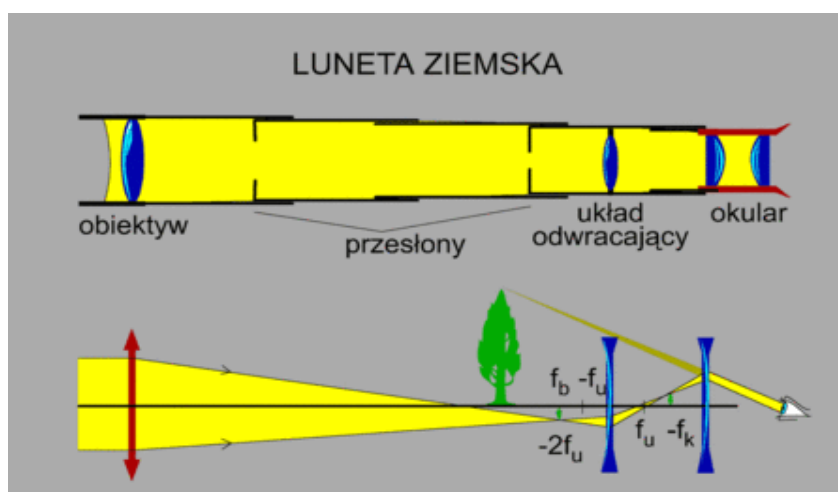
### 3.5. Tablice astronomiczne.

Ostatecznym rezultatem prowadzonych przy pomocy opisanych wyżej przyrządów, obserwacji oraz rozważań teoretycznych były zbudowane na ich podstawie tablice astronomiczne. Służyły one do ustalania wzajemnego położenia ciał niebieskich dla dowolnego momentu i były podstawowym narzędziem średniowiecznego astronoma. Najbardziej rozpowszechnione w Europie były tablice alfonsyńskie, opracowane w XIII w. W XV w. tablice te zestarzały się już w takim stopniu, że należało je poprawić. Poprawianie tablic było głównym zadaniem ówczesnej astronomii obserwacyjnej, a w pracy zasadniczą rolę odgrywało torquetum.

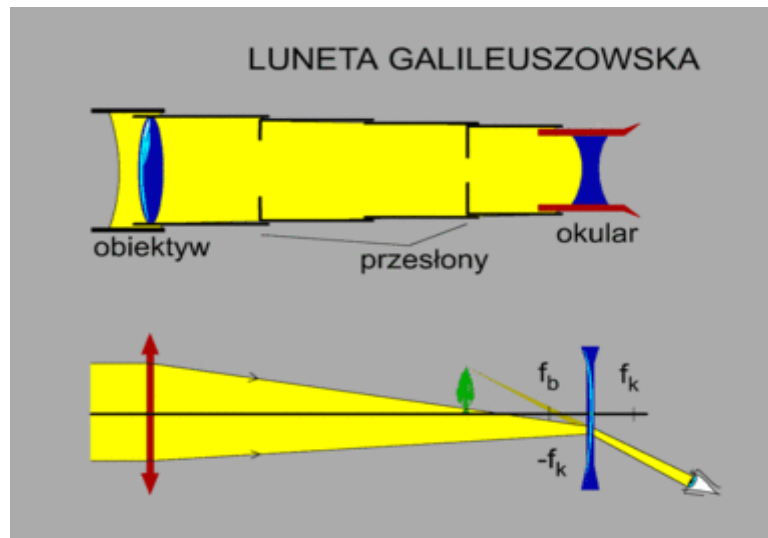
### 3.6. Luneta.

Luneta to przyrząd optyczny w formie rury zakończonej z jednej strony obiektywem refrakcyjnym (tj. soczewkowym), a z drugiej strony okulem. Pierwszą lunetę skonstruował optyk holenderski Z. Jansen w 1604. W roku 1610 Galileusz skonstruował pierwszą lunetę, którą wykorzystał do obserwacji astronomicznych. Składała się ona z dwóch soczewek, z których jedna – dwuwypukła – była obiektywem, a druga – dwuwklęsła – okulem. Pomimo swojej prostoty i wielu wad, lunety zbudowane przez Galileusza pozwoliły na dojrzenie czterech największych księżyców Jowisza, plam na Słońcu czy zarysu pierścieni Saturna. I tak lunety dzieli się na:

- lunety ziemskie, dające obraz prosty, posiadające optyczny układ odwracający i okular skupiający albo posiadające tylko okular rozpraszający, tj. lunety galileuszowskie lub inaczej holenderskie)

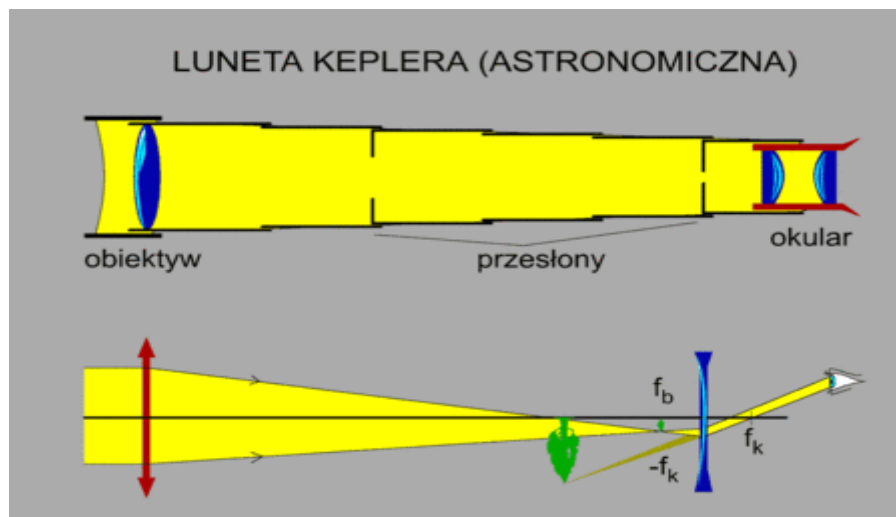


Rys. 7. Luneta ziemska.



Rys. 8. Luneta galileuszowska.

- lunety astronomiczne, inaczej keplerowskie (od nazwiska J. Keplera), dające obraz odwrócony.



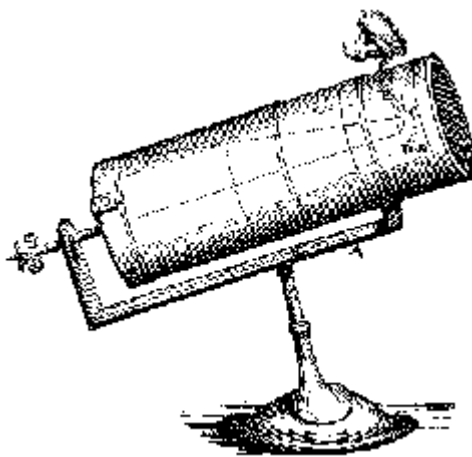
Rys. 9. Luneta Keplera (astronomiczna).

Oznaczenia:  $f_b$  - ogniskowa obiektywu,  $f_k$  - ogniskowa okularu,  $f_u$  - ogniskowa układu odwracającego,  $f_b + f_k + 4f_u$  - długość lunety ziemskiej Autor rysunków: Mietelski Jerzy Wojciech.

Współczesne lunety stosuje się zarówno do amatorskich, jak i naukowych obserwacji. Przez powiększenie lunety rozumie się stosunek kąta, pod jakim obiekt jest widziany przez lunetę do kąta, pod jakim jest widziany bez użycia tego przyrządu optycznego.

### 3.7. Teleskop.

Pierwsze teleskopy zwierciadlane, czyli reflektory, powstały w XVII wieku, tak jak i lunety soczewkowe. Newton i Cassegrain stworzyli schematy budowy teleskopów zwierciadlanych, niestety żaden z nich nie zajmował się realizacją swych projektów. W drugiej połowie XIX wieku zaprzestano budować teleskopy ze zwierciadłami metalowymi, wynaleziono bowiem sposób osadzania drogą chemiczną na powierzchni szkła cienkiej warstwy srebra, odbijającej światło znacznie lepiej niż zwierciadło metalowe. Od tego czasu postęp w wykonywaniu szklanych teleskopów zwierciadlanych stał się bardzo szybki. Należy tu zaznaczyć, że zwierciadła teleskopów powleka się warstwą odbijającą na wierzchu szkła, a nie na jego stronie spodniej, jak to czynimy w lustrach, z którymi mamy do czynienia w życiu codziennym. Robi się tak, aby uzyskać odbicie padającego światła bez jego przenikania w głąb szkła.



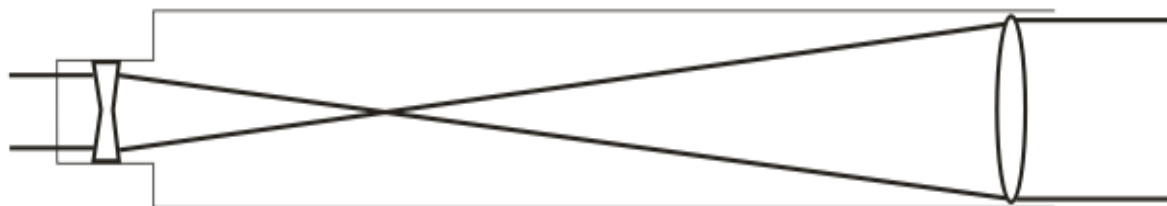
Rys. 10. Teleskop Newtona

Teleskopy optyczne to przyrządy złożone z dwóch elementów optycznych połączonych tubusem:

- obiektywu i okularu (teleskop soczewkowy, popularnie zwany też lunetą),
- okularu i zwierciadła (teleskop zwierciadlany).

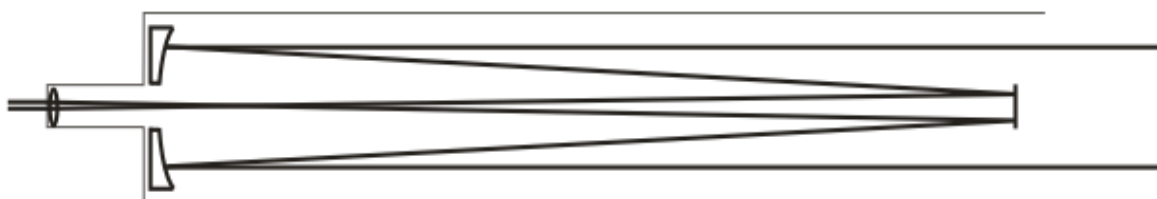
Zarówno teleskop soczewkowy, jak i teleskop zwierciadlany dają obraz rzeczywisty powiększony, odwrócony lub prosty. Umożliwia on otrzymywanie wiernego, możliwie najjaśniejszego obrazu badanego wycinka nieba lub obiektu astronomicznego. Zastosowanie w teleskopie zwierciadeł lub soczewek o dużej średnicy umożliwia wychwycenie rozproszonego światła pochodzącego od odległych obiektów, dzięki czemu możliwa jest

obserwacja lub rejestracja fotograficzna nawet bardzo słabo widocznych obiektów. Użycie teleskopu umożliwia również znaczne zwiększenie zdolności rozdzielczej, dzięki czemu stają się rozróżnialne obiekty (np. składniki gwiazdy podwójnej), które nieuzbrojonym okiem są widoczne jako pojedynczy obiekt. Tradycyjny dwu-lustrzany teleskop ze zwierciadłem parabolicznym i płaskim lustrem wtórnym umieszczonym pod kątem, znany jest jako reflektor Newtona (Rys. 11).



**Rys. 11.** Budowa i zasada działania teleskopu Newtona.

Teleskopy typu Cassegraina (Rys. 12) mają paraboliczne lustro główne i hiperboliczne lustro wtórne, odbijające światło z powrotem w dół przez otwór w zwierciadle głównym.



**Rys. 12.** Budowa i zasada działania teleskopu Cassegraina.

Trudności natury technicznej ograniczają rozmiary refraktorów do jednego metra. Można ich używać tylko do skupiania fotonów, które nie ulegają absorpcji na szkle soczewki. Największy obecnie refraktor (Fot. 9) znajduje się w obserwatorium Yerkes w Williams Bay w stanie Wisconsin w USA. Ma średnicę obiektywu 102 cm i ogniskową 1940 cm.





**Fot. 9.** Refraktor w obserwatorium Yerkes w Williams Bay.

Ze względu na zastosowany rodzaj konstrukcji, refraktory dzielimy na:

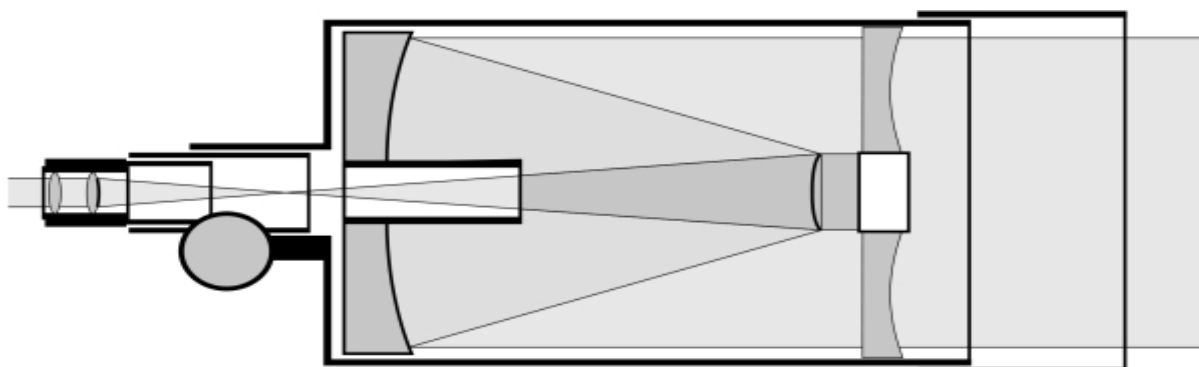
- achromat – najpopularniejszy, składa się najczęściej z 2 elementów. Koryguje aberrację chromatyczną dla dwóch fragmentów spektrum światła widzialnego, (czerwonego i niebieskiego),
- apochromat – bardzo zaawansowana optycznie konstrukcja. Obiektyw złożony jest ze znacznie większej liczby soczewek. Produkuje się je ze szkła gatunkowego (niskodispersyjnego ED lub fluorytowego). Apochromat koryguje aberrację chromatyczną dla trzech fragmentów spektrum światła widzialnego i nie tylko (czerwonej, niebieskiej i zielonej);
- superchromat – koryguje aberrację chromatyczną dla czterech, a nawet większej ilości fragmentów spektrum światła. Superchromaty są konstrukcjami niezwykle drogimi;
- semiapochromat – nazwa stosowana przez producentów dla oznaczenia, że dany refraktor koryguje aberrację chromatyczną niewiele gorzej niż apochromat, ale znacznie lepiej niż achromat. Semiapochromatami są zwykle obiektywy teleskopowe, składające się z dwóch soczewek ED.



Do zalet teleskopów refrakcyjnych powinno zaliczyć się bardzo wysoką jakość obrazu, znacznie wyższą niż w reflektorach. Refraktory posiadają również zamknięty tubus, co chroni wnętrze przed wpływami otoczenia.

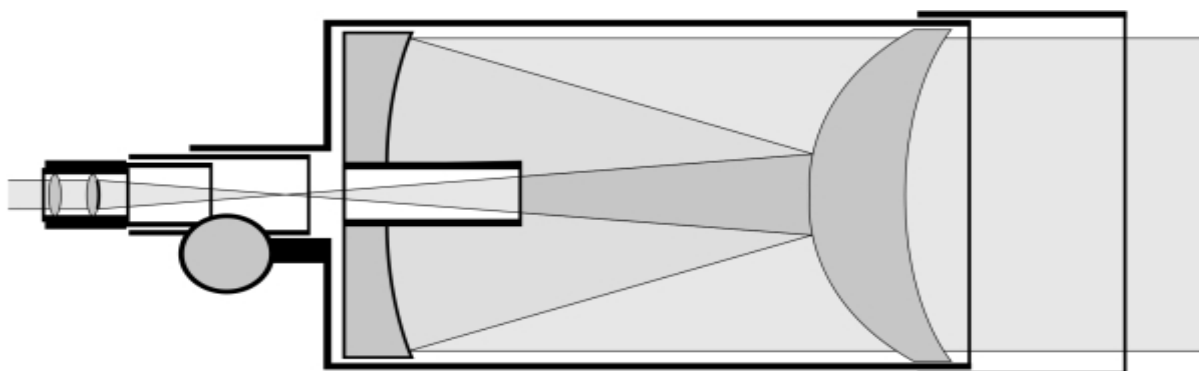
Teleskopy zwierciadlano – soczewkowe to takie, w których zwykle przed zwierciadłem głównym umieszczona jest dodatkowo soczewka – tzw. korektor.

- konstrukcja Schmidta – Cassegraina – wyposażona w korektor w postaci asferycznej płyty Schmidta. Posiada cechy niewielkiej komy i krzywiznę pola.



Rys. 13. Teleskop Schmidta – Cassegraina.

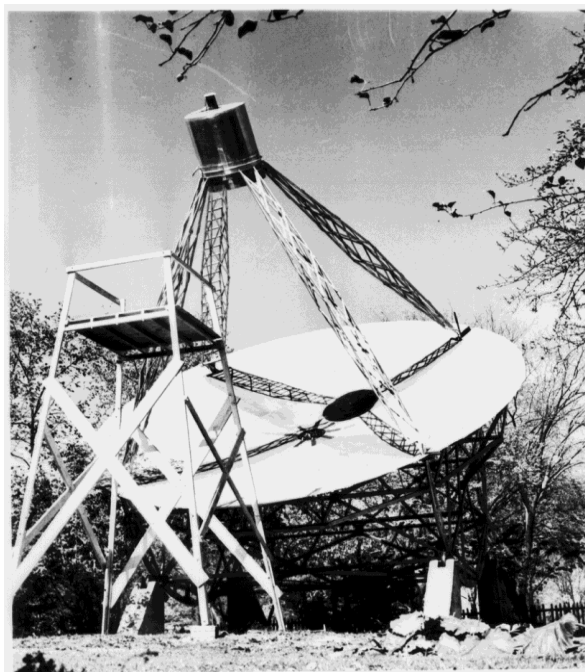
- konstrukcja Maksutova – Cassegraina posiada korektor w postaci ujemnej soczewki meniskowej, mają też znacznie zredukowaną komę i krzywiznę pola. Polecany jest do fotografii astronomicznej, szczególnie do powiększeń ze względu na niewielki kąt widzenia, lekkość oraz mobilność konstrukcji.



Rys. 14. Teleskop Maksutova – Cassegraina.

### 3.8. Radioteleskopy.

Radioteleskop – teleskop do obserwacji odległych obiektów astronomicznych z wykorzystaniem fal radiowych. W odróżnieniu od teleskopu optycznego, który pozwala na badanie wyłącznie światła docierającego do Ziemi, radioteleskop umożliwia odbiór szerszego zakresu sygnałów. Wiele obiektów astronomicznych przesłania pył, który jednak nie pochłania fal radiowych. Jednocześnie radioteleskopy mogą być łączone w większe układy, dzięki czemu ich czułość i rozdzielczość kątowna wzrasta. Konstrukcja radioteleskopu może składać się z parabolicznej czaszy, czyli reflektora skupiającego fale radiowe w ognisku, w którym umieszczony jest odbiornik radiowy. Ze względu na konieczną czułość odbiorniki używane w radioastronomii mają postać izolowanego zbiornika wypełnionego aparaturą pomiarową chłodzoną np. ciekłym helem. Dzięki takiej konstrukcji udaje się zredukować szum we wzmacniaczach sygnałów. Odebrane dane są przesyłane światłowodami do centrum obliczeniowego. Tam naukowcy poddają je analizie opartej np. na transformacji Fouriera, dzięki czemu mogą badać wysyłające je obiekty. Najśłynniejszym radioteleskopem jest radioteleskop w Arecibo znajdujący się w Portoryko.



Fot. 10. Grote Weber's original Radio Antenna – 1937  
Wheaton, Wikipedia.org.com.



Fot. 11. Radioteleskop w Arecibo, Wikipedia.org.com.

Innym znanym radioteleskopem jest Very Large Array w USA, w stanie Nowy Meksyk niedaleko miasta Socorro.



**Fot. 12, 13.** Very Large Array w USA, NASA.

Największy radioteleskop w Europie o średnicy 100 m zbudowano w Effelsbergu w Niemczech. W Polsce największy radioteleskop znajduje się w Piwnicach, niedaleko Torunia. Ma on średnicę 32 metrów i do badań wykorzystuje go Katedra Radioastronomii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, wchodzi on też w skład sieci VLBI.



**Fot. 14.** Piwnice koło Torunia, źródło: [www.torun.webd.pl](http://www.torun.webd.pl).



**Fot. 15.** Największy w Polsce radioteleskop, źródło: [pl.wikipedia.org](http://pl.wikipedia.org).

Instrument ten prowadzi badania w ramach światowej sieci obserwatoriów i pozwala na badania m.in. takich obiektów jak masery, pulsary i kwazary. Obok dużego radioteleskopu znajduje się też mniejszy – 15 metrowy (Fot. 14), używany często do ćwiczeń dla studentów. Radioteleskopy są też jedynym narzędziem pozwalającym na odbieranie wiadomości z kosmosu. Od wielu lat radioteleskopy odbierają sygnały od sond kosmicznych badających Układ Słoneczny. Niektórzy astronomowie usiłują wykorzystać fale radiowe do komunikacji z istotami inteligentnymi, mogącymi żyć na innych planetach. Najbardziej znany jest tutaj program SETI, w ramach którego bada się fale radiowe docierające do Ziemi z najbliższych gwiazd. Niestety jak dotąd, takiego kontaktu nie nawiązano.

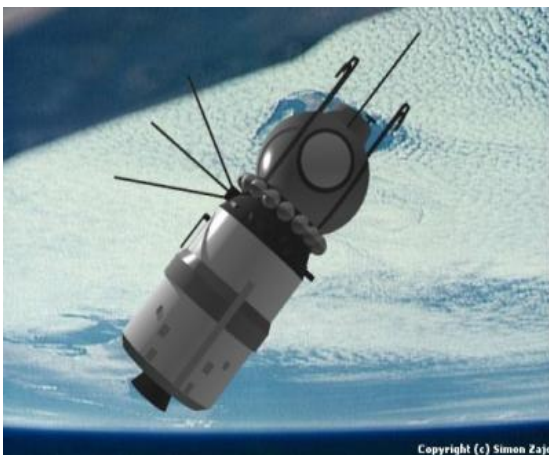


## 4. Badania przestrzeni kosmicznej.

Od początku istnienia nauki zwanej astronomią człowiek marzeniami sięgał gwiazd i odległych obiektów w przestrzeni kosmicznej. Jego odwiecznym celem była możliwość bliższego poznania ciał niebieskich. Ogromnym krokiem ku temu wydawało się wynalezienie teleskopu, dzięki któremu astronomia wzbogaciła się w wiele interesujących danych. Potem jednak możliwość wysyłania w przestrzeń kosmiczną obiektów wykonanych ludzką ręką otworzyła nową erę badań.

### 4.1. Księżyc.

Księżyc, jako najbliższe ciało niebieskie Ziemi stanowił pierwszy obiekt w Kosmosie, w kierunku którego skierowano sondy kosmiczne. Pierwszym ziemskim obiektem, który zbliżył się do ziemskiego satelity na odległość kilku tysięcy kilometrów była sonda Łuna 1. Została ona wystrzelona 2 stycznia 1959 roku z terenu ówczesnego Związku Radzieckiego. Satelicie temu udało się osiągnąć drugą prędkość kosmiczną i dlatego stał się on sztuczną planetoidą, poruszającą się wokół Słońca. Nieudane loty w tym kierunku kilka miesięcy wcześniej podjęli Amerykanie i ich sondy: Pioneer 1 i Pioneer 2. Wystrzelona w marcu 1959 roku sonda Pioneer 3 zbliżyła się na odległość kilkadziesiąt tysięcy kilometrów. We wrześniu 1959 roku sonda radziecka Łuna 2 jako pierwsza uderzyła w powierzchnię Księżyca. Kolejna z tej samej serii, Łuna 3 zbliżyła się do Księżyca na odległość około 6200 kilometrów. Dzięki tej właśnie misji ujrzeliśmy obraz niewidocznej z powierzchni naszej planety półkuli Księżyca.

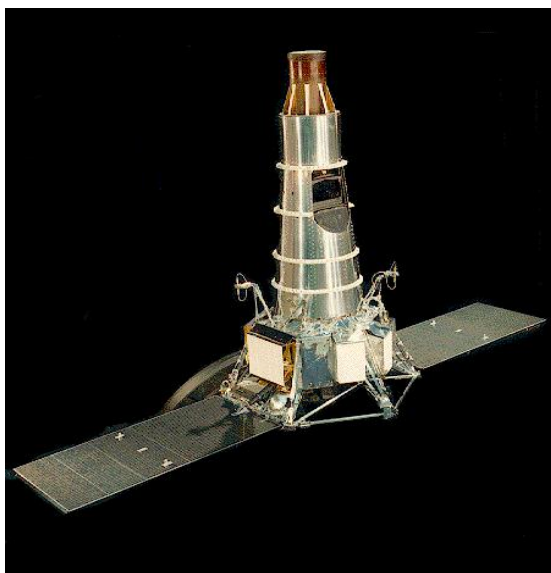


Fot. 16. Wostok 1, źródło: [www.szkolazklasa.pl](http://www.szkolazklasa.pl)



Fot. 17. Jurij Gagarin tuż przed startem statku Wostok 1, ASSOCIATED PRESS.

12 kwietnia 1961 roku na pokładzie radzieckiego statku kosmicznego Wostok 1 znalazł się człowiek, Jurij Gagarin. Czas lotu trwał 108 minut, w trakcie których dokonał on jednego okrążenia naszej planety. Kilkanaście dni później statek Merkury 3 z Amerykaninem Alanem Shepardem odbył lot po torze balistycznym w odległości 187 kilometrów od Ziemi, po czym lądował na Atlantyku. Czas tego lotu wynosił 15 minut. Program lotów kosmicznych Wostok objął sześć lotów okołoziemskich, w których wzięło udział sześciu kosmonautów. Amerykańskie statki Mercury to dwa loty balistyczne i cztery loty okołoziemskie, w których wzięło udział także sześciu kosmonautów. Oba programy miały za zadanie sprawdzić reakcję ludzkiego organizmu na warunki panujące w przestrzeni kosmicznej oraz możliwości techniczne sprzętu, którym w tamtych czasach człowiek dysponował. W tym samym czasie Stany Zjednoczone przygotowywały się do wysłania człowieka na Księżyc. Zaczęto od wysłania sondy Ranger, wyposażonej w kamery telewizyjne, która miała dostarczyć szczegółowe zdjęcia powierzchni Księżyca. Dane miały być przesyłane na Ziemię drogą radiową. Jednak okazało się, że zadanie tak dokładnie zaplanowane nie jest takie proste. Misja każdej z sond kończyła się wraz z uderzeniem o powierzchnię Księżyca. Dopiero sondy Ranger 7, 8 i 9 przekazały obrazy, na Ziemię dotarło wtedy w sumie ponad dziesięć tysięcy zdjęć.



**Fot. 18.** Ranger 7, NASA.

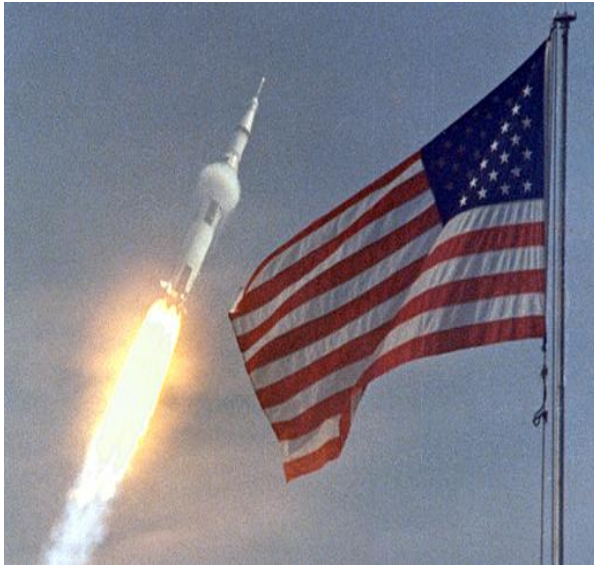


**Fot. 19.** Pierwsze zdjęcie Księżyca wykonane przez statek Ranger 7, NASA.

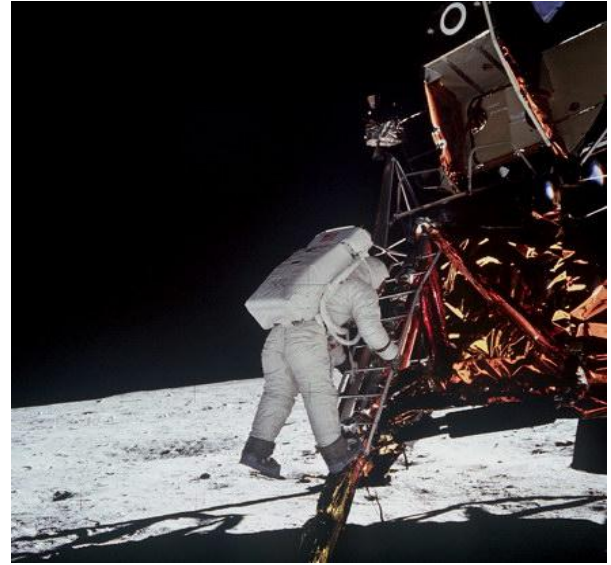
Próby lądowania sond na powierzchni Księżyca tak, aby nie uległy uszkodzeniu podjął Związek Radziecki wysyłając serię sond Łuna począwszy od numeru 5. Udało się to sondom Łuna 9 i Łuna 13. Łuna 10, 11, 12 stały się sztucznymi satelitami Księżyca.

Najwięcej danych dotyczących powierzchni najbliższego ciała na niebie nauka zawdzięcza pięciu sondom, które stały się sztucznymi satelitami Księżyca. Zostały one wysłane przez Stany Zjednoczone w ramach programu Lunar Orbiter. Dzięki obrazom dostarczonym na Ziemię Amerykanie podjęli próby wyboru miejsc pod przyszłe lądowisko statków z człowiekiem na pokładzie. Sondy te oprócz zdjęć dostarczyły także informacji dotyczących księżycowej grawitacji. Drugim programem podjętym równocześnie z programem Lunar Orbiter był Surveyor. Obiekty w ramach tego programu miały w łagodny sposób osiąść na powierzchni Księżyca, po czym dokonać serii badań dotyczących własności chemicznych i fizycznych powierzchni. Dane uzyskane w ramach programu Lunar Orbiter oraz Surveyor pozwoliły na przygotowanie programu Apollo. W roku 1966 odbyły się bezzałogowe loty statków Apollo 1 i Apollo 2. Podczas przygotowań do startu Apollo 3 doszło do tragicznego wypadku, podczas pożaru w kabinie statku zginęło dwóch astronautów. Ten wypadek opóźnił pierwszy załogowy lot do października 1968 roku, wtedy to statek Apollo 7 wraz z załogą okrążył Ziemię. Dwa miesiące później wraz z trzyosobową załogą wystartował statek Apollo 8, który znalazł się na orbicie okołoksiężycowej w odległości 100 kilometrów od jego powierzchni. Kolejne statki z tej serii miały za zadanie przeprowadzenie szeregu prób z użyciem lądownika księżycowego. Statek Apollo 9 przeprowadzał próby na orbicie okołozemskiej, a Apollo 10 na orbicie okołoksiężycowej. Właśnie w czasie tej próby astronauta zbliżyli się do powierzchni Księżyca na odległość 15 kilometrów.

16 lipca 1969 roku wystartował Apollo 11 wraz z lądownikiem księżycowym o nazwie Eagle. Gdy statek zbliżył się do Księżyca na odpowiednią odległość, nastąpiło zmniejszenie prędkości i statek znalazł się na orbicie okołoksiężycowej. Po czym miało miejsce odłączenie lądownika Eagle. Na jego pokładzie znaleźli się: Edwin Aldrin i Neil Armstrong. Po udanym lądowaniu Armstrong, jako pierwszy wykonał kilka kroków po powierzchni, po nim również kapsułę opuścił Aldrin.



**Fot. 20.** Start Apollo 11, NASA.



**Fot. 21.** Aldrin schodzi na powierzchnię Księżyca, NASA



**Fot. 22.** Załoga Apollo 11.

Było to przełomowe wydarzenie, dające nadzieję na podbój innych ciał niebieskich w przestrzeni kosmicznej. Astronaucci na powierzchni księżycowej przebywali 21,5 godziny, po czym kapsuła lądowika uniosła się z powierzchni Księżyca i doszło do jej połączenia z macierzystym statkiem. Lądowanie odbyło się na Pacyfiku. Wyprawie tej zawdzięczamy około 22 kilogramy gruntu księżycowego oraz naświetloną cząstkami wiatru słonecznego folię aluminiową, co dawało możliwość określenie składu chemicznego tegoż wiatru. Pierwszy człowiek na powierzchni Srebrnego Globu pozostawił zwierciadło, które miało odbijać promienie laserowe wysyłane z Ziemi, a także sejsmometry, których zadaniem miało być rejestrowanie drgań księżycowego gruntu. Odbyło się jeszcze sześć lotów statków Apollo na Księżyc. Plan tych lotów za każdym razem był taki sam, aczkolwiek wydłużał się czas



przebywania tam człowieka. Załoga ostatniego statku spędziła na Księżycu aż 75 godzin. Przerwane badania wznowiono po dwudziestu latach wysyłając na orbitę okołoksiężycową satelitę Clementine. Misja tego obiektu trwała 71 dni, po których na Ziemi trafiły informacje dotyczących obszarów biegunowych na Księżycu oraz zrodziły się podejrzenia o złożach lodu wodnego w rejonie południowego bieguna Księżyca.

## **4.2. Planety.**

Księżyc nie był jedynym obiektem przestrzeni kosmicznej, w kierunku którego poleciały sondy kosmiczne. I tak pierwszą planetą przykuwającą uwagę stała się Wenus. W jej stronę wystrzelono sondę o nazwie Wenera, z którą jednak zanim dotarła do planety stracono kontakt radiowy. Kolejną sondą był wysłany przez Amerykanów obiekt Mariner 2 i on właśnie zbliżył się do planety na odległość 35 tysięcy kilometrów, co pozwoliło na wykonanie szeregu badań.

Następną planetą, którą się zainteresowano był Mars. W jego kierunku w roku 1964 wysłano sondy: Mariner 3 i Mariner 4. Ich głównym zadaniem było zrobienie fotografii powierzchni planety, co udało się tylko sondzie Mariner 4 w odległości około 10 tysięcy kilometrów od planety. Następne loty w kierunku Marsa należały do sond Mars wysłanych przez Związek Radziecki. Stany Zjednoczone także kontynuowały wysyłanie sond Mariner. Najwięcej jednak informacji o Wenus i Marsie pochodzi z przebiegu dwóch programów: Pioneer – Venus i Magellan w przypadku Wenus oraz projektowi Viking odnośnie Marsa. Sondy Pioneer dokonały szeregu badań atmosfery wenusjańskiej i pola magnetycznego tej planety. W przypadku sondy Magellan wysłanej w kierunku Wenus, w roku 1990 stała się ona sztucznym satelitą planety. Wyposażenie sondy w radary umożliwiło sporządzenie obrazów prawie całej powierzchni planety. Misja tej sondy trwała cztery lata ziemskie. Misja Viking obejmowała loty dwóch sond: Viking 1 i Viking 2, zakończyła się dużym sukcesem i dlatego też podjęto następne próby zdobycia Marsa.

W roku 1974 wystrzelono sondę kosmiczną w kierunku następnej planety - był to Merkury. Sonda Mariner 10 zbliżyła się do powierzchni planety na odległość 703 kilometrów i przeleciała w jej pobliżu jeszcze dwa razy. W trakcie ostatniego przelotu zbliżyła się do

Merkurego na odległość 327 kilometrów. Uwieńczeniem tego lotu była duża ilość dokładnych zdjęć.



**Fot. 23.** Mariner 10, NASA.



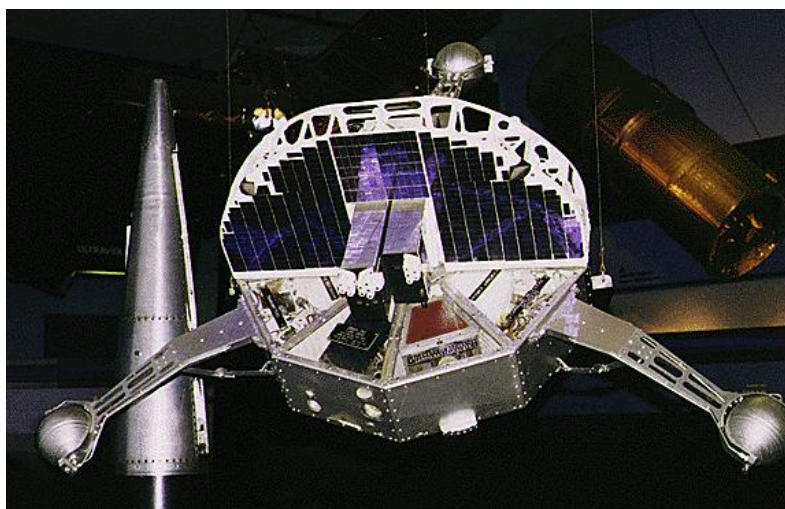
**Fot. 24.** Zdjęcie Merkurego z Mariner 10, NASA.

I tak powstały koncepcje poznawania innych planet. W roku 1972 wysłano pierwszą sondę w kierunku Jowisza – Pioneer 10. Oprócz tego, że sonda przeleciała w pobliżu planety w odległości 131 tysięcy kilometrów, to była pierwszym ziemskim obiektem, który przeszedł przez pas planetoid. Z tej serii wysłano jeszcze jedną sondę, Pioneer 11. W tym samym roku rozpoczęto program Voyager, którego celem było sondowanie Jowisza, Saturna, Urana i Neptuna. Następnie w roku 1989 rozpoczęła się misja Galileo, której celem było zbadanie Wenus i Jowisza. Sondzie Galileo udało się zbliżyć do planetoidy Gaspra.

#### **4.3. Słońce.**

Dzięki temu, że urządzenia przeznaczone do obserwacji przestrzeni kosmicznej można było umieścić poza powierzchnią Ziemi, stało się możliwe badanie Kosmosu w całym zakresie widma promieniowania elektromagnetycznego. Pierwszym obiektem takich badań pozaziemskich obserwatoriów było Słońce. W roku 1962 Stany Zjednoczone umieściły na orbicie okołoziemskiej sztuczny satelitę OSO 1, skrót pochodzi od angielskiej nazwy Orbiting Solar Observatory. Od tamtego momentu na orbitach znalazło się jeszcze sześć tego typu obiektów. Obserwatoria te wyposażone były między innymi w detektory promieniowania nadfioletowego, rentgenowskiego i promieniowania gamma. Satelity te,

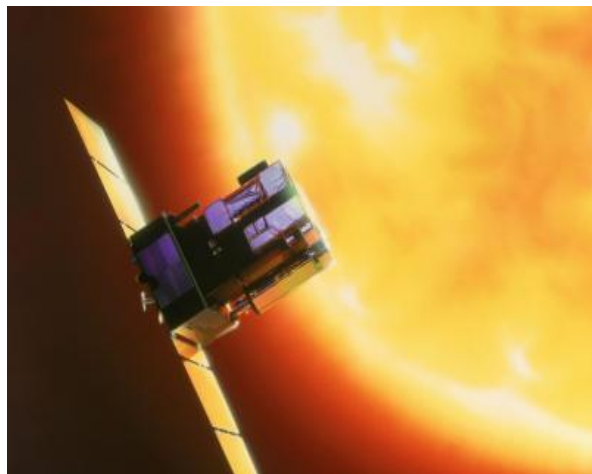
oprócz badania aktywnych obszarów Słońca, a także korony słonecznej, miały także dokonywać pomiarów strumienia neutronów.



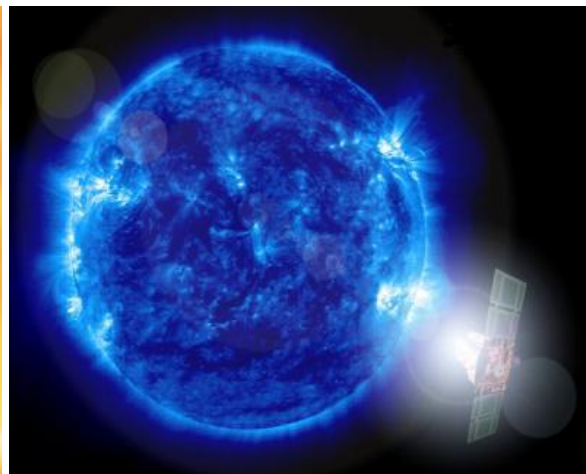
**Fot. 25.** Model satelity OSO 1 w amerykańskim Narodowym Muzeum Powietrza i Kosmosu.

Badaniem promieniowania słonecznego zajmowały się także załogi stacji kosmicznych Skylab, które po raz pierwszy dokonały dokładnej analizy struktury korony słonecznej. Przeprowadzono jeszcze szereg doświadczeń z udziałem sond kosmicznych oraz sztucznych satelitów, przy których swój wkład wniosła również Polska. Polskie badania w 1973 roku prowadzone były z pokładu satelity o nazwie Interkosmos 9 – Kopernik 500. Wówczas polscy uczeni zbadali między innymi widma dynamiczne promieniowania słonecznego z zakresu 0,6-6 MHz. Dużo informacji na temat zjawisk zachodzących na Słońcu oraz promieniowania słonecznego dostarczył obiekt SSM wystrzelony przez Stany Zjednoczone w roku 1980. Satelitę tę wyposażono w koronograf oraz fotometry i spektrometry, które umożliwiały rejestrację promieniowania słonecznego w szerokim zakresie długości fali. W czasie wieloletniej obecności na orbicie kołowej satelita zlokalizował w przestrzeni kosmicznej kilkanaście źródeł promieniowania gamma, zaobserwował 10 nieznanymi wcześniej komet oraz zarejestrował ponad 10 tysięcy wybuchów na powierzchni Słońca. W roku 1991 Japończycy na orbicie okołoziemskiej umieścili kolejny obiekt Solar A, przeznaczony do badań Słońca, wyposażony w wysokiej klasy teleskopy rentgenowskie oraz spektrometr. Dzięki najnowocześniejszym urządzeniom można było zarejestrować kilka nieznanymi procesów zachodzących w koronie słonecznej oraz lepiej poznać rozbłyski słoneczne, czyli emisję dużej ilości energii. Cztery lata później na orbicie okołosłonecznej została umieszczona sonda kosmiczna SOHO, czyli Solar and Heliospheric Observatory. Sonda ta

nieustannie dostarcza na Ziemię informacje dotyczące aktualnego stanu aktywności Słońca. Na jej pokładzie umieszczono układ teleskopów, spektrometry, koronografy i analizatory do oceny składu izotopowego wiatru słonecznego.



**Fot. 26.** Sonda SOHO, NASA.



**Fot. 27.** Zdjęcie wykonane przez SOHO, NASA.

#### **4.4. Promieniowanie w Kosmosie.**

Celem badań kosmicznych było jednak nie tylko Słońce. Zaczęły się poszukiwania w przestrzeni kosmicznej innych źródeł promieniowania nadfioletowego. W tych badaniach najbardziej zasłużył się satelita IUE, czyli International Ultraviolet Explorer, dzięki któremu możliwe było uzyskanie widm wielu gwiazd a także kwazarów i komet. Inny satelita, EUVE, czyli Extreme Ultraviolet Explorer posłużył do obserwacji widma między promieniowaniem ultrafioletowym i rentgenowskim i znajduje się na orbicie okołoziemskiej od roku 1992.

Obserwatoria pozaziemskie były także lokalizowane na pokładach wahadłowców. I tak na pokładzie wahadłowca Columbia znalazło się obserwatorium Astro1, a na wahadłowcu Endeavour umieszczono obserwatorium Astro2. Dzięki pracy tych obserwatoriów nauka wzbogaciła się o widma w dalekim nadfiolecie, pochodzące od takich obiektów jak kwazary czy też aktywne jądra galaktyk. Udało się także dokonać pomiarów polaryzacji promieniowania emitowanego przez różne źródła w przestrzeni kosmicznej. Pierwszym obiektem przeznaczonym do pomiaru promieniowania kosmicznego z zakresu rentgenowskiego był satelita Explorer 42 umieszczony w przestrzeni kosmicznej przez Stany Zjednoczone w 1970 roku. Dzięki jego misji odkryto 350 źródeł promieniowania



rentgenowskiego w Kosmosie. Kolejne obiekty przeznaczone do tego typu badań to satelity z serii HEAO, od angielskiej nazwy High Energy Astronomy Observatories. Pierwszy z nich, HEAO1 przebywał w przestrzeni kosmicznej od 1971 roku przez dwa lata. Następny, HEAO2 pracował od 1978 do 1981 roku. Satelity te zlokalizowały kilka tysięcy źródeł promieniowania rentgenowskiego, co dało możliwość wykonania mapy rozmieszczenia źródeł ciągłych. W latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych narzędzia służące do detekcji i pomiaru promieniowania z zakresu rentgenowskiego znalazły się na pokładach: satelitów z serii Ariel, stacji orbitalnych Salut oraz japońskiego satelity Hakucho. W roku 1990 na orbicie okołoziemskiej znalazł się satelita ROSAT, zbudowany i umieszczony na orbicie dzięki współpracy Niemiec, Stanów Zjednoczonych oraz Wielkiej Brytanii.



**Fot. 28.** Rakieta Delta II wynosząca satelitę ROSAT z Przylądka Canaveral, NASA. **Fot. 29.** Satelita ROSAT, NASA.

Na jego pokładzie umieszczono teleskop rentgenowski, którego średnica wynosi 83 cm oraz kilka detektorów. Początkowo zakładano, że czas pracy tego satelity będzie wynosił około 2,5 roku ostatecznie jednak dostarczał informacje aż do września 1998 roku. Dzięki tym urządzeniom odkryto, że komety emitują promieniowanie rentgenowskie. W 1999 roku satelitę ROSAT zastąpił teleskop kosmiczny Chandra.

Poza promieniami rentgena już od lat sześćdziesiątych podejmowano próby detekcji promieniowania gamma. Promieniowanie to wyjątkowo trudne do wykrycia ze względu na dużą energię fotonów mogących przenikać przez materię wykryto po raz pierwszy z pokładu satelity OSO1, który znalazł się na orbicie okołoziemskiej w roku 1967. W roku 1972 umieszczono na orbicie okołoziemskiej satelitę Explorer 48, który upowszechnił obserwację

promieniowani gamma w przestrzeni kosmicznej. Dzięki tej misji wiadomo, że promieniowanie gamma jest emitowane przez dwa pulsary będące pozostałościami po wybuchu supernowej. W roku 1975 na eliptycznej orbicie okołozemskiej znalazł się satelita COS – B, który w ciągu siedmiu lat zarejestrował ponad 200 tysięcy fotonów o energiach z zakresu 70 – 5000 MeV. Jako najważniejsze źródło promieniowania gamma odkryte przez tego satelitę uznano kwazar 3C 273. Obserwacje nieba w promieniowaniu gamma prowadził też wspomniany już wcześniej satelita HEAO1, dzięki którego obserwacji można było opracować pierwszą mapę nieba w tym zakresie promieniowania elektromagnetycznego. W 1991 roku na kołowej orbicie okołozemskiej, w odległości 450 kilometrów od planety umieszczono obserwatorium promieniowania gamma – GRO od angielskiej nazwy Gamma Ray Observatory. Na pokładzie umieszczono urządzenia przeznaczone do detekcji promieniowania z zakresu energii od 50 keV do 30 GeV. Obserwatorium to odkryło kilka tysięcy błysków gamma w przestrzeni kosmicznej.

Obserwacje nieba w podczerwieni głównie prowadzi się z powierzchni Ziemi, lecz najwięcej informacji w tej dziedzinie astrofizyka zawdzięcza satelicie IRAS, umieszczonemu na orbicie okołozemskiej dzięki współpracy Stanów Zjednoczonych, Holandii i Wielkiej Brytanii. Satelita ten zlokalizował nowe galaktyki, w których gwałtownie tworzą się nowe gwiazdy, a także odkrył sześć nowych komet. W roku 1989 Stany Zjednoczone wystrzeliły satelitę COBE, który prowadził obserwacje promieniowania z zakresu podczerwieni i milimetrowych fal radiowych. Dzięki tym badaniom wiadomo, że mikrofalowe promieniowanie tła jest promieniowaniem ciała doskonale czarnego, którego temperatura wynosi 2,735 K. W latach 1989 – 1993 na eliptycznej orbicie znalazł się satelita Hipparcos, który dokonał pomiarów odległości oraz ustalił dokładne pozycje na niebie dużej ilości gwiazd. Dało to możliwość skatalogować ponad sto tysięcy gwiazd, których położenia zostały podane z dużą dokładnością. Satelita ten odkrył również kilka tysięcy podwójnych gwiazd, a także dokonał pomiaru blasku kilkuset tysięcy gwiazd. W 1995 na orbitę wyniesiono następcę satelity IRAS – ISO, czyli Infrared Space Observatory.

#### **4.5. Kosmiczny teleskop Hubble'a.**

Jednak chyba najwięcej astronomia współczesna zawdzięcza Teleskopowi Kosmicznemu Hubble'a, to najpopularniejszy i najbardziej medialny przyrząd optyczny

stworzony przez człowieka. Został on umieszczony na orbicie okołoziemskiej w roku 1990. Obiekt ten ma kształt walca, jego długość wynosi 13,2 m a średnica 4,3 m, razem z bateriami i antenami waży około 11 ton.



**Fot. 30.** Teleskop Hubble'a, NASA.

Ruch tego teleskopu odbywa się po orbicie kołowej w odległości około 600 kilometrów od powierzchni Ziemi. Dokonuje on obserwacji w zakresie długości fali od 105 do 1100 nm. Początkowo w skład teleskopu wchodziły: fotometr, dwa spektrografy oraz dwie kamery. Później okazało się jednak, że wadliwie wyprofilowano główne zwierciadło teleskopu i konieczna była misja naprawcza w celu zastąpienia fotometru urządzeniem korygującym. Konieczne były również wymienianie baterii słonecznych i części żyroskopów, co miało miejsce w roku 1993. W roku 1997 kolejna misja wymieniała jeden ze spektrografów oraz zainstalowała nową, bardziej czułą kamerę. Kolejne wykonano w 1999 (misja 3A) i w 2002 (misja 3B) roku. Katastrofa promu Columbia w 2003 roku, w której zginęła cała załoga promu przyczyniła się do zawieszenia kolejnej misji o numerze "4". Po trzech latach od tego wypadku zaczęto przygotowywać się do ostatniej serwisowej misji, 11 maja 2009 załoga promu Atlantis (STS-125) dokonała lekkiej przebudowy i konserwacji teleskopu. Dzięki tej misji teleskop Hubble'a będzie mógł dalej pracować przynajmniej do 2014 roku.

## 5. Układ Słoneczny.

Do formowania się planet Układu Słonecznego dochodziło mniej więcej w tym samym czasie, gdy powstawało Protosłońce<sup>2</sup>. Zachodził wówczas proces zderzania i sklejanego się ziaren pyłu w coraz większe grudki. Na skutek przyciągania grawitacyjnego po takim zderzeniu nie odrywały się już od siebie i tworzyły coraz większe obiekty. Aby w taki sposób doszło do powstania bryły o średnicy kilometra, musiało upłynąć kilkaset tysięcy lat. W ciągu kolejnych milionów lat formowały się obiekty zwane protoplanetami<sup>3</sup>. W dalszym czasie następował wzrost masy tych obiektów, co powodowało przyciąganie dużych ilości gazów. W początkowym etapie protoplanety miały postać ciekłą. Doszło wówczas do wypłynięcia substancji lekkich na powierzchnię, a ciężkie skupiły się wewnątrz. Wzmoczona aktywność wulkaniczna powodowała utratę energii i stygnięcie. Końcową fazą formowania Układu Słonecznego było tzw. wielkie bombardowanie: ziarna pyłu, meteoroidy i planetoidy bardzo często uderzały w powierzchnie planet i księżyców formując na nich krateru uderzeniowe. Po tym etapie w ewolucji Układu Słonecznego nie wystąpiły już żadne gwałtowne procesy.

Najbardziej charakterystyczne elementy Układu Słonecznego to Księżyc, planety i Słońce w samym centrum.



**Fot. 31.** Układ słoneczny. Źródło: planety.wieszwszystko.com.

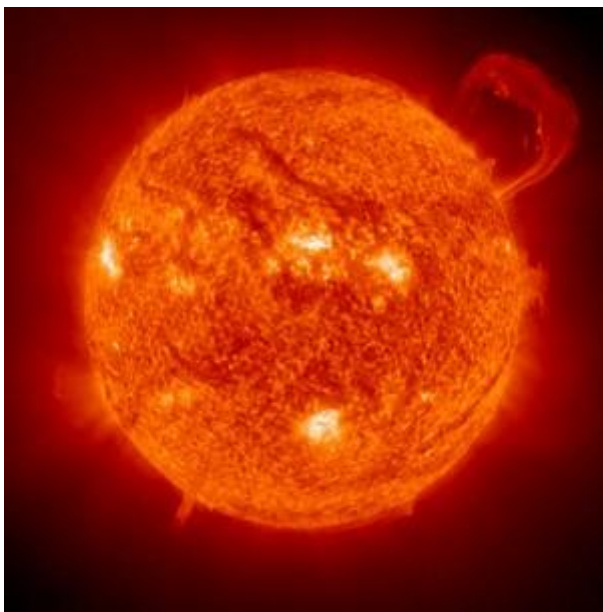
<sup>2</sup> początkowy etap ewolucji Słońca, obiekt astronomiczny powstały wskutek kurczenia się obłoku materii międzygwiazdowej, wg. Wikipedia.pl.

<sup>3</sup> skupisko materii w pierwotnym dysku z której później uformowały się planety, wg. "Ziemia we Wszechświecie".

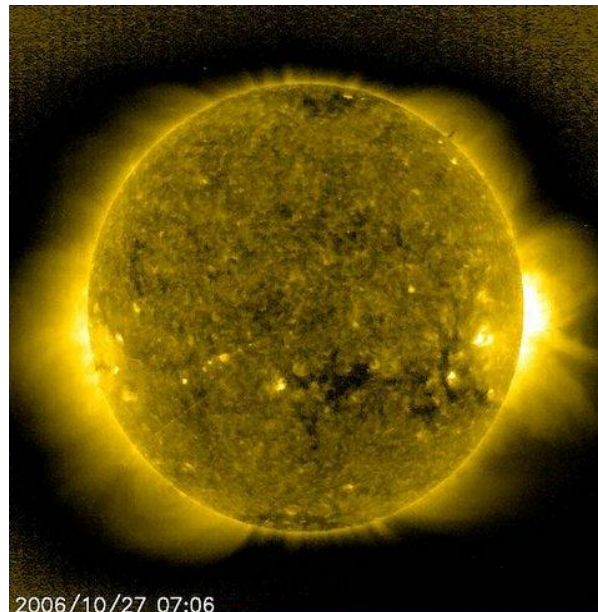


## 5.1. Słońce.

Słońce – gwiazda centralna Układu Słonecznego, wokół której krąży Ziemia i inne planety, dzieli nas od niej około 150 mln km. To najjaśniejszy element niebie i główne źródło energii docierającej do Ziemi. Astronomiczny symbol Słońca to okrąg z punktem w środku. Leży w jednym z ramion spiralnych Galaktyki, 26 tysięcy lat świetlnych od jej środka i około 26 lat świetlnych od płaszczyzny równika Galaktyki. Słońce jest gwiazdą ciągu głównego (V klasa jasności<sup>4</sup>). Jego typ widmowy<sup>5</sup> (G2) charakteryzuje biaława barwa i obecność w widmie linii zjonizowanych i neutralnych metali oraz bardzo słabych linii wodoru. Pomimo, że najbliższa gwiazda jest od dawna intensywnie badana przez naukowców, wiele dotyczących jej kwestii pozostaje nierozstrzygniętych.



**Fot. 32.** Słońce w ultrafioletowej linii wodoru wykonane z pokładu stacji Skylab, NASA.



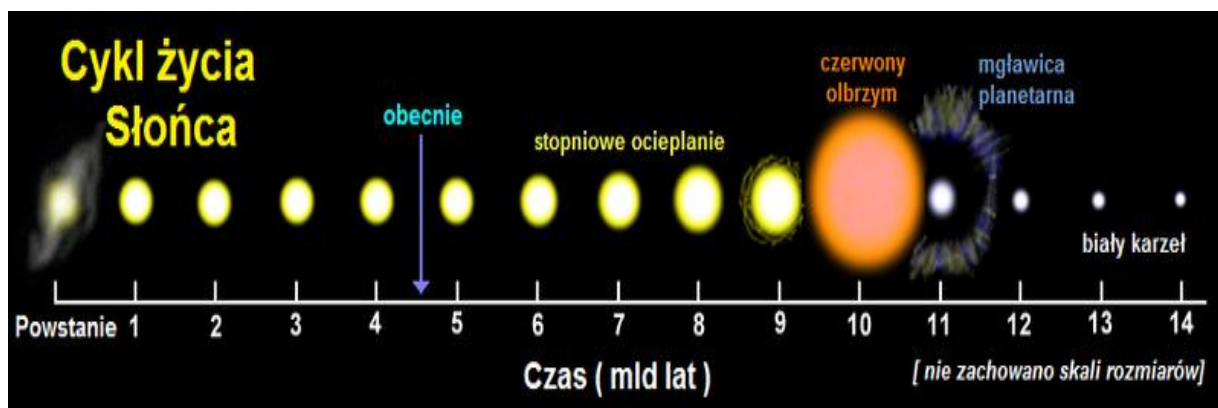
**Fot. 33.** Zdjęcie Słońca wykonane przez satelitę SOHO. NASA.

Nie poznano dokładnie mechanizmu podgrzewania zewnętrznych warstw słonecznej atmosfery do temperatur rzędu miliona kelwinów. Słońce jest kulą zjonizowanego gazu o masie około  $2 \times 10^{30}$  kg, z czego 74% stanowi wodór, 25% hel, a niespełna 1% pierwiastki cięższe i sporadycznie występujące proste związki chemiczne. Kula plazmy utrzymywana jest

<sup>4</sup> opisano dokładnie w rozdziale szóstym na podst. PWN

<sup>5</sup> diagram Hertzsprunga-Russella w rozdziale szóstym.

w równowadze hydrostatycznej<sup>6</sup> dzięki sile grawitacji z jednej strony i rosnącym wraz z głębokością ciśnieniem gazu, które równoważy ciężar materii znajdującej się powyżej. W centrum ciśnienie osiąga wartość  $10^{16}$  Pa, co jest spowodowane tym, że jądro rozgrzewa się do temperatury kilkunastu milionów stopni, dzięki której mogą już zachodzić reakcje jądrowe. Gęstość materii w jądrze Słońca wynosi  $1,5 \times 10^5$  kg/m<sup>3</sup>, jednak wysoka temperatura utrzymuje materię w stanie gazowym, a dokładniej – plazmy. Na podstawie odmiennych własności plazmy i procesów w niej zachodzących, które wynikają z różnic w gęstości i temperaturze, można wyróżnić trzy różne obszary wewnątrz Słońca. Przypuszcza się, że Słońce powstało około 4,6 miliarda lat temu. Po trwającym kilkadziesiąt milionów lat okresie kurczenia się obłoku międzygwiazdowego, Słońce rozpoczęło pobyt na ciągu głównym. Przez 4,6 miliarda lat Słońce zwiększyło swój promień od 8 do 12%, oraz jasność o ok. 27%. Zawartość wodoru w jądrze młodego Słońca wynosiła ok. 73%, obecnie już tylko 40%. Gdy zapasy wodoru wyczerpią się, co nastąpi za mniej więcej kolejne 5 mld lat, Słońce zmieni się w czerwonego olbrzyma, po czym odrzuci zewnętrzne warstwy, przeistaczając się w białego karła. Przez wiele miliardów lat będzie stygł, aż stanie się czarnym karłem.



Fot. 34. Cykl życiowy Słońca, pl.wikipedia.org.

## 5.2. Księżyc.

Księżyc jest jedynym naturalnym satelitą ziemskim. Jest drugim pod względem jasności obiektem na niebie. Możliwe, że do uformowania się Księżyca doszło w końcowej fazie kształtowania się Układu Słonecznego, w wyniku zderzenia się protoplanety o dość

<sup>6</sup> stan równowagi materii, kiedy siła grawitacji jest zrównoważona przez siłę gradientu ciśnienia działającą w odwrotnym kierunku, przez co gwiazda nie eksploduje i przybiera ona kształt kuli. PWN.

dużych rozmiarach z Ziemią, co spowodowało utratę przez naszą planetę części płaszcza. Natomiast materia tego płaszcza zlokalizowała się na orbicie okołoziemskiej i w konsekwencji doszło do powstania satelity. Istnieje jeszcze kilka różnych teorii na temat powstania Księżyca, lecz na dzień dzisiejszy nie wiadomo z całą pewnością, która jest prawdziwa.

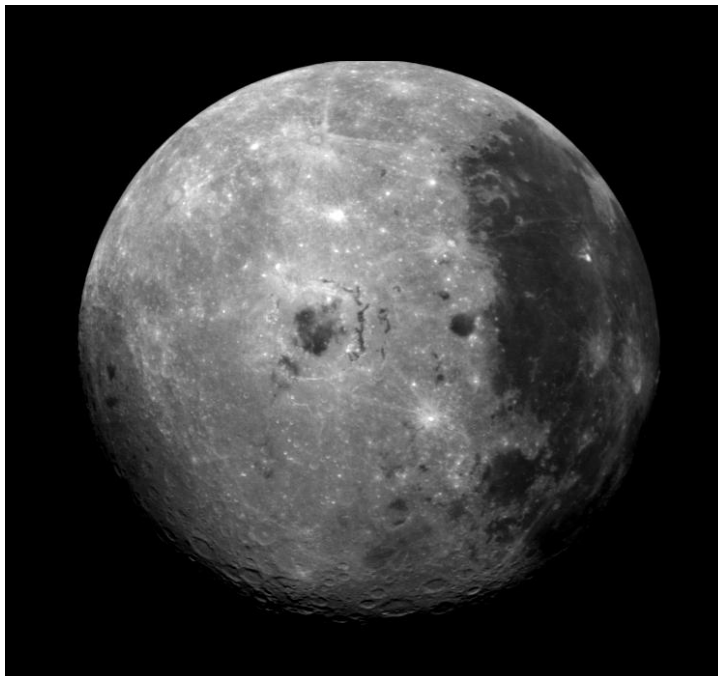
Orbita, po której Księżyc porusza się wokół Ziemi, jest prawie kołowa. Jedno okrążenie trwa 27,3 dnia. Księżyc jest oddalony od Ziemi o około 384,4 tys. kilometrów. Obserwuje się ciągły wzrost odległości Księżyca od Ziemi na skutek oddziaływań pływowych. Księżyc wykonuje również ruch dookoła własnej osi, równy okresowi jego obiegu wokół Ziemi. Z tego też faktu z Ziemi widoczna jest zawsze ta sama strona Księżyca. Oprócz tego widać, że Księżyc zmienia swój kształt. Jest to nic innego jak oświetlona półkula widziana pod różnymi kątami. Wynika to ze wzajemnego położenia Księżyca, Ziemi i Słońca. I tak kolejne postacie tegoż satelity nazywa się fazami (Fot. 35). Ich przejście jedna w drugą następują w sposób ciągły:

- nów - obserwowany jest w sytuacji, gdy półkula, która jest widoczna z Ziemi nie jest oświetlona przez Słońce,
- pełnia - widoczna jest cała jego tarcza, wówczas gdy Księżyc znajdzie się na linii Słońce - Ziemia, ale po przeciwnej niż Słońce stronie.
- kwadry- stany pośrednie Księżyca, gdy go "ubywa" lub "przybywa".



Fot. 35. Fazy Księżyca.

Księżyc jest sporo mniejszy od naszej planety. Jego masa wynosi zaledwie 1/81 masy Ziemi, promień stanowi 0,27 promienia ziemskiego, a średnia gęstość materii księżycowej wynosi około  $3,34 \text{ g/cm}^3$ .



**Fot. 36.** Księżyc widziany przez sondę Galileo, NASA.

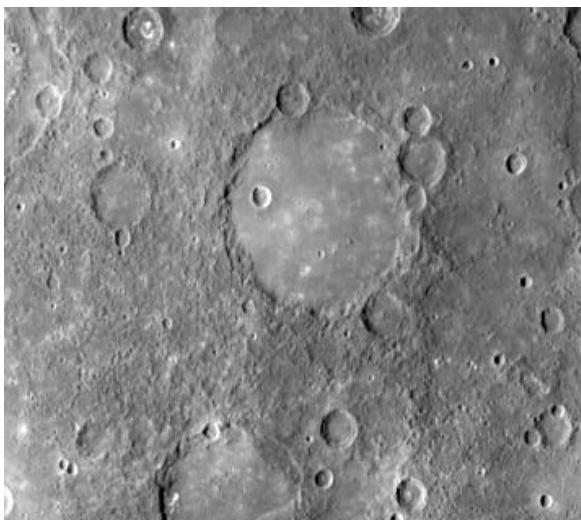
Mała gęstość Księżyca sugeruje małą zawartość żelaza w budowie wewnętrznej. Jądro składające się z żelaza ma promień równy 700 km. Otoczone jest przez stopione skały o grubości około 400 km. Następnie w budowie wewnętrznej Księżyca wyróżnia się skalisty płaszcz, na którym rozpościera się twarda skorupa, której grubość wynosi kilkadziesiąt kilometrów. Powierzchnia Księżyca utworzona jest w dużym stopniu przez skały bazaltowe pochodzenia wulkanicznego, a całość pokrywa lekki pył składający się głównie z tlenków krzemu, glinu, wapnia i żelaza. W ukształtowaniu powierzchni dominują liczne krateru uderzeniowe, na samej tylko półkuli widocznej z Ziemi jest ich ponad 300 tysięcy. Krateru powstały w wyniku zderzeń z meteoroidami. Największe z nich mogą mieć średnicę nawet ponad 1 km. Część z nich wypełniona jest zastygłą lawą wulkaniczną, a dna niektórych mogą być wypełnione lodem wodnym. Wśród innych struktur na powierzchni można wyróżnić: łańcuchy górskie, z których najwyższe sięgają 8 kilometrów wysokości, oraz bruzdy i szczeliny. Na powierzchni Księżyca można dostrzec gołym okiem ciemne plamy, które układają się na kształt oczu, nosa i ust, nazwano je: Morzem Jasności, Morzem Spokoju

i Jeziorem Snów, sądzono bowiem, że są to duże zbiorniki wodne. Późniejsze badania zweryfikowały ten pogląd.

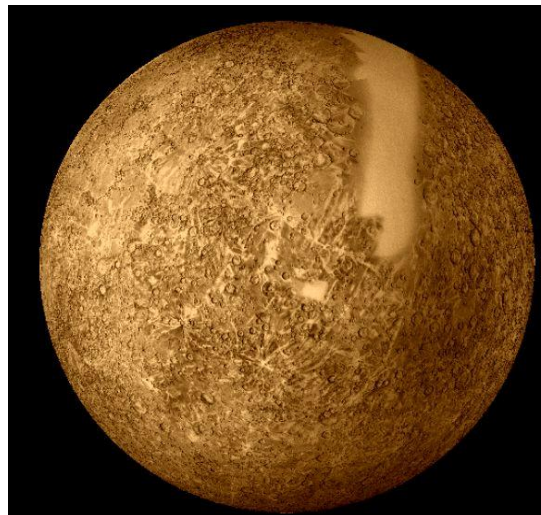
Temperatury na powierzchni Księżyca zmieniają się od 110 stopni do -180 stopni. Pierwsza przypada na środek dnia księżycowego, a druga na środek księżycowej nocy. Tak duże wahania temperatury wynikają z braku atmosfery na Księżycu. Brak atmosfery powoduje również, że do powierzchni dociera bez żadnych przeszkód promieniowanie kosmiczne. Również meteoryty nie są przez nic powstrzymywane i uderzają w jego powierzchnię. Brak tam również z tego powodu zjawiska rozpraszania promieni słonecznych na cząsteczkach gazów, na skutek tego niebo widoczne z Księżyca ma zawsze ciemną barwę.

### **5.3. Merkury.**

Jest to pierwsza w kolejności planeta Układu Słonecznego, znajdująca się najbliżej Słońca. Dookoła Słońca obiega w czasie 88 dni, a dzień na Merkurym trwa cały rok - okres obrotu planety wynosi 176 dni, tak więc planeta jest cały rok zwrócona prawie jedną stroną do Słońca, druga pozostaje ciemna przez cały rok. W kolejnym roku sytuacja się odwraca. Merkury jest jednocześnie najmniejszą planetą w Układzie, jego średnica wynosi zaledwie 4840 kilometrów. Ze względu na to, że jedna strona Merkurego jest stale oświetlona, a druga stale ciemna, na planecie mamy do czynienia z dużymi różnicami temperatury. Na jasnej stronie panuje bardzo wysoka temperatura rzędu 700 K, a po chłodnej stronie do -180 K. Ze względu na olbrzymią temperaturę, atmosfera Merkurego jest bardzo rzadka. Najważniejszymi składnikami atmosfery merkuriańskiej jest dwutlenek węgla i wodór. Powierzchnia bardzo dobrze widoczna dzięki rzadkiej atmosferze pokryta jest kraterami powstałymi na skutek kolizji z wieloma meteorytami oraz bardzo stromymi urwiskami, powstałymi w wyniku intensywnej przemiany w jądrze w czasie jej powstawania. Średnica największych kraterów sięga 1000 km. Dookoła nich piętrzą się pasma górskie, tarasy oraz materia wyrzucona z podłoża w wyniku zderzenia. Rozmiary kraterów mogą nam powiedzieć o prędkości i masie meteorytu, który uderzył w Merkurego. Największa powierzchnia krateru ma średnicę 1300 kilometrów i jest nazywana Równiną Żaru (Fot. 37). Jest ona wypełniona zastygłą lawą, usianą mniejszymi kraterami po uderzeniach małych meteorytów. Nazwa równiny pochodzi stąd, że podczas co drugiego peryhelium Merkurego staje się ona najbardziej gorącym miejscem na planecie.



**Fot. 37** Krater „Równina Żaru”, źródło: <http://ser.sese.asu.edu>.



**Fot. 38.** Obraz jest mozaiką zdjęć wykonanych przez sondę Mariner 10, NASA.

#### 5.4. Wenus.

Wenus jest kolejną planetą od Słońca. Planeta ta jest bardzo słabo poznana, gdyż przykrywa ją bardzo gruba i gęsta atmosfera odbijająca większość promieniowania słonecznego. Powoduje to, że Wenus jest po Słońcu i Księżycu najjaśniejszym obiektem na niebie. Na planecie musi być bardzo duszno i gorąco, gdyż temperatury przy jej powierzchni dochodzą do 700 K. Atmosfera zawiera duże ilości siarki w postaci kwasu siarkowego, który sprawia, że chmury mają żółty kolor. Obserwacje chmur ujawniły, że ilość kwasu siarkowego a atmosferze zmienia się, co świadczy o intensywnych przemianach, które zachodzą na planecie. Wenus zalicza się do planet ziemopodobnych, ponieważ przypomina ją zarówno rozmiarami, jak i kształtem orbity. Podobieństwo istnieje pod względem gęstości materii, jednak na Wenus panują inne warunki – doba jest tam 240 razy dłuższa niż na Ziemi. Mimo długich nocy temperatura tam jest bardzo wysoka, spowodowane jest to bardzo silnym efektem cieplarnianym – gazy atmosferyczne z Wenus pochłaniają całe ciepło, które jest emitowane przez rozgrzaną planetę, a następnie kierują je z powrotem w kierunku jej powierzchni. W ten sposób ciepło, które raz dostało się na planetę, nie jest z niej uwalniane. Gazy na Wenus stanowią bardzo szczelną otoczkę, a powierzchnię udało się zobrazować dzięki zastosowaniu obrazowania radarowego. Obecnie znamy ukształtowanie 98% powierzchni planety, pomimo że ani razu nie udało się jej dostrzec bezpośrednio na skutek grubej i gęstej warstwy chmur. Prawie 70% planety jest pokryte pustynnymi równinami, powstałymi w wyniku dużej aktywności wulkanicznej. Oprócz nizin, na Wenus jest kilka



płaskowyżów położonych kilka kilometrów nad poziomem nizin, a także jedno pasmo górskie, stanowiące najwyższy punkt na planecie – Maxwell Montes. Wenus odróżnia od wszystkich planet Układu Słonecznego to, że obraca się zgodnie z ruchem wskazówek zegara.



**Fot. 39.** Wenus z pokładu Mariner10.NASA/JPL.



**Fot. 40.** Obraz Wenus w fałszywych kolorach na podstawie pomiarów radarowych sondy Magellan, NASA/JPL.

Niektórzy astronomowie podejrzewają, że początkowo obracała się tak, jak inne planety, lecz w wyniku zderzenia z jakimś dużym obiektem, zmieniła swój kierunek obrotu. Ze względu na to, że Wenus jest planetą pod wieloma względami podobną do Ziemi, naukowcy dostrzegli możliwość przeprowadzenia na niej tak zwanego transformingu – procesu "upodobnienia" jej do Ziemi do tego stopnia, aby nadawała się do zamieszkania. Proces ten ma polegać na wytworzeniu na planecie warunków takich, jak panują na Ziemi, poprzez wysiewanie do atmosfery Wenus zarodków roślin ziemskich. Bardzo możliwe, że organizmy nie wytrzymałyby temperatur panujących na planecie, jednak możliwe jest, że przetrwają, i zaczną w procesie fotosyntezy przekształcać dwutlenek węgla na wodę. Takie sztuczne wprowadzenie zarodków mogłoby spowodować zapoczątkowanie łańcucha przemian, wszystko to jednak wydaje się bardzo mało prawdopodobne.

## **5.5. Ziemia.**

Kolejną planetą od Słońca jest Ziemia - jedyna znana planeta, na której rozwinęło się życie.



**Fot. 41.** Ziemia widziana z pokładu Apollo 17. NASA.

Skorupa ziemska jest zewnętrzną powłoką rozciągającą się od nieciągłości Mohorovičića (zwanej też powierzchnią Moho) aż do powierzchni Ziemi. Powierzchnia Moho znajduje się na głębokości około 50-60 km, a została odkryta przez chorwackiego geofizyka Andriję Mohorovičića w 1910 r. Pomiędzy powierzchnią Ziemi a powierzchnią Moho znajduje się jeszcze jedna powierzchnia nieciągłości, zwana powierzchnią Conrada. Została ona odkryta w 1925 r. przez V. Conrada. Według najnowszych badań powierzchnia ta w wielu rejonach świata nie występuje lub jest bardzo niewyraźna. Skorupę ziemską możemy podzielić na skorupę kontynentalną i oceaniczną. Zewnętrzna warstwa skorupy ziemskiej zbudowana jest ze skał o gęstości  $2,6 - 2,7 \text{ g/cm}^3$ , co odpowiada średniej gęstości skał granitowych. Pod centralnymi częściami oceanów ta skorupa nie występuje w ogóle. Płaszcz ziemski sięga do głębokości 2890 km. Płaszcz górny, zwany zewnętrznym – budują związki: chromu, żelaza, krzemu i magnezu. Średnia gęstość tej sfery wynosi  $4,0 \text{ g/cm}^3$ . Górna część zewnętrznego płaszcza ma od 80 do 150 km głębokości i jest warstwą o cechach plastycznych – stanowi jakby podściółkę zapewniającą skorupie ziemskiej ruchliwość. Zachodzą w niej wszystkie procesy tektoniczne. Płaszcz dolny, zwany też wewnętrznym – zbudowany głównie z niklu, żelaza, krzemu i magnezu - posiada średnią gęstość w granicach  $5,0-6,6 \text{ g/cm}^3$ . W płaszczu Ziemi zachodzą prawdopodobnie ruchy konwekcyjne, czyli zjawiska związane z powolnym przemieszczaniem się w górę plastycznych mas materii pod wpływem ciepła. Jądro Ziemi składa się prawie wyłącznie z czystego żelaza, podczas gdy substancje bogate w żelazo częściej występują poza jądrem. Zatem substancje żelazowe przy powierzchni są stałe,



w płaszczu górnym – półpłynne (z powodu wysokiej temperatury i względnie niskiego ciśnienia), w płaszczu dolnym – stałe, w jądrze zewnętrznym czyste żelazo jest płynne, gdyż ma niską temperaturę topnienia, zaś jądro wewnętrzne jest stałe z powodu najwyższego ciśnienia występującego w centrum. Ogólnie uważa się, że konwekcja jądra zewnętrznego połączona z ruchem rotacyjnym, wytwarza ziemskie pole magnetyczne przez proces znany jako efekt dynama. Stałe jądro wewnętrzne jest zbyt gorące, aby utrzymać stałe pole magnetyczne, ale prawdopodobnie działa stabilizująco na pole magnetyczne wytwarzane przez ciekłe jądro zewnętrzne. Pole magnetyczne chroni Ziemię przed wysokoenergetycznymi cząstkami wyrzucanymi ze Słońca i z przestrzeni kosmicznej. Cząstki te zostają uwięzione przez pole magnetyczne w obszarach zwanych pasami Van Allena. Wytwarzane pole magnetyczne zwane polem magnetycznym Ziemi, odpowiada w przybliżeniu polu wytworzonemu przez wielki magnes w kształcie kuli, którego bieguny położone są w pobliżu biegunów geograficznych. Oś magnetyczna nie pokrywa się jednak z osią obrotu Ziemi, lecz jest od niej odchylna o kilkanaście stopni i zmienia swoje położenie w czasie (obecnie odchylenie to wynosi około  $11^\circ$ ). Dział nauki zajmujący się badaniem pola magnetycznego Ziemi to geomagnetyzm. Obecnie uznaje się, że pole magnetyczne Ziemi powstaje w zewnętrznym płynnym jądrze Ziemi w wyniku ruchów konwekcyjnych porządkowanych przez ruch wirowy Ziemi. Ruch obrotowy Ziemi – inaczej ruch wirowy Ziemi to obrót wokół własnej osi trwający 24 godziny (dokładnie 23 godziny 56 minut i 4 sekundy), odpowiadający dobie gwiazdowej. W wyniku ruchu obrotowego każdy punkt na Ziemi przesuwa się z zachodu na wschód poruszając się względem jej środka. Na równiku prędkość punktu wynosi około 1666 km/h, bieguny natomiast pozostają w miejscu. Konsekwencją ruchu obrotowego Ziemi jest:

a) Wynikające z ruchu:

- dobowy ruch sfery niebieskiej ze wschodu na zachód,
- pozorny ruch Słońca po sklepieniu niebieskim,
- wędrówka gwiazd po sklepieniu niebieskim,
- zmiana dnia na noc i związana z nią rachuba czasu,

b) Wynikające z siły odśrodkowej:

- spłaszczenie Ziemi na biegunach, które wynosi 21km,
- odchyłanie ciał swobodnie spadających

c) Wynikające z siły Coriolisa<sup>7</sup>:

- efekt Coriolisa – odchylenie kierunku poruszania się ciał (w prawo na półkuli północnej i w lewo na półkuli południowej), obserwowane np. w zachowaniu się wahadła Foucaulta,
- wirowanie mas powietrza wokół niżów i wyżów barycznych (cyklony i antycyklony) oraz strefy stałych wiatrów (pasat),

d) Inne to: pływy mórz i ruchy skorupy Ziemi.

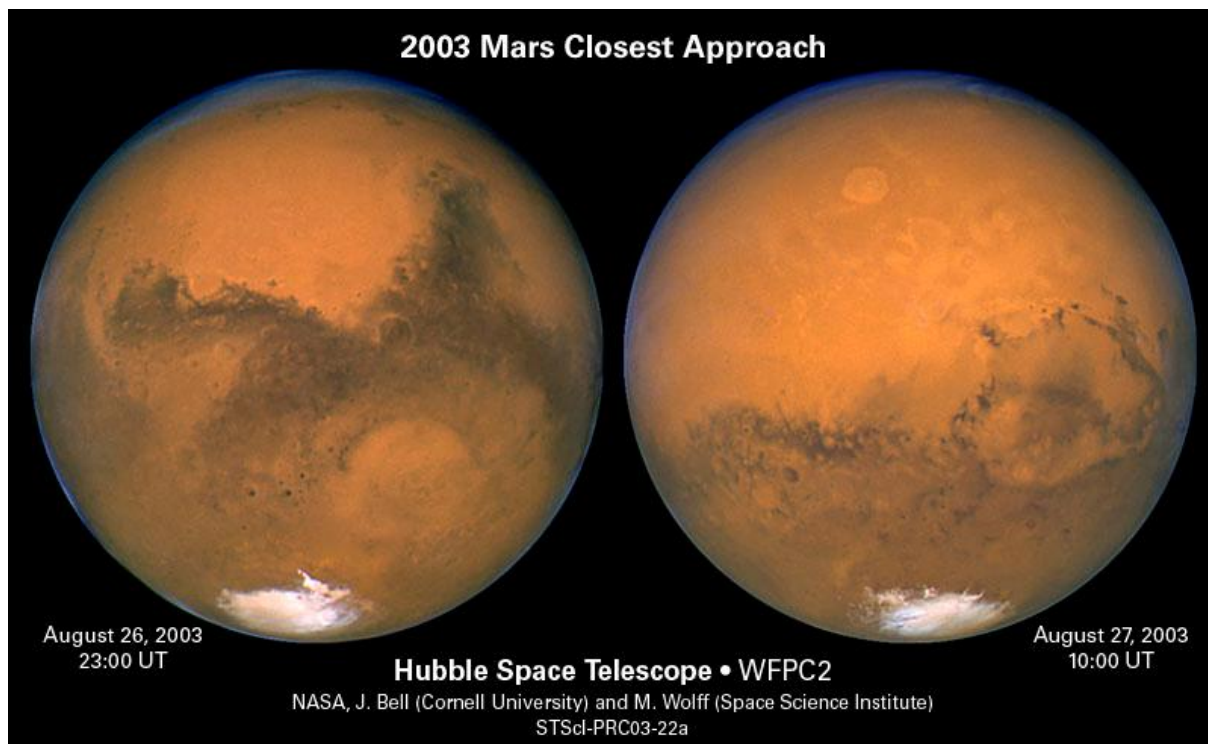
To, co wyróżnia planetę spośród innych planet to warunki panujące na jej powierzchni. Jest obecnie jedyną planetą, na której występuje płynna woda. Atmosfera Ziemi ma ciśnienie około 1000 hPa, zwane ciśnieniem normalnym, w jej składzie mamy 70% ozonu i 18% tlenu, oraz średnią temperaturę około 15°C. Atmosfera ziemska jest jedyną, w której występuje tak dużo tlenu i jednocześnie tak mało dwutlenku węgla. Pod względem wielkości jest dokładnie pośrodku między wszystkimi planetami, jednak gęstością przewyższa wszystkie inne planety w Układzie Słonecznym.

## 5.6. Mars.

Jest to czwarta planeta w kolejności od Słońca. Jego średnia odległość od Słońca wynosi 228 milionów kilometrów. Średnica jest niewiele większa od promienia Ziemi i wynosi 6800 km. Obrót Marsa dookoła własnej osi zajmuje mu trochę ponad 24 godziny. A pełen obrót wokół Słońca trwa 687 dni. Ze względu na swoje niewielkie rozmiary, a co się z tym wiąże niewielką masę, grawitacja która panuje na Marsie jest w stanie utrzymać tylko cienką warstwę atmosfery. Składa się ona głównie w 95,3% z dwutlenku węgla, pozostałe składniki to niewielkie ilości azotu, argonu, a także tlenu. Z racji tego, że Mars znajduje się w dalszej odległości od Słońca temperatury panujące na nim są ogólnie niskie. Najniższe sięgają -120 °C, a najwyższe +35°C. Mars jest często nazywany "czerwoną planetą", co wynika bezpośrednio z czerwonej barwy jego powierzchni. To zabarwienie wynika z wysokiej zawartości tlenku żelaza w tamtejszych skałach, przez co mają one kolor rdzy.

---

<sup>7</sup> jest siłą pozorną, występującą jedynie w nieinercjalnych układach obracających się, powoduje odchylenie od linii prostej toru ruchu ciała poruszającego się.



**Fot. 42.** Mars, źródło NASA.

Na powierzchni Marsa można znaleźć wiele wygasłych wulkanów, które świadczą o tym, że była to planeta aktywna wulkanicznie. Niektóre z tych wulkanów osiągają wysokość dochodzącą nawet do 20 km. Powierzchnia ta ulega ciągłym zmianom. Zmiany te można podzielić na 3 rodzaje:

- długookresowe, polegają na zmianie wyglądu istniejących struktur, które mogą przebiegać przez tysiące lat,
- sezonowe, mamy do czynienia ze zmianami np. wielkości czap polarnych, czy barwy i wyrazistości różnego rodzaju form topograficznych,
- atmosferyczne, objawiają się one głównie pod postacią żółtych chmur, które występują w czasie burz piaskowych, ale także jako białe i niebieskie chmury

Najlepsze warunki do obserwacji Marsa zdarzają się raz na dwa lata, a dokładnie raz na 26 miesięcy i trwają przez kilka miesięcy. Najbardziej korzystne położenie Marsa na orbicie nazywane jest wielką opozycją, wówczas Mars zbliża się do Ziemi na odległość do 56 mln km. Przy prowadzeniu obserwacji, zauważymy, że z nocy na noc wygląd tarczy Marsa niewiele się zmienia. Wynika to z prostego faktu, iż doba na Marsie jest dłuższa o 40 minut od ziemskiej, czyli okres obrotu tej planety jest niewiele większy od okresu obrotu Ziemi. Dlatego też aby obejrzeć jak wygląda inna część powierzchni Marsa, należy obserwacje

prować w przeciągu tygodni, ponieważ po około tygodniu tarcza planety obróci się względem tarczy ziemskiej o około 5 godzin. Mars posiada dwa księżyce Phobos i Deimos, jednak niewielu osobom udaje się je zaobserwować, nie wynika jednak to z tego, że mają słabą światłość, która w istocie jest stosunkowo duża, ale z faktu, że zanikają one w blasku samej planety.

### 5.7. Jowisz.

Jowisz jest największą spośród wszystkich planet Układu Słonecznego. Jego średnica jest 11 razy większa od średnicy Ziemi, objętość 1300 razy i masa 318 razy większa niż Ziemi (Fot. 44). Biorąc pod uwagę, że planeta ta obraca się szybko, jest ona mocno spłaszczona na biegunach. Ta olbrzymia planeta otoczona jest grubą warstwą atmosfery, która składa się głównie z helu i wodoru. Dodatkowo w atmosferze tej unoszą się w postaci stałej lub skroplonego gazu metan i amoniak. Powierzchnia planety jest pokryta kilkoma warstwami chmur układających się w charakterystyczne pasy widoczne z Ziemi. Najbardziej znanym szczegółem jego powierzchni jest Wielka Czerwona Plama, będąca wirami o średnicy większej niż średnica Ziemi.



**Fot. 43.** Mozaika zdjęć Jowisza wykonanych przez sondę Cassini, widoczny jest cień księżycy Europa, NASA.



**Fot. 44.** Porównanie wielkości Ziemi i Jowisza, NASA.

Temperatura atmosfery jest zróżnicowana. Górne partie chmur mają temperaturę  $-148^{\circ}\text{C}$ , jednak im bliżej środka planety zarówno temperatura jak i ciśnienie rośnie. Największa temperatura i ciśnienie panuje w samym środku, tam wynosi ona  $30000^{\circ}\text{C}$ ,

ciśnienie wówczas wzrasta do 100 miliardów hPa, czyli jest o 100 milionów razy większe niż ciśnienie panujące przy powierzchni Ziemi.

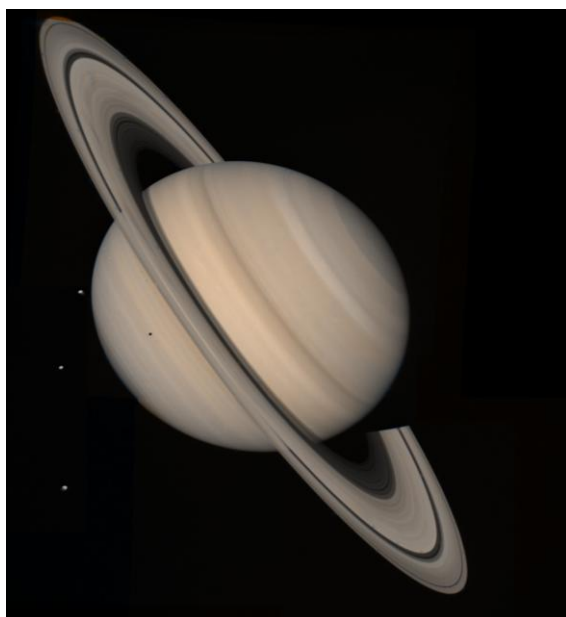
Jowisza można zobaczyć gołym okiem, jednak aby dojrzeć jakieś szczegóły w jego wyglądzie należy skorzystać z dobrego refraktometru, jest on ciekawym obiektem do obserwacji, ponieważ wygląd jego tarczy zmienia się stosunkowo szybko co jest wynikiem tego, że doba na Jowiszu trwa tylko 10 godzin. Widoczne elementy "powierzchni" Jowisza przesuwają się po obwodzie planety. Można wyróżnić spośród nich ciemne i jasne pasy, które obracają się równoległe do równika planety. Wokół równika znajduje się pas równikowy, który to z kolei dzieli się na pas południowy i północny. Oba te pasma charakteryzują się ciemną barwą i otaczają z dwóch stron strefę równikową. Pasy te wykazują najwyższą aktywność spośród wszystkich pasów znajdujących się na Jowiszu. Przy czym zazwyczaj większą aktywność wykazuje pas południowy.

Jowisz posiada najwięcej księżyców z 63 dotychczas odkrytych, 48 ma już oficjalne nazwy. Ganimedes, jeden z księżyców Jowisza, jest największym naturalnym satelitą w Układzie Słonecznym. W 1610 Galileusz odkrył cztery największe księżyce Jowisza: Io, Europę, Ganimedesa i Callisto, zwane od tamtej pory księżycami galileuszowymi. Były to pierwsze obiekty, które w oczywisty sposób nie krążyły wokół Ziemi, dlatego odkrycie to odegrało ważną rolę w dowodzeniu słuszności teorii heliocentrycznej Kopernika.

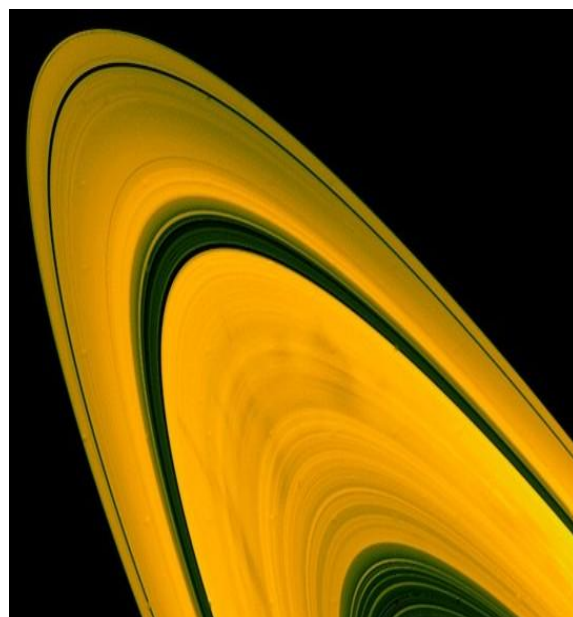
## **5.8. Saturn.**

Po Jowiszu jest Saturn. Jest to druga pod względem wielkości planeta w Układzie Słonecznym, również zaliczana do gazowych olbrzymów, choć jego masa stanowi zaledwie 1/3 masy Jowisza. Cechą charakterystyczną planety jest to, że jego średnia gęstość jest mniejsza od gęstości wody. Saturn bardzo szybko obraca się wokół własnej osi, co powoduje zmiany w rotacji warstwy atmosfery, a to przejawia się powstawaniem na powierzchni Saturna pasów równoległych do równika, a także wybrzuszeń. Podobnie jak Jowisz, ma układ pierścieni, jednak pierścienie Saturna są znacznie lepiej widoczne niż pierścienie Jowisza, jest ich też znacznie więcej. Pierścienie te są zbudowane z bardzo licznych drobnych kryształków lodu oraz fragmentów skał i pyłu pokrytych warstwą lodu. W pierścieniach wewnętrznych napotykamy także olbrzymie bloki skalne, których średnica może odchodzić do 1 km. Łączna średnica wszystkich pierścieni wynosi ponad 960 000 km. Oprócz pierścieni w skład dysku

wokół planety wchodzi kilka przerw, z których największa to przerwa Cassiniego, o szerokości 4200 km. Przerwa ta pomiędzy bardzo jasnymi pierścieniami A i B została odkryta przez Giovanni Cassiniego w 1675 r. i powstała w wyniku działania pola grawitacyjnego jednego z księżyców Saturna – Mimas. Wbrew początkowym przekonaniom pasmo to nie jest całkowicie puste, lecz składa się z kilku bardzo rozrzedzonych pasm. Pierścienie Saturna stanowią najcieńszy dysk, jaki do tej pory został odkryty we Wszechświecie, gdyby porównać go do naleśnika o grubości 1 mm, musiałby mieć on średnicę 1,5 km.



**Fot. 45.** Saturn, NASA.

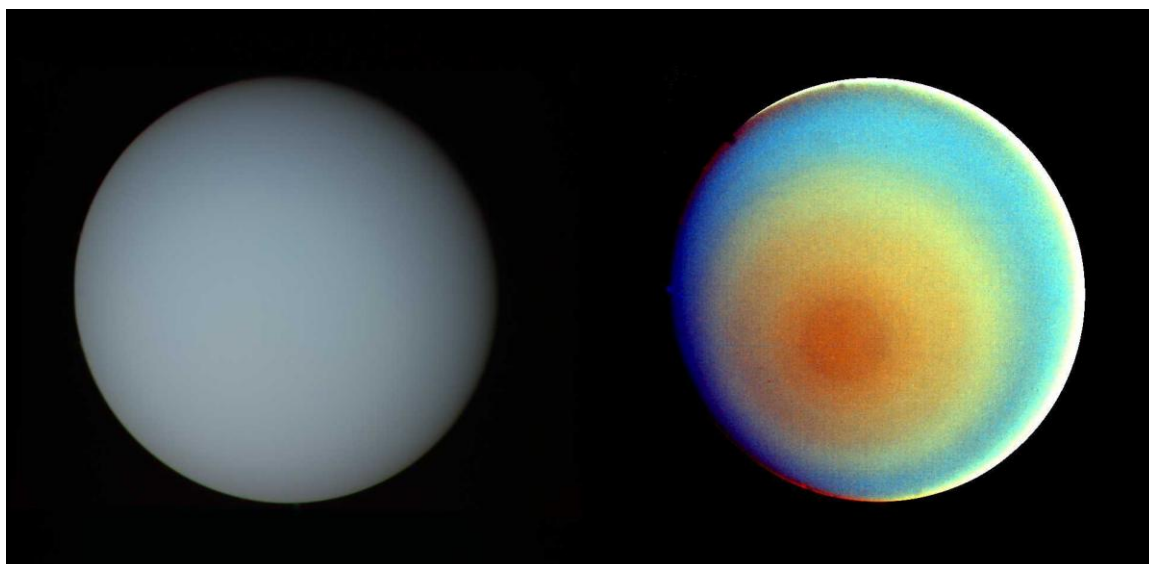


**Fot.46.** Pierścienie saturna sonda Voyager2, NASA/JPL.

Wokół Saturna jest bardzo dużo księżyców, do tej pory odkryto ich ponad 60, możliwe jednak, że jest ich jeszcze więcej.. Jeden z księżyców, Mimas, jest tak mały, że krater o średnicy 130 km stanowi ponad 1/3 średnicy księżyca. Oprócz tak małych satelitów, Saturn posiada także duże księżyce. Jednym z najbardziej niezwykłych jest Tytan, drugi pod względem wielkości księżyc w Układzie Słonecznym. Tytan jest zbudowany głównie ze skał zamrożonych w lodzie. Panuje na nim temperatura - 200 °C. Tym, co szczególnie wyróżnia go spośród innych obiektów jest atmosfera o ciśnieniu bardzo zbliżonym do 1 atmosfery, a także obecność w niej dużych ilości azotu i innych związków chemicznych, w tym cyjanowodoru. Obecna teoria powstania życia głosi, że cyjanowodor jest jednym z najważniejszych związków, które umożliwiły tworzenie się życia na Ziemi.

## 5.9. Uran.

Uran jest siódmą od Słońca planetą Układu Słonecznego. Jego odległość od Słońca wynosi 2,8 mld km. Z racji tej odległości panują na nim bardzo niskie temperatury, najniższa wynosi  $-200^{\circ}\text{C}$ . To trzecia największa i czwarta najmasywniejsza planeta należąca również do grupy gazowych olbrzymów. Został odkryty przez Williama Herschela w 1781r., choć wcześniej wielokrotnie obserwowany, uznawano go za gwiazdę. Mimo tego, że jest mniejszy od Jowisza i Saturna, to ma większą średnią gęstość w stosunku do nich. Podobnie jak one, także i Uran otoczony jest grubą warstwą atmosfery, w której skład wchodzi głównie hel i wodór. Piękny niebieski kolor w czasie obserwacji jest wynikiem dużej zawartości metanu w jego atmosferze.



**Fot. 47.** Dwa obrazy Urana wykonane w prawdziwych i sztucznych barwach dla podkreślenia szczegółów w atmosferze wykonane przez Voyagera 2. Na zdjęciu po lewej - tak wyglądałby Uran widziany przez człowieka z pokładu statku kosmicznego. źródło: NASA/JPL

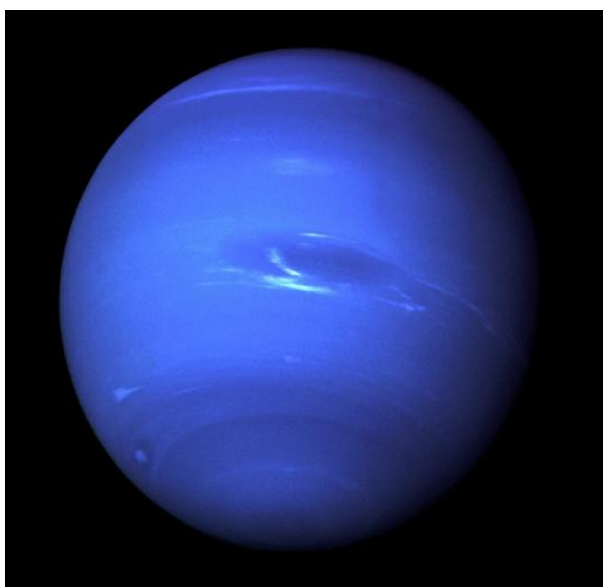
Dokładnie nie stwierdzono jaka jest jego budowa, ale przypuszcza się, że zbudowany jest on ze skalnego jądra otoczonego grubą warstwą lodu. Uran również otoczony jest pierścieniami, lecz nie są one dobrze widoczne, bowiem tworzy je głównie ciemny pył. Posiada on 27 znanych księżyców, z których prawie wszystkie poruszają się po wyjątkowo okrągłych orbitach. Pięć największych to: Miranda, Ariel, Umbriel, Tytania oraz Oberon. Uran jest niezwykłą planetą ze względu na oś obrotu, leży ona niemal w płaszczyźnie orbity. Istnieje opinia, że planetę tę można dostrzec gołym okiem, jednak jest to prawdą jedynie dla osób o szczególnie dobrym wzroku. Można go jednak z łatwością odnaleźć przy pomocy



prostego teleskopu, ponieważ charakteryzuje się on zielonkawą barwą i dobrze widoczną tarczą.

### 5.10. Neptun.

Neptun, ósmy w kolejności od Słońca, został odkryty w 1846 roku, po wcześniejszym matematycznym wyliczeniu jego przypuszczalnej pozycji. Do dziś trwa spór, kto powinien zostać uznany za odkrywcę Neptuna: John Couch Adams czy Urbain Le Verrier - obaj wyznaczyli matematycznie pozycję na niebie, czy może Johann Gottfried Galle, który na zlecenie Le Verriera wraz ze swym asystentem Heinrichem Louisem d'Arrest w Obserwatorium Berlińskim dostrzegł Neptuna 23 września 1846 roku.



**Fot. 48.** Neptun z sondy Voyager – 2 z 1989, NASA.

**Fot. 49.** Zdjęcie wykonane przez Voyagera 2 Neptuna i jego satelitę Trytona. źródło: Calvin J. Hamilton

Odległość Neptuna od Słońca wynosi 4,5 mld km. Jest on bardzo podobny do Urana pod względem wyglądu, koloru powierzchni, czy wielkości. W atmosferze unoszone są kryształki zestalonego metanu, tworzące szybko przesuwane się obłoki pędzące z prędkościami ponad 1000 km/h. Takie gwałtowne zmiany i ruchy w atmosferze można jedynie wytłumaczyć poprzez istnienie wewnętrznego źródła energii w środku planety. Elementem charakterystycznym planety jest wielka ciemna plama, której wielkość zbliżona jest do wielkości Ziemi. Tak jak w przypadku Wielkiej Czerwonej Plamy na Jowiszu, na Neptunie ta plama to gigantyczny cyklon wirujący z prędkością 600km/h. Neptun również



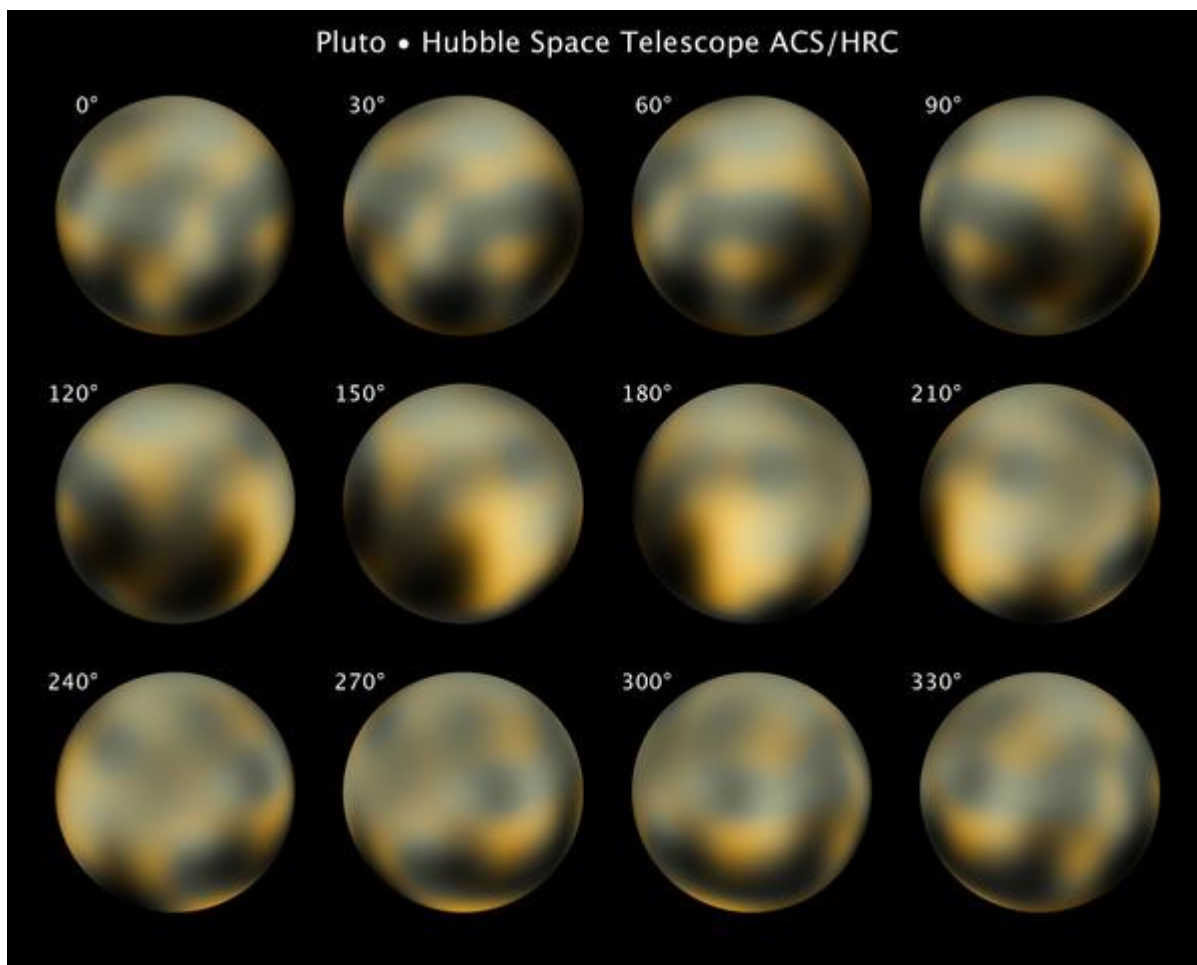
posiada system pierścieni, jednak są one słabo rozwinięte. Mają one dość skomplikowaną strukturę, a małe satelity krążące w pobliżu i oddziałujące na nie grawitacyjnie mają wpływ na ich wygląd. Pierścienie Neptuna są kolistymi łukami. Najbardziej zewnętrzny nazywany "pierścieniem Adamsa", składa się z trzech łuków, które nazwano: Wolność, Równość i Braterstwo.

Neptun posiada 13 znanych naturalnych satelitów. Największym z nich był odkryty przez Williama Lassella Tryton, 17 dni po odkryciu Neptuna. Tryton porusza się wokół planety centralnej w kierunku wstecznym niż jej ruch obrotowy. Inny z księżyców Neptuna – Nereida ma jedną z najbardziej unikalnych orbit wśród wszystkich księżyców w Układzie Słonecznym. Księżyc Nereida krąży ruchem prostym wokół Neptuna po bardzo mocno eliptycznej orbicie, perycentrum (najbliżej planety) księżyc oddalony jest od Neptuna na odległość 1,371.734 km, a apocentrum (najdalej od planety) księżyc ten znajduje się w odległości 9,655.066 km od Neptuna.

### **5.11. Pluton.**

Pluton do 24 sierpnia 2006 roku był 9 planetą w naszym Układzie Słonecznym. Jest bardzo zimny i ciemny, Słońce z Plutona wygląda jak jedna z jaśniejszych gwiazd. Pluton, w okresach swojego peryhelium, posiada rzadką atmosferę, jednak gdy oddala się od Słońca, jego atmosfera zamarza. Pluton obiega Słońce w 284,5 roku. Przez 20 lat z tego okresu Pluton znajduje się bliżej Słońca niż Neptun. Orbita Plutona jest zupełnie inaczej nachylona do płaszczyzny ekliptyki niż orbity innych planet, dlatego m.in. uznano go za dużą planetoidę. Maksymalne odchylenie Plutona od płaszczyzny ekliptyki wynosi ponad 1,25 mld kilometrów.

Pluton posiada jeden księżyc, Charon zbudowany ze skał zamrożonych w wodzie. Charon w stosunku do Plutona jest bardzo dużym satelitą – ma jedynie dwa razy mniejszą średnicę i zawiera około 12% masy układu Pluton – Charon. Dlatego też środek masy układu, który jest jednocześnie środkiem obrotu, jest położony poza Plutonem.



**Fot. 50.** Pluton, źródło: NASA.

Powyzsze fotografie zostaly zlozone ze zdjec zarejestrowanych przez Kosmiczny Teleskop Hubble'a w latach 2002-2003. Materiały te pozostają najdokładniejszym obrazem Plutona do lipca 2015, kiedy to sonda New Horizons dotrze do byłej planety i jej satelity – Charona.

## 6. Wszechświat.

Wszechświat jest większy, niż człowiek może sobie wyobrazić. Od początku istnienia interesował i pobudzał wyobraźnię. Człowiek starał się obserwować niebo i zastanawiał się, co tam jest? Z ciekawości tej rozwinęły się:

- astronomia, zajmująca się obserwacją Wszechświata,
- astrofizyka, która stara się wyjaśniać zjawiska spotykane we Wszechświecie,
- kosmologia, która bada genezę powstania Wszechświata.

Kosmos narodził się około 15 miliardów lat temu w wyniku gigantycznej eksplozji – Wielkiego Wybuchu. Był wówczas niewyobrażalnie gorący i wypełniony energią. Ulegając ciągłemu rozszerzaniu równocześnie stygł. W tym samym czasie tworzyły się atomy wodoru, który znacznie później skupił się w gęste obłoki, z czasem kształtując się w gwiazdy i galaktyki. Pojęciem Wszechświat określić można całą przestrzeń, wraz z wypełniającą ją energią, która przejawia się w postaci: materii, ciepła i światła. W nim właśnie znajduje się duża liczba różnych obiektów nazywanych ciałami niebieskimi. Należą do nich: planety, gwiazdy, komety, planetoidy. Elementy te mogą być rozproszone, lub zebrane w większe skupiska, takie jak galaktyki, gromady galaktyk i mgławice.

### 6.1. Gwiazdy.

Najbardziej charakterystycznymi obiektami kosmicznymi są gwiazdy - olbrzymie kuliste obiekty, składające się z gazu o bardzo wysokiej temperaturze i powstające na skutek kondensacji międzygwiazdowej. Czas ich życia oraz proces przeobrażeń zależą od pierwotnej masy i składu chemicznego materii, z której się uformowały. W ewolucji gwiazd wyróżnia się trzy zasadnicze etapy:

- formowanie się gwiazdy z kondensującego się obłoku materii do chwili zapoczątkowania reakcji termojądrowych w jej jądrze,
- stabilny czas przemiany wodoru w hel,
- przebiegające w różnych formach końcowe fazy ewolucji.

W przypadku wielu gwiazd obserwuje się wyraźne zmiany jasności. Najnowsze katalogi zawierają około 30000 gwiazd zmiennych. Ze względu na przyczyny powodujące zmiany jasności gwiazd, dzieli się je na kilka typów:

a) gwiazdy zaćmieniowe – w układzie dwóch gwiazd obiegających wspólny środek masy występuje wzajemne zaćmienia powodujące zmiany łącznej mocy promieniowania. Ponieważ te gwiazdy znajdują się blisko siebie, widoczne są jako jeden obiekt zmieniający swoją jasność.

b) gwiazdy pulsujące – zmieniają jasność w wyniku regularnych pulsacji – następującego naprzemiennie kurczenia i rozszerzania się gwiazdy, co powoduje zmiany temperatury powierzchni, a w konsekwencji mocy promieniowania. Wśród tych gwiazd wyróżniono:

- cefeidy – nazwane tak od gwiazdy  $\delta$  Cephei - są nadolbrzymami i odgrywają ważną rolę w wyznaczaniu odległości do galaktyk, okresy zmian jasności wynoszą 1-50 dni.
- gwiazdy typu RR Lyrae – olbrzymy o bardzo krótkich, mniejszych od jednej doby, okresach zmienności,
- gwiazdy typu Mira Ceti (miridy) – nadolbrzymy o znacznie dłuższych okresach zmian, około 80-1000 dni.

c) gwiazdy wybuchowe – charakteryzują się nieregularnymi zmianami jasności, wywołanymi erupcjami i wyrzucaniem części materii w przestrzeń międzygwiazdową. Należą do nich młode gwiazdy typu T Tauri uformowane z tej materii gwiazdy, w których nie ustaliła się jeszcze równowaga wewnętrzna oraz gwiazdy nowe uprzednio świecące bardzo słabo lub zupełnie niewidoczne, które nagle rozbłysły.

d) supernowe – zachodzą w nich specyficzne zmiany jasności, moc promieniowania może wzrosnąć nawet 100mln razy, osiągając chwilowo jasność całej galaktyki. Po osiągnięciu maksimum jej jasność bardzo powoli maleje. Wybuch termojądrowy obejmuje całą gwiazdę w czasie, którego większość materii zostaje rozrzucona z prędkością 10000km/s, a rozprzestrzeniający się gaz pozostaje widoczny nawet przez tysiące lat.

Tylko niespełna połowa obserwowanych gwiazd to, podobnie jak Słońce, gwiazdy pojedyncze. Ponad 50% należy do systemów składających się z dwóch lub więcej obiektów. Charakterystyczną cechą takich układów gwiazd jest wspólne pochodzenie. Prawdopodobnie powstały z tej samej materii i w tym samym czasie, a obserwowane różnice wynikają z innego tempa ewolucji, uzależnionego od pierwotnych mas poszczególnych składników układu. W zależności od wzajemnego położenia dwóch gwiazd i metod obserwacji mówimy o podwójnym układzie:

- wizualnym – dostrzegalne gołym okiem lub przez teleskop,
- spektroskopowym – stwierdza się na podstawie analizy widma,
- zaćmieniowy – orzeka się na podstawie pomiarów natężenia światła.

Układy składające się z wielu gwiazd nazywa się gromadami, które dzieli się na otwarte i kuliste. Najmniejszymi ugrupowaniami są asocjacje gwiazdowe, składające się z kilkudziesięciu bardzo młodych i gorących gwiazd. Uwidacznia się w nich duża liczba gwiazd zmiennych. Wszystkie cechy asocjacji świadczą, że zostały utworzone niedawno. W skład gromad otwartych wchodzi od kilkudziesięciu do kilkuset gwiazd, bez wyraźnie zaznaczonego zgrupowania centralnego. Gwiazdy te mają zwykle zbliżone prędkości radialne i ruchy własne. Zawierają one stosunkowo dużo pierwiastków ciężkich. Typowymi przykładami są Plejady i Hiady w gwiazdozbiore Byka. Gromady kuliste zawierają 100 tysięcy i więcej gwiazd rozłożonych sferycznie, z wyraźnym centralnym zagęszczeniem. W gwiazdach tych znajduje się mniej niż 0,1% pierwiastków ciężkich.



**Fot. 51.** NGC 3603, gromada otwarta znajdująca się w gwiazdozbiore Kila, źródło: AAO.



**Fot. 52.** Messier 80 (M80, NGC 6093) to gromada kulista w gwiazdozbiore Skorpiona, AAO.

Gwiazdozbiór – konstelacja, to grupa gwiazd zajmujących pewien obszar nieba. Zazwyczaj gwiazdy te połączono w symboliczne kształty i nadano im nazwę pochodzącą z mitologii. Gwiazdy tworzące gwiazdozbiór nie są ze sobą zazwyczaj fizycznie związane, a ich bliskie położenie na niebie jest wywołane geometrycznym efektem rzutowania ich położenia na sferę niebieską. Obserwując ruch planet i Księżycy starożytni zauważyli, że

poruszają się one w obrębie wąskiego pasa tworzącego na niebie okrąg. Na przebycie tego okręgu potrzebują one roku. Pas ten, nazwany Zodiakiem, podzielono na 12 równych części, którym nadano nazwy znajdujących się w nich gwiazdozbiorów. W XVII i XVIII w. dalsze gwiazdozbiory wyodrębnili m.in. J. Kepler, E. Halley, J. Heweliusz oraz N.L. de Lacaille, P. Le Monnier i J. Bode. W początkach XIX w. wyodrębniano kolejne konstelacje i liczba ich przekroczyła 100. Tradycyjne granice gwiazdozbiorów ulegały z czasem znacznym zmianom. W 1925 Międzynarodowa Unia Astronomiczna ustaliła ostatecznie istnienie i granice 88 konstelacji. Ludzie mieszkający na równiku mogą, dzięki obrotowi Ziemi, w przeciągu roku zobaczyć wszystkie gwiazdozbiory. Jednak ci żyjący na półkuli północnej czy południowej widzą przez cały rok tylko część nieba.

Każda gwiazda kończy kiedyś swoje życie. Zależnie od jej masy, śmierć gwiazdy może mieć różny przebieg. Gwiazdy typu Słońca, o masie od 1 do 4 mas Słońca, powoli wypalają wodór. Po wykończeniu paliwa na reakcje termojądrowe wewnątrz gwiazdy zaczyna się zapadać, a jej zewnętrzne warstwy ulegają rozdęciu. Gwiazda świeci w tym stadium na czerwono, dlatego jest nazywana czerwonym olbrzymem. Nadal następuje proces zapadania się jądra gwiazdy, aż temperatura sięga 100 miliardów K. W tak olbrzymich temperaturach możliwa jest synteza cięższych pierwiastków, zwłaszcza węgla, z wodoru i helu. Proces syntezy trwa kilkaset milionów lat, po czym następuje gwałtowne wyrzucenie przez gwiazdę swojej otoczki. Przekształca się ona w białego karła, utworzonego ze zdegenerowanego gazu elektronów poruszającego się pomiędzy jądrami atomowymi. Białe karły mają olbrzymią gęstość i stopniowo wygasają, aż w końcu stają się czarnym karłem – zimnym ciałem niebieskim, o średnicy zbliżonej do średnicy Ziemi.

Inaczej żyją duże gwiazdy, o masie od 4 do 8 mas Słońca. Zaraz po utworzeniu są one bardzo gorące i świecą niezwykle jasno. Temperatura na ich powierzchni jest tak wysoka, że proces spalania całego wodoru z jądra trwa 100 milionów lat. Następnie gwiazda staje się czerwonym olbrzymem, którego temperatura sięga kilkuset miliardów K. W tak wysokich temperaturach następuje synteza ciężkich pierwiastków. Gwiazda wciąż powiększa swoją objętość, aż staje się kilkadziesiąt razy większa i nazywana jest wtedy nadolbrzymem. Gdy synteza jądrowa ulega zakończeniu, następuje gwałtowne zapadnięcie się gwiazdy i wyzwolenie tak olbrzymiej energii, że jądro gwiazdy ulega rozsadzeniu. Jej intensywność świecenia wzrasta na chwilę setki razy. Taki wybuch jest nazywany wybuchem supernowej.



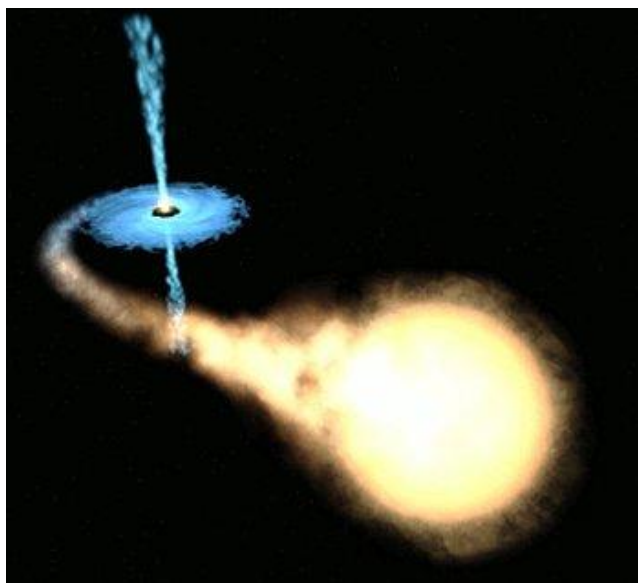
**Fot. 53.** Supernowa dostrzeżona w 1987 roku w Wielkim Obłoku Magellana, autor: D. Malin, R. Sharples, AAO.

Reszta gwiazdy, która nie uległa rozproszeniu w wybuchu, zapada się gwałtownie do obiektu o średnicy kilkunastu kilometrów i ogromnej gęstości. Taki obiekt jest nazywany gwiazdą neutronową, ponieważ składa się praktycznie z samych neutronów powstałych podczas wybuchu. Gwiazda neutronowa ma temperaturę kilku milionów K, i bardzo szybko rotuje wokół własnej osi. Podobnie do gwiazd opisanych powyżej żyją gwiazdy, których masa przekracza 8 mas Słońca. Gwiazdy te dochodzą do etapu wybuchu supernowej, jednak ich wybuch jest o wiele silniejszy. Bardzo często zdarza się, że po wybuchu nie pozostaje nic z jądra gwiazdy – zostaje ono całkowicie rozerwane. Jeżeli jednak przetrwa jądro o wielkości około 3 razy większej od Słońca, to zapadając się staje się tak gęste, że tworzy czarną dziurę.

## **6.2. Czarna dziura.**

Obiekty te otrzymały swą nazwę od Johna Archibalda Wheelera. To podstawowe składniki bardziej złożonych obiektów astronomicznych, takich jak niektóre rentgenowskie układy podwójne, rozbłyski gamma oraz aktywne galaktyki. Czarna dziura będąca składnikiem układu podwójnego jest widoczna, ponieważ materia z drugiej gwiazdy wsysana do wnętrza czarnej dziury tworzy dysk akrecyjny generujący ogromne ilości promieniowania na skutek tarcia, jonizacji i silnego przyspieszenia podczas zbliżania się do czarnej dziury. Masywne czarne dziury w centrach aktywnych galaktyk powodują w nich silne świecenie, skutkiem opadania otaczającej materii, i dlatego obiekty zawierające czarne dziury należą do najjaśniejszych we Wszechświecie. Czarna dziura tak silnie oddziałuje grawitacyjnie na swoje otoczenie, że nawet światło nie może uciec z jego powierzchni.





**Rys.15.** Czarna dziura w konstelacji Smoka, źródło: magazyn „Science”.

W ramach fizyki klasycznej żaden rodzaj energii ani materii nie może opuścić czarnej dziury, jednak uwzględniając efekty kwantowe postuluje się istnienie zjawiska zwanego parowaniem czarnych dziur. Granica, po przejściu której nie jest możliwe wyrwanie się z pola grawitacyjnego czarnej dziury, nazywana jest horyzontem zdarzeń. Czarne dziury mogą mieć różne rozmiary. Ogólnie ich rozmiar zależy od ich masy. Wśród czarnych dziur można wyróżnić trzy rodzaje. Pierwszym z nich są gwiazdowe czarne dziury, kilkaset tysięcy razy mniejsze od gwiazd i ważące do kilku mas gwiazdy. Znacznie większe od nich są supermasywne czarne dziury, znajdujące się na przykład w jądrach galaktyk. Takie czarne dziury mają masy przekraczające miliardy mas Słońca. Ich promień jest większy niż promień orbity Jowisza. We wszechświecie występują także pierwotne czarne dziury, o rozmiarach setnych części milimetra. Powstały one w pierwotnych etapach tworzenia się Wszechświata, jako wynik panujących w niektórych miejscach specyficznych warunków. Masa takich czarnych dziur jest równa w przybliżeniu kilku masom Księżyca. Powszechnie mówi się o tym, że czarne dziury, w wyniku olbrzymiej siły grawitacji, powodują zakrzywienie czasoprzestrzeni. Bardzo trudno jest sobie wyobrazić to zjawisko, ponieważ rozumiemy przestrzeń nie jako jakąś matematyczną funkcję, ale jako "powietrze". Zakrzywienie czasoprzestrzeni powoduje, że prawdopodobnie w pobliżu czarnych dziur możliwe jest inne odczuwanie upływu czasu. Jeżeli teoretyczny obserwator znajdowałby się nieruchomy w pobliżu czarnej dziury, nie odczuwałby żadnego upływu czasu – zegar praktycznie by stanął, natomiast odczuwałby działającą na niego miazdzącą siłę grawitacji. Jeżeli jednak



poruszałby się swobodnie, kierowany siłą grawitacji czarnej dziury, to czas upływałby mu tak samo jak na Ziemi – nie zauważyłby żadnej zmiany.

### 6.3. Galaktyki.

Galaktyka to układ gwiazd i materii międzygwiazdowej, jest największym związanym grawitacyjnie systemem gwiazd występującym we Wszechświecie. Na podstawie budowy wyróżnia się cztery zasadnicze typy galaktyk: spiralne, eliptyczne, soczewkowane i nieregularne. Galaktyki o bardzo małej jasności i małych rozmiarach liniowych nazywane są galaktykami karłowatymi niezależnie od ich budowy. Być może istnieje ciągłe przejście między skrajnymi galaktykami karłowatymi a gromadami kulistymi. Najśłabsze galaktyki można obserwować jedynie w niedużych odległościach, praktycznie tylko w Układzie Lokalnym. Właśnie takie galaktyki są najbliższej położone od Drogi Mlecznej.

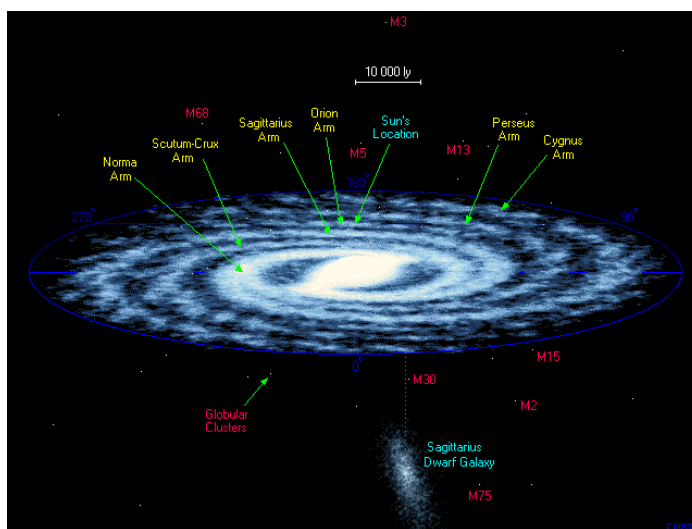
Galaktyki spiralne to galaktyki które składają się z jądra i ramion. Na ogół mamy do czynienia z dwoma ramionami. Wszystkie ramiona leżą w jednej płaszczyźnie, którą nazywamy dyskiem galaktycznym.



**Fot. 54.** Wielka Mgławica w Andromedzie (M31) jest galaktyką spiralną typu SB. Towarzyszą jej dwie karłowate galaktyki eliptyczne: M32 (typ E2; u góry z lewej) i M110 (typ E5; u dołu z prawej). NASA.

Istnieją dwie rodziny galaktyk spiralnych: galaktyki spiralne zwykłe (oznaczenie S) i galaktyki spiralne z poprzeczką (oznaczenie SB), w której występuje ledwo widoczne jądro. Dzielimy je również, ze względu na stosunek wielkości ramion do jądra. Gdy jądro jest wyraźnie dużo większe od ramion, to jest to galaktyka typu „a”. Jeżeli ramiona są trochę większe to jest to galaktyka typu „b”, potem mamy typ „c”, aż wreszcie dochodzimy do ostatniego rodzaju „d”. Galaktyki spiralne typu „d” to galaktyki, w których jądro jest stosunkowo bardzo małe w porównaniu z ramionami. Ponad 60% galaktyk to galaktyki

spiralne. W środku galaktyk bardzo często znajduje się masywna czarna dziura o masie milionów mas Słońca. Nasza galaktyka zwana Drogą Mleczną jest najprawdopodobniej galaktyką spiralną z poprzeczką typu Sb zawierającą ponad 100 mld gwiazd. Jądro zawiera około 75% masy całej Galaktyki, a w środku znajduje się najprawdopodobniej masywna czarna dziura. Kształt i budowę Drogi Mlecznej znamy gorzej niż sąsiednich galaktyk, bowiem większość obiektów przesłania materia galaktyczna i nie możemy ich bezpośrednio zobaczyć. Obserwacje radiowe obłoków wodoru neutralnego wykazują istnienie w Galaktyce ramion spiralnych. Widać je również w zakresie optycznym. Słońce znajduje się na skraju Galaktyki w ramieniu Oriona.



**Rys. 16.** Wszechświat w odległości 50000 lat świetlnych. Droga Mleczna, źródło: wszechswiat.astrowww.pl

Galaktyki eliptyczne są to galaktyki o symetrii kulistej lub elipsoidalnej (oznacza się je literą E i podając stopień spłaszczenia od 1 do 7). Jasność powierzchniowa galaktyki eliptycznej jest największa w środku i zmniejsza się stopniowo na zewnątrz. W galaktykach tych nie występuje w zauważalnych ilościach pył i gaz. Cała widoczna materia jest skupiona w starych gwiazdach. Powstały one zapewne w krótkim okresie w początkowych etapach formowania się galaktyki. Rozmiary i masy galaktyki mieszczą się w bardzo szerokich granicach: od 0,1 miliarda mas Słońca do 10 000 miliardów mas Słońca. największymi galaktykami eliptycznymi są gigantyczne galaktyki cD o masie 10 000 miliardów mas Słońca. Występują najczęściej one w centralnych obszarach bogatych gromad galaktyk. Taka galaktyka znajduje się w centrum gromady w Warkoczu Bereniki, która jest środkiem supergromady.



**Fot. 55.** NGC 4438 i NGC 4435 – Galaktyka eliptyczna – Markariana, nazywa się je też czasem Oczami, źródło: <http://rdelsol.com>.



**Fot. 56.** Galaktyka soczewkowata NGC 5866, źródło: <http://imgsrc.hubblesite.org/>

Galaktyki soczewkowate to typ pośredni między eliptycznymi a spiralnymi (oznaczenie S0). Jądro jest podobne do silnie spłaszczonej galaktyki eliptycznej, natomiast wokół znajduje się dysk ale bez żadnych śladów struktury spiralnej. Galaktyki te nie zawierają młodych gwiazd ani materii międzygwiazdnej, co jest typowe dla galaktyk eliptycznych.

Galaktyki nieregularne to galaktyki o osobliwym wyglądzie, nie wykazujące symetrii charakterystycznych dla galaktyk eliptycznych i spiralnych. Dzielimy je na dwa typy:

- Irr I – zaliczane obecnie do skrajnych odmian galaktyk spiralnych, gdyż mają z nimi wiele cech wspólnych: wirują wokół własnych osi, wykazują silne spłaszczenie i ślady struktury spiralnej. Odróżnia je natomiast to, że ma w nich jądra i ramion. Przykładem typu Irr I jest Wielki Obłok Magellana z gwiazdozbioru Złotej Ryby, jedna z najbliższych nam galaktyk.

- Irr II – są zupełnie nieregularne, charakteryzuje je bezkształtny wygląd, niewielkie rozmiary i spore jasności powierzchniowe. W galaktykach tego rodzaju znajduje się także dużo młodych gwiazd, przykładem typu Irr II jest galaktyka M82.

Galaktyki podwójne to dwie galaktyki które krążą wokół wspólnego środka masy. Lecz galaktyka podwójna może znajdować się w większym skupisku, np. w grupie galaktyk. Z tym zastrzeżeniem, że odległość pomiędzy tymi dwoma galaktykami musi być znacznie większa od ich odległości od innych galaktyk. Obie galaktyki składające się na ten obiekt są

w przeważającej ilości galaktykami tego samego typu, to znaczy albo obie są spiralne, albo obie są eliptyczne. Grupa galaktyk to co najmniej trzy galaktyki, które działają na siebie grawitacyjnie przez okres co najmniej miliarda lat. Grupy galaktyk są dosyć powszechnym zjawiskiem. Droga Mleczna także należy do grupy galaktyk, która nazywa się Układem Lokalnym. Spis i rozmieszczenie galaktyk wchodzących w skład Układu Lokalnego znajduje się na stronie: [www.wszechswiat.astrowww.pl](http://www.wszechswiat.astrowww.pl). Gromada galaktyk jest po prostu wyjątkowo liczną grupą galaktyk. Mogą one zawierać od kilkudziesięciu do wielu tysięcy galaktyk. Najogólniej gromady galaktyk można podzielić na dwie klasy:

- gromady galaktyk regularne, o skoncentrowanym rozkładzie galaktyk, bez struktury wewnętrznej, występują w nich jedynie galaktyki eliptyczne i soczewkowate, masy wynoszą około  $10^{14}$  -  $10^{15}$  mas Słońca,
- nieregularne - często bez wyraźnego środka lub z kilkoma lokalnymi zagęszczeniami, o mniejszych masach niż  $10^{14}$ , tutaj mamy do czynienia zarówno z galaktykami eliptycznymi, soczewkowymi, jak i spiralnymi.



**Fot. 57.** Gromada regularna galaktyk Warkocza w Pannie, Bereniki, źródło: NOAO.

**Fot. 58.** Gromada nieregularna galaktyk w Pannie, autor: R. B. Andreo.

Supergromady galaktyk (supergalaktyki) są to struktury nieregularne, na ogół wydłużone lub spłaszczone, składające się przeważnie z kilku lub kilkunastu dużych gromad galaktyk. Nie stanowią one układów silnie związanych grawitacyjnie, jednakże obserwuje się wzajemne oddziaływanie sąsiednich galaktyk. Dotychczas wyodrębniono kilkanaście

supergromad galaktyk. Układ Lokalny galaktyk, w skład którego wchodzi Droga Mleczna jest częścią Supergromady Lokalnej. Centrum tej supergalaktyki znajduje się w Gromadzie Galaktyk w Pannie, gdzie znajduje się zagęszczenie gromad galaktyk. Lokalna Grupa Galaktyk znajduje się na peryferiach Supergalaktyki Lokalnej.

#### **6.4. Materia międzygwiazdowa.**

Poznając budowę galaktyki stwierdzono, że chociaż materia galaktyczna skupiona jest głównie w gwiazdach, to pewna jej część rozproszona jest w przestrzeni międzygwiazdowej w postaci gazów i pyłów. O materii rozproszonej wiadomo stosunkowo niewiele, ponieważ badanie jej właściwości, ze względu na zbyt małą gęstość, jest bardzo utrudnione. Wiadomo, że jest to materia, z której utworzyły się i nadal powstają gwiazdy. Materia międzygwiazdowa składa się głównie z gazów i występuje w postaci obłoków. Gaz jest również obecny między obłokami, ale znacznie rozrzedzony. Zależnie od miejsca jakie zajmuje w przestrzeni, występuje w postaci atomów, jonów, swobodnych elektronów i molekuł. Gaz międzygwiazdowy to przede wszystkim wodór, ale także i hel. Inne pierwiastki występują w ilościach znacznie mniejszych, jednak mają bardzo istotne znaczenie dla formowania się gwiazd i planet. Oprócz gazu składnikiem materii międzygwiazdowej jest również pył, który mimo niewielkich rozmiarów i gęstości przestrzennej odgrywa ważną rolę. Przez chmurę pyłu przechodzi promieniowanie gwiazd, które ulega rozproszeniu na jego ziarenkach. W rezultacie pojawiają się dwa efekty o dużym znaczeniu dla obserwacji:

- ekstynkcja – osłabienie jasności gwiazdy w skutek rozpraszania i pochłaniania jej światła,
- poczerwienienie – w skutek rozproszenia światła niebieskiego gwiazdy wydają się bardziej czerwone, niż wynika to z ich widma.

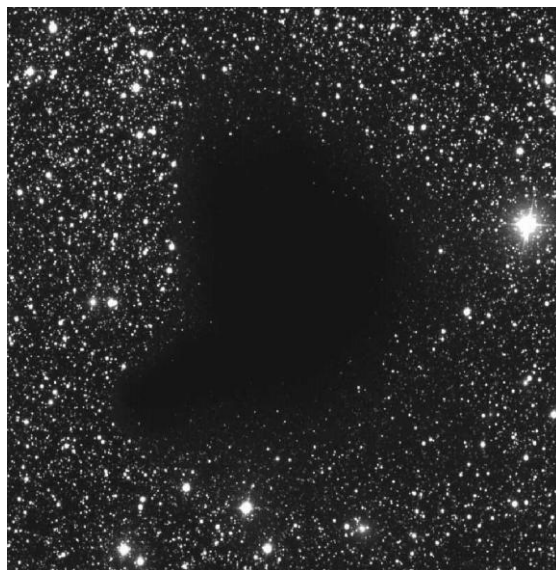
Mgławice to obłoki gazu i pyłu międzygwiazdowego lub bardzo rozległe otoczki gwiazd. W przestrzeni kosmicznej liczne są niewidoczne obłoki gazu możliwe do wykrycia tylko dzięki analizie ich widma w niewidzialnych dla oka zakresach. Ośrodek międzygwiazdowy gromadzi się w spiralnych ramionach galaktyk i jest w ciągłym ruchu. Jego tworzywo stanowią w 99% wodór i hel, zaś reszta to inne gazy oraz pył. Do mgławic



należą także obłoki molekularne składające się głównie z wodoru dwuatomowego  $H_2$  i tlenku węgla CO o temperaturze około 10 K.



**Fot. 59.** Kolumny zimnego wodoru międzygwiazdowego i pyłu w galaktyce M16. Zdjęcie wykonane za pomocą Teleskopu Kosmicznego Hubble'a, NASA.



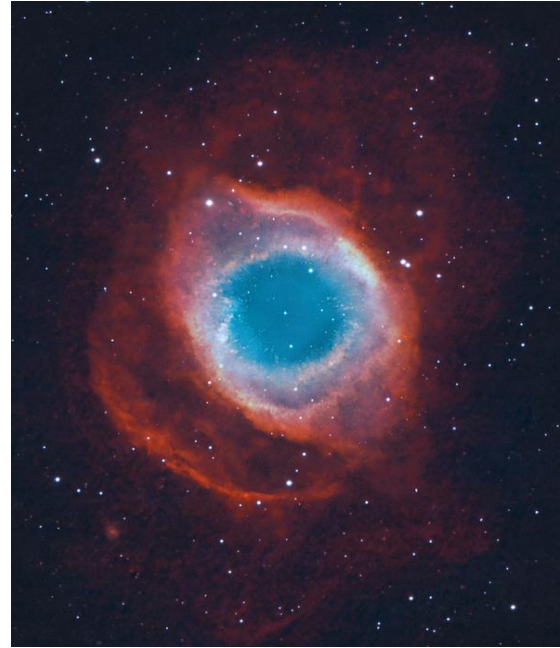
**Fot. 60.** Ciemny obłok w gwiazdozbiornie Wężownika, znany jako Barnard 68, źródło: <http://orion.pta.edu.pl>.

Znane są następujące typy mgławic:

- ciemne – całkowicie pochłaniające światło widzialne i nadfiolet – miejsce powstawania gwiazd,
- refleksyjne – o słabym blasku pochodzącym od odbitego i rozproszonego światła gwiazd,
- emisyjne – jasne, gdzie gaz ogrzewany jest do ok. 10000 K przez promieniowanie pobliskich gorących gwiazd,
- planetarne – zewnętrzne warstwy umarłej gwiazdy ogrzewane przez znajdującego się w ich wnętrzu białego karła.



**Fot. 61.** Gwiazda V391 Velorum rozświetla jedną stronę mgławicy emisyjnej Gum 19 z gwiazdozbioru Żagla, źródło: SOFI - ESO.



**Fot. 62.** Mgławica planetarna Helix NGC 7293, autor: D. Malin, AAO.

### 6.5. Małe obiekty Kosmosu.

Jednymi z ciekawszych obiektów we Wszechświecie są komety. Według obecnej wiedzy kometa jest to bryła złożona z odłamków skalnych, zamrożonych w mieszaninie lodu, metanu, amoniaku, dwutlenku węgla oraz innych gazów. Żartobliwie nazywa się komety "brudnymi kulami śniegowymi". Większość zdjęć przedstawia komety jako ognistą kulę, zostawiającą za sobą ogon. Jak zamrożona kula może „płonąć”? Odpowiedź jest prosta: w miarę zbliżania się do Słońca rośnie temperatura komety. Część zamrożonych gazów paruje, w wyniku czego część pyłu z komety zostaje uwolniona. Ta odparowana materia tworzy właśnie "komę" – świecąca otoczkę wokół zamrożonego jądra komety. Jest to coś w rodzaju atmosfery. Średnica komy może być różna, czasami osiąga nawet do miliona kilometrów. Całość komety składa się z głowy, a więc jej jądra i komy, oraz z warkocza. Warkocz komety powstaje w wyniku oddziaływania komety z wiatrem słonecznym, który powoduje wydmuchiwanie części materii z komy. Kierunek ułożenia warkocza nie jest wcale przeciwny do kierunku poruszania się komety, tak jak na przykład spalin z rakiety. Ostatnio okazało się, że kometa ma jeszcze jedną część. Jest to otoczka wodorowa wokół jądra, która sięga nawet 50 mln km. Podczas każdego przejścia w pobliżu Słońca, kometa traci część



swojej masy. Po kilkudziesięciu zbliżeniach do Słońca, kometa traci niemal całą swoją materię i rozprasza się. Średni czas życia komet wynosi 100 zbliżeń z gwiazdą. Jednym z najbardziej spektakularnych zjawisk obserwowanych przez astronomów był rozpad komety odkrytej przez Wilhelma Biela w 1826 roku. Kometa ta w 1845 roku, podczas zbliżenia do Słońca, początkowo zmieniła swój kształt, a następnie całkowicie rozpadła się. Prawdopodobnie najśłynniejszą z komet w Układzie Słonecznym jest kometa Halleya obserwowana w 1682 roku. Halley obliczył tor komety i okres jej obiegu dookoła Słońca. Przewidział, iż ponownie pojawi się w 1751 roku. Był to pierwszy raz, kiedy odkryto, że komety krążą po orbitach dookoła Słońca. Okres obiegu komety Halleya wynosi 76,2 lat. Ostatni raz, kiedy zbliżyła się ona do Ziemi, miał miejsce w 1986 roku. Już wtedy kometa była znacznie mniej jasna niż podczas poprzednich zbliżeń. Komety podczas swojej wędrówki mogą przypadkowo przelecieć w pobliżu większego od siebie obiektu, takiego jak duża planeta. Oddziaływanie grawitacyjne powoduje zakrzywienie toru lotu komety, tak, że zaczyna ona obiegać Słońce po coraz ciaśniejszej orbicie. Możliwa jest także sytuacja, że kometa na swojej drodze przetnie się z planetą. Dochodzi wtedy do zderzenia, w którym kometa ginie.



**Fot. 63.** Kometa Halleya w 1910r. Zdjęcie przetworzone przez Obserwatorium Kitt Peak, sztuczne kolory oddają poziomy jasności, źródło: NOAO.



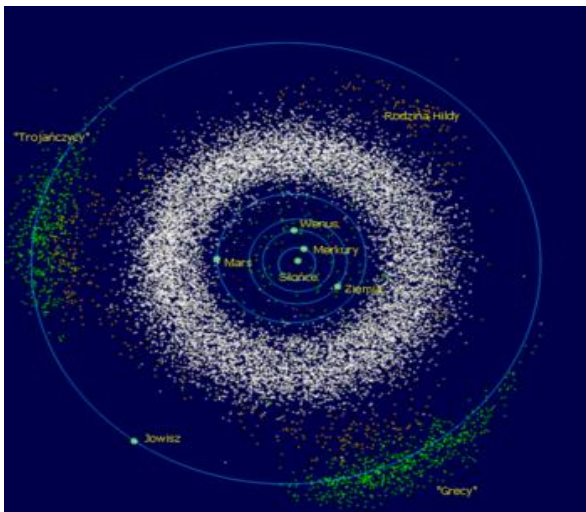
**Fot. 64.** Dwa warkocze komety Westa, źródło: Observatoire de Haute Provence.

Planetoida, zwana także asteroidą, bądź planetką, jest małym ciałem niebieskim stanowiącym część systemu planetarnego, okrążającym swe słońce. Gabarytowo, planetoida

mieści się pomiędzy meteoroidem a planetą. Ze względu na skład chemiczny materii z której są zbudowane planetoidy mamy kilka typów, niektóre – ważniejsze tylko, to:

- C – węgliste o bardzo ciemnych powierzchniach,
- S – zbudowane z krzemianów żelaza i magnezu,
- M – zbudowane z żelaza i niklu.

W Układzie słonecznym pomiędzy orbitami Marsa i Jowisza występuje pas planetoid, zwany też głównym pasem planetoid. Obejmuje on 95% poznanych planetoid należących do tego układu planetarnego. Największą planetoidą pasa jest Ceres o średnicy około 1000 km. Inne duże planetoida tego pasa, to: Pallas – średnica 565 km, Westa – średnica 533 km, Psyche – średnica 249 km i Juno – średnica 244 km. Masa wszystkich obiektów w pasie planetoid wynosi około  $2,3 \times 10^{21}$  kg, z czego ponad 30% przypada na Ceres. Była to pierwsza odkryta planetoida. Pierwszą planetoidą, której uzyskano radiowy obraz była natomiast Kastalia. W sierpniu 1989 roku przelatywała ona blisko Ziemi, co pozwoliło odbić od niej wiązkę fal radiowych.



**Rys. 17.** Pas planetoid znajdujący się pomiędzy orbitami Marsa i Jowisza, autor: John Belushi



**Fot. 65.** Planetoida Ida sfotografowana przez sondę kosmiczną Galileo. Zdjęcie odkryło księżyc planetoidy – Daktyl, NASA/JPL.

Jednak najwięcej danych o planetoidach uzyskano w wyniku badania ich licznymi sondami, jakie wysłane zostały w ich pobliże. Oprócz omówionego pasa planetoid w obrębie Układu Słonecznego występują też inne skupiska tych ciał niebieskich. Zgrupowania planetoid zwane

Trojanami i Grekami odkryto na orbicie Jowisza, zaś Centaury krążą po orbicie między Saturnem a Uranem. W 1992 roku, po kilku latach poszukiwań, David Jewitt i Jane Luu odkryli pierwszą planetoidę należącą do tak zwanego Pasa Kuipera. Największym przedstawicielem tego pasa jest Pluton.

Innymi obiektami w Układzie Słonecznym, znacznie mniej ciekawymi, choć niosącymi ze sobą dużo ciekawych informacji, są meteoryty oraz meteory. Obiekty te poruszają się w przestrzeni międzyplanetarnej, pomiędzy pyłem i gazami. Cząsteczki pyłu o średnicy nie przekraczającej 5 mm nazywane są meteoroidami. Można je obserwować, gdy "spalają" się wchodząc w atmosferę Ziemi z dużą prędkością, przekraczającą 30 km/s. Proces świecenia jest wynikiem parowania meteoroidów w wyniku ogrzewania ich przez zderzenia z cząsteczkami gazów atmosferycznych. Odparowane cząsteczki zderzają się z innymi, i tak wokół meteoroidu powstaje smuga światła. Naukowo taki świecący obiekt jest nazywany meteorem, a potocznie nazywa się takie zjawiska spadającymi gwiazdami, choć oczywiście z gwiazdami nie mają one wiele wspólnego. Meteory mogą zostać utworzone nawet przez obiekty o masie nie przekraczającej grama. Oczywiście tak małe drobiny pyłu całkowicie wyparowują w atmosferze. Większe fragmenty mogą jednak przynajmniej częściowo przedostać się przez atmosferę i spaść na ziemię. Meteory są powszechnym zjawiskiem, każdej godziny na niebie pojawia się ich około 10. Są one pozostałościami po wygasłych albo jeszcze krążących kometach. Ziemia czasem przecina taki obszar, i wówczas można zaobserwować nadzwyczajną aktywność meteorów – rój meteorów. Ponieważ roje meteorów występują w określonych miejscach, otrzymały one swoje nazwy, pochodzące od gwiazdozbiorów, na których tle obserwuje się rój. Są na przykład roje Perseidy (od gwiazdozbioru Perseusza), które Ziemia przecina 11 sierpnia, oraz Leonidy (od gwiazdozbioru Lwa), w które Ziemia wchodzi 17 listopada. Czasami zdarza się jednak, że w Ziemię trafi nieco większy obiekt, o masie ponad 1 kg; te nazywane są bolidami, czyli kulami ognistymi. Bolidy nie odparowują w atmosferze całkowicie, i przedostają się do powierzchni Ziemi. Taki obiekt, który uderzy w ziemię, nie jest już meteorem, ale meteorytem. Czasami zdarza się, że meteorytów jest tak dużo, że przybierają one postać deszczu meteorytów. Zdarzenia takie były obserwowane na przykład w 1803 roku we Francji, kiedy spadło około 2000 meteorytów, oraz w 1868 roku, gdy w okolicach Pułtuska spadło ponad 10 000 meteorytów. W 1914 roku w Arizonie w wyniku deszczu meteorytów uderzyło w Ziemię ponad 14 000 obiektów.

## 7. Obserwacje nieba.

Prawie codziennie każdy z nas spogląda na niebo. Kierujemy nasz wzrok ku górze zazwyczaj w tym celu, aby stwierdzić, czy jest pogodnie, czy też pochmurno, czy dzień będzie słoneczny, czy też spadnie deszcz. Po zmierzchu funkcję Słońca przejmują Księżyc, planety i gwiazdy. Ciesząc się, że niebo jest bezchmurne, spojrzeniem i myślą sięgamy wtedy dalej. W takich chwilach jakoś mimowolnie uświadamiamy sobie, że także my należymy do świata gwiazd, jesteśmy jego częścią, a Ziemia jest tylko małym punkcikiem wśród niezliczonej ilości gwiazd, niezmierzonej przestrzeni kosmosu. Należymy do tego świata, dlatego każdy z nas powinien poznać, choćby fragmentarycznie, jego część. Niebo jest dostępne dla każdego i możemy bez jakichkolwiek środków pomocniczych – jedynie za pomocą naszego wzroku – dostrzec na nim wiele ciekawych obiektów i zjawisk. Jednocześnie, dostarcza nam ono wielu bogatych doznań estetycznych, połączonych z uczuciem satysfakcji, że te ogromne, bezkresne przestrzenie może poznawać każdy z nas.

### 7.1. Mapa nieba.

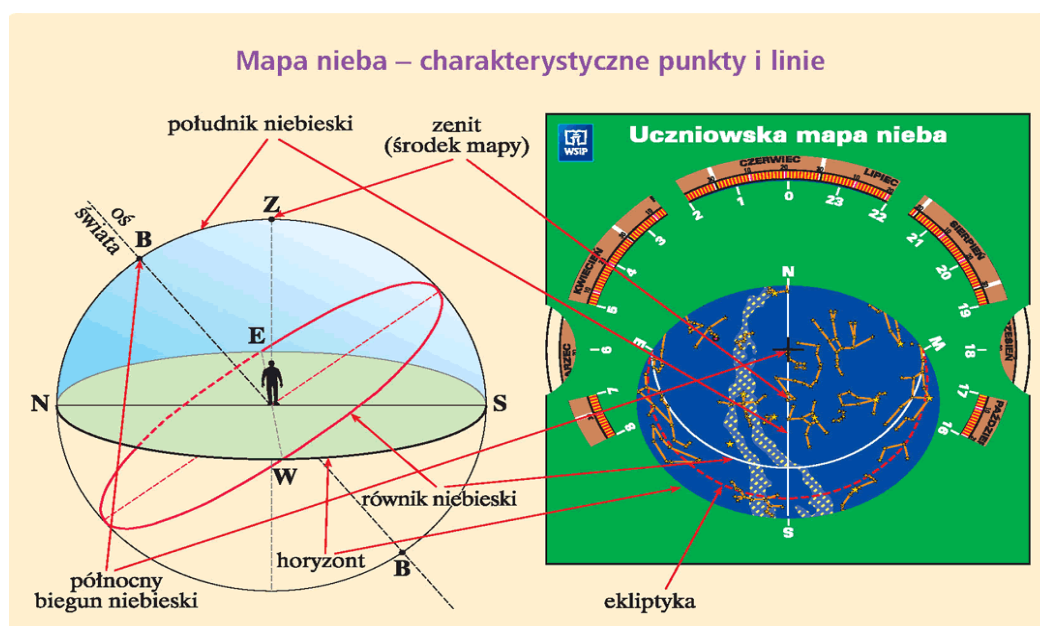
Mimo że tak często patrzymy na niebo, nie znamy go zbyt dobrze. Trudność poznawania jest związana między innymi z tym, że obraz nieba nieustannie się zmienia. Niektóre ciała niebieskie każdy potrafi odszukać na niebie. Jeśli usłyszy polecenie: "Odszukaj gwiazdę Mizar, środkową gwiazdę w dyszlu Wielkiego Wozu..", wykona je bez trudu. Jednak nie ze wszystkimi obiektami każdy poradzi sobie tak łatwo – nie zawsze widzi wystarczająco dużo gwiazd, aby rozpoznać gwiazdozbiór, nie zawsze wie, gdzie go szukać. Do wyszukiwania obiektów na niebie wygodnie jest posługiwać się mapą nieba. Na mapie nieba, podobnie jak na planach miast i mapach terenu, zaznaczono obiekty, zachowując ich wzajemne położenia. Narysowano je na tle układu współrzędnych. Poznanie układu współrzędnych, stosowanego do określania położenia na niebie, pomaga w odszukiwaniu i rozpoznawaniu ciał niebieskich. Wybrać układ współrzędnych, to znaczy ustalić punkty oraz linie, względem których będziemy opisywać położenia ciał oraz przyjąć jednostkę, którą zastosujemy do określania odległości. Popatrzmy na niebo i wybierzmy te punkty i linie.

1. Otacza nas sfera niebieska, lecz widzimy tylko jej połowę, drugą przesłania płaszczyzna horyzontu.
2. Płaszczyznę horyzontu od sfery niebieskiej oddziela widnokrąg.

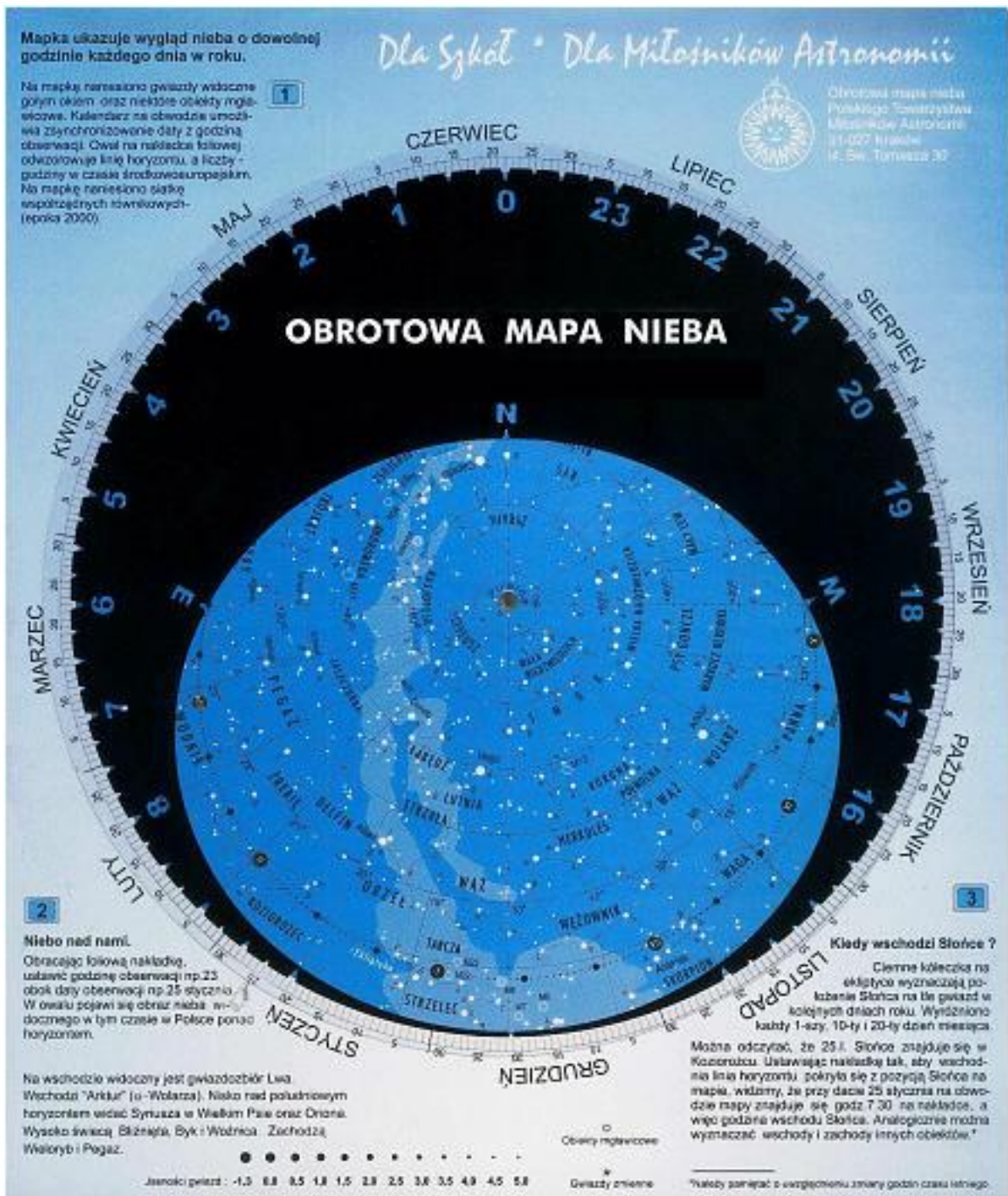
3. Wszystkie gwiazdy zakreślają łuki. Te łuki mają wspólny środek leżący w pobliżu Gwiazdy Polarnej, nazwanej gwiazdą biegunową, najjaśniejszej gwiazdy w gwiazdozbiorze Małej Niedźwiedzicy (Małego Wozu).
4. Ten punkt na niebie nazywamy północnym biegunem niebieskim. Biegun niebieski to pierwszy z charakterystycznych punktów na sferze niebieskiej.
5. Drugim charakterystycznym punktem na niebie jest zenit, czyli punkt znajdujący się najwyżej nad obserwatorem (patrz ramka).
6. Koło przechodzące przez zenit i biegun niebieski, a także przez obserwatora, to południk niebieski.
7. Południk niebieski przecina horyzont w punkcie północy N (pod Gwiazdą Polarną) i w punkcie południa S.
8. Prosta przechodząca przez bieguny niebieskie i obserwatora to oś świata.
9. Koło prostopadłe do osi świata, przechodzące przez obserwatora, to równik niebieski.
10. Przecina on horyzont w punkcie wschodu E i w punkcie zachodu W.

Wskazane punkty i koła tworzą układ współrzędnych, za pomocą którego opisujemy położenia ciał niebieskich. Zaznaczono go na obrotowej mapie nieba (Fot. 65). Nazwa „obrotowa” bierze się stąd, że obracając mapę, możesz ustawić obraz nieba wskazanego dnia o wybranej godzinie. Na mapie nieba zaznaczamy położenie ciał niebieskich, lecz, w odróżnieniu od map geograficznych, nie określamy odległości między obiektami. Wskazujemy kierunki – w których należy obserwować niebo, aby te obiekty odszukać – oraz kąty.

Fot. 65.







Fot. 66. Obrotowa mapa nieba.

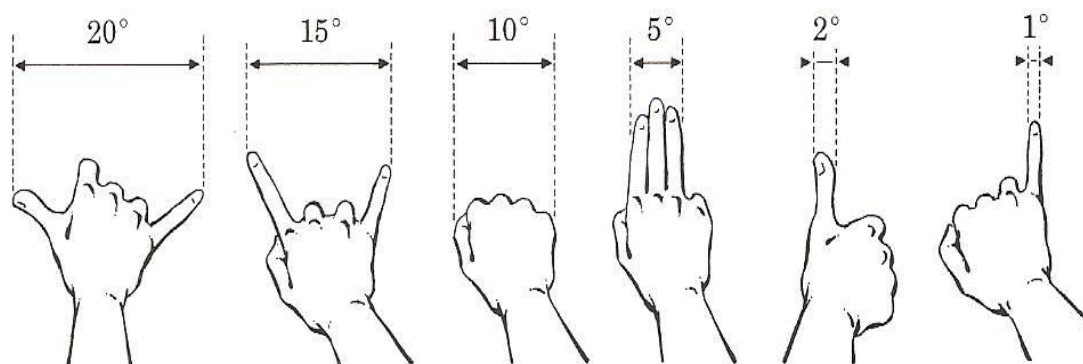
## 7.2. Odległości między obiektami na niebie

Często, patrząc w niebo, nie wiesz, jak wysoko nad horyzontem szukać obiektu. Jak zmierzyć wielkości obszaru, zajmowanego przez Wielki Wóz albo odległość między dwoma gwiazdami? Nie da się tego wyrazić w centymetrach ani milimetrach, które służą do

pomiarów liniowych. Aby określić odległości między gwiazdami musimy użyć kątów. Czy na niebie można mierzyć kąty, nie posługując się skomplikowanymi instrumentami?

Niech nasze oko będzie wierzchołkiem kąta. Zasłońmy obszar między dwiema gwiazdami częścią wyciągniętej ręki tym większą, im dalej od siebie leżą te gwiazdy.

Wyciągnijmy przed siebie rękę z uniesionym do góry kciukiem. Kciuk zasłania część pola widzenia. Część ta jest tym większa, im krótsze ramię i grubszy jest nasz kciuk. W ten sposób ręka staje się instrumentem, umożliwiającym pomiar kątów na niebie. Różne części dłoni mierzą kąty różnej wielkości (Rys. 18).



**Rys. 18.** Wykorzystanie dłoni do określania odległości kątowych na niebie.

W mieszkaniu można w ten sposób przesłonić klamkę u drzwi lub włącznik światła, jeśli patrzymy na nie poprzez cały pokój. Gdy wyjrzymy przez okno, ten sam palec zasłoni znaczną część budynku, stojącego po przeciwnej stronie ulicy. Na niebie możemy w ten sposób zakryć cały Księżyc. Jak to możliwe, skoro te obiekty mają tak różne rozmiary?

Chociaż Księżyc jest znacznie większy od budynku po drugiej stronie ulicy, można go przesłonić czymś tak wąskim, jak palec. Mierząc w ten sposób średnice Księżyca, otrzymujemy wartość 1 – 2 stopni. Im dalej od nas leży obiekt, tym mniejszy kąt zajmuje w polu naszego widzenia. Księżyc wydaje się tak duży w porównaniu z gwiazdami, ponieważ znajduje się o wiele bliżej nas.

### **7.3. Jasność gwiazd.**

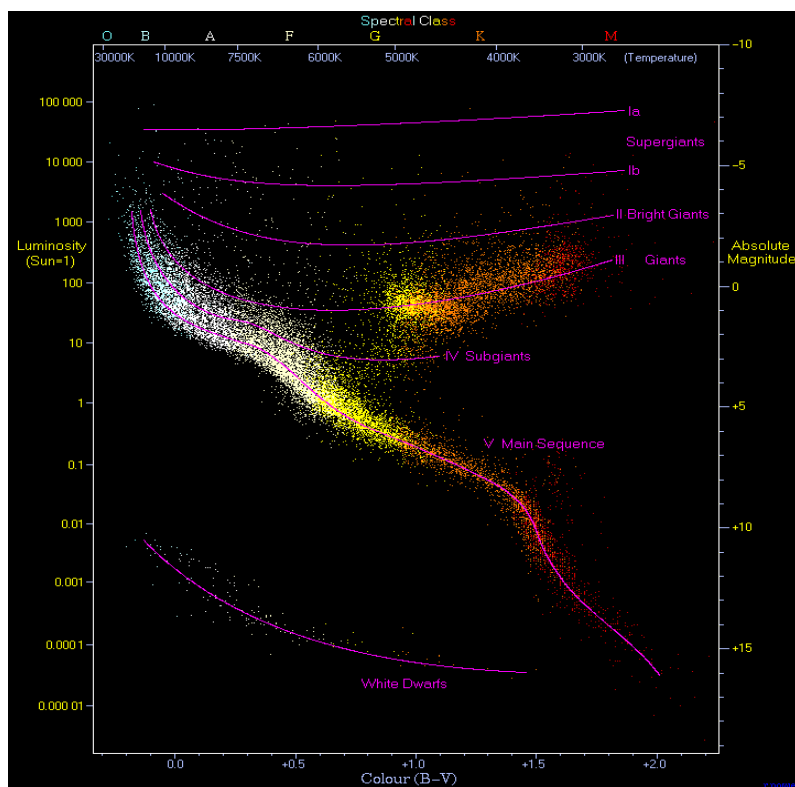
Gwiazdy mają różną jasność. Nie musi to jednak oznaczać, że gwiazda jaśniejsza wysyła więcej światła niż inna, słabsza gwiazda.



Jasność pozorna (widoma) zależy od trzech czynników:

1. Wielkości gwiazdy,
2. Od odległości, jaka dzieli ją od Ziemi,
3. Od ilości światła, wysyłanego przez jednostkę powierzchni gwiazdy.

Najsławniejszym diagramem w astronomii jest diagram Hertzsprunga-Russella (patrz niżej), na który zostały naniesione: jasność (absolutna lub wyrażona jako wielokrotność jasności Słońca) oraz kolory gwiazd zawarte w przedziale od wysokotemperaturowych białoniebieskich gwiazd po lewej stronie, do niskotemperaturowych czerwonych gwiazd po prawej stronie diagramu. Diagram poniżej jest nałożeniem 22000 gwiazd z Katalogu Hipparcos i dodatkowo 1000 gwiazd o niskiej jasności (czerwone i białe karły) z Katalogu Pobliskich Gwiazd Gliese. Zwykle, spalające wodór karły – takie jak Słońce, znajdują się w pasie zwanym ciągiem głównym, który biegnie od górnego lewego rogu do dolnego prawego. Olbrzymy tworzą swoją własną grupkę w górnej prawej części diagramu. Powyżej nich leżą o wiele rzadsze jasne olbrzymy i nadolbrzymy. W lewym dolnym rogu znajduje się pas białych karłów – martwych jąder starych gwiazd, które nie mają wewnętrznego źródła energii i powoli stygną w ciągu kolejnych miliardów lat, przesuując się ku prawej dolnej części diagramu.



Fot. 67. Diagram Hertzsprunga-Russella.

Gwiazdy są sklasyfikowane w 5 głównych klasach jasności:

- I. Nadolbrzymy – bardzo jasne i masywne gwiazdy przy końcu swojego życia. Dzielą się na typy Ia i Ib, przy czym Ia reprezentuje te najjaśniejsze. Tego rodzaju gwiazdy są bardzo rzadkie - jedna na milion gwiazd jest nadolbrzymem. Najbliższym nadolbrzymem jest Canopus (F0Ib) położony 310 lat świetlnych stąd. Innymi przykładami są: Betelgeza (M2Ib), Antares (M1Ib) i Rigel (B8Ia).
- II. Jasne Olbrzymy – gwiazdy mające jasność pomiędzy olbrzymami a nadolbrzymami. Przykładem może tu być Sargas (F1II) i Alphard (K3II).
- III. Olbrzymy ("normalne", jak to określają Anglicy) – są to głównie małomasywne gwiazdy przy końcu ich życia, które napuchły do rozmiarów olbrzyma. Do tej kategorii zaliczamy także pewne masywne gwiazdy, które są dopiero na drodze do otrzymania statusu nadolbrzyma. Przykładami są: Arktur (K2III), i Aldebaran (K5III).
- IV. Podolbrzymy – gwiazdy, które dopiero zaczęły ewolucję do statusu olbrzymów lub nadolbrzymów. Przykładem może tu być: Alnair (B7IV) i Muphrid (G0IV), również Procyon właśnie wchodzi w tę kategorię i stąd jego typ jest określany jako: F5IV-V.
- V. Karły – wszystkie normalne, spalające wodór gwiazdy. Gwiazdy spędzają większą część swojego życia w tej kategorii, zanim przesuną się o rząd wyżej. Gwiazdy klasy O i B tej kategorii są w rzeczywistości bardzo jasne i ogólnie jaśniejsze od większości olbrzymów. Przykładami mogą być: Słońce (G2V), Syriusz (A1V) i Wega (A0V).

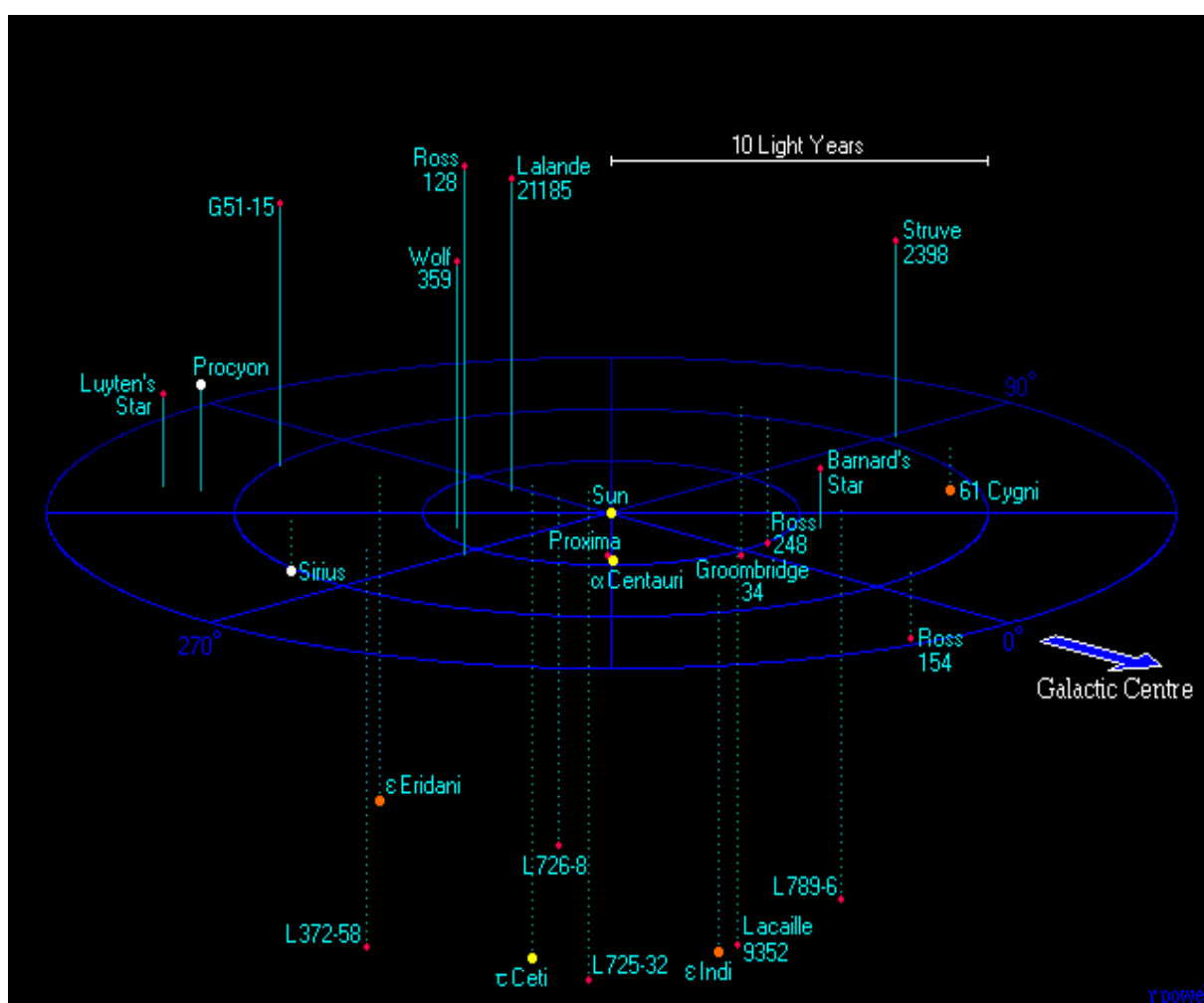
Najjaśniejszą gwiazdą na naszym niebie jest oczywiście Słońce, ale tylko dlatego, że jest ono bardzo blisko nas. Tak naprawdę jest to gwiazda całkiem przeciętnej wielkości i jasności. Najjaśniejsze planety mają jasność widomą wyrażoną liczbami ujemnymi od -1 do -4. W warunkach miejskich światła uniemożliwiają dostrzeżenie wielu słabszych gwiazd, widocznych w zupełnych ciemnościach. Chociaż gwiazd są miliardy, w najlepszych warunkach możemy na niebie dostrzec gołym okiem nie więcej niż 2500 gwiazd.

#### **7.4. Odległości do gwiazd.**

Odległości między Ziemią a gwiazdą mierzy się w latach świetlnych. Rok świetlny to jednostka odległości, a nie czasu: to odległość, jaką światło przebywa w ciągu jednego roku. Prędkość światła wynosi 300 tysięcy km/s. Na rok świetlny składa się zatem 9,5 biliona kilometrów. Prawidłowe wyznaczenie odległości do gwiazd ma znaczenie nie tylko dla

poznania przestrzennego rozkładu gwiazd, ale także właściwego określenia innych parametrów charakteryzujących gwiazdy. Najdokładniej odległości do gwiazd wyznacza się z paralaksy heliocentrycznej. Pośrednimi metodami, które opierają się na pomiarach innych wielkości są: metoda cefeid i paralaksy spektroskopowej.

Najbliższą gwiazdą poza Słońcem jest Proxima Centauri, znajdująca się w odległości 4,3 roku świetlnego. Według katalogów najbliższych gwiazd, w sferze o promieniu 65 lat świetlnych otaczającej Słońce znajduje się ich 1049. Z pewnych oszacowań (astrometria) wynika, że liczba tych gwiazd wynosi około 4000, ale ze względu na małą moc promieniowania większość z nich świeci zbyt słabo, by były widoczne.



Rys. 19. Położenie gwiazd do odległości 12.5 roku świetlnego.

## 8. PROGRAM KOŁA ASTRONOMICZNEGO.

„Wiedza bez czynu jest jak śnieg w gorącym piecu”

[H. Jackson Brown]



**Fot. 68.** Gwiazdozbiór Pegaza, <http://serwis.kosmos.w.interia.pl>

### WSTĘP.

Program Szkolnego Koła Astronomicznego przeznaczony jest dla uczniów szczególnie zainteresowanych fizyką i astronomią w Gimnazjum. Ma on na celu zaspokojenie naturalnej ciekawości uczniów, dla których wiadomości i umiejętności pozyskane na lekcjach nie wyczerpują zainteresowań. Zakłada integrację wszystkich miłośników astronomii, którzy chcą uczestniczyć w dodatkowych zajęciach z tego przedmiotu. Zajęcia te umożliwić mają uczniom poszerzenie wiadomości z astronomii, wpływać na zapamiętywanie, rozwijać wyobraźnię, logiczne myślenie i spostrzegawczość, uczyć pracy w zespole. Zajęcia pozalekcyjne są bardzo dobrą formą pracy z młodzieżą, stwarzają szansę dla zainteresowanych i dociekliwych młodych ludzi, wpływając pozytywnie na ich aktywność i samodzielność. Na zajęciach dominują aktywne metody pracy. Uczniowie posługują się mapami nieba, materiałami przygotowanymi z internetu, czasopismami popularno – naukowymi, uczestniczą w seansach w planetarium, pokazach i sami takie pokazy organizują. Praca ucznia polega na działaniu, doświadczaniu oraz gromadzeniu informacji. Stosowanie zróżnicowanych środków dydaktycznych pozwala rozbudzić w uczniach aktywność poznawczą.

## **CELE.**

- analizowanie budowy planet Układu Słonecznego i odnalezionych planet poza Układem Słonecznym,
- zwrócenie uwagi na udział Europy w tej dziedzinie badań,
- prowadzenie obserwacji astronomicznych,
- kształtowanie umiejętności obserwacji nieba,
- doskonalenie znajomości gwiazdozbiorów,
- kształtowanie umiejętności poznawania wiedzy o Wszechświecie,
- umiejętne korzystania z literatury fachowej,
- wzbudzanie i rozwijanie pasji badawczej,
- organizacja pracy własnej i współdziałania w grupie,
- rozwijanie umiejętności słuchania opinii innych,
- właściwe argumentowanie własnych wypowiedzi i obrony swojego zdania,
- przygotowanie uczniów do korzystania z programów komputerowych i stron internetowych,
- projekcja filmów naukowych o tematyce astronomicznej.

## **METODY I FORMY REALIZACJI.**

- twórczość artystyczna ( plakaty, albumy, kalendarz), praca w grupach,
- praca w grupach,
- burza mózgów (dzielenie się nie uporządkowanymi burza mózgów (dzielenie się nieuporządkowanymi pomysłami, wybieranie najciekawszych rozwiązań),
- mini wykłady ilustrowane przykładami (plansze, filmy, encyklopedie, mapy, raporty),
- prace laboratoryjne, obserwacje,
- rozwiązywanie problemów,
- praca z komputerem,
- zbieranie i prezentowanie materiałów na określony temat,
- wycieczki.

## **TREŚCI PROGRAMOWE KOŁA ASTRONOMICZNEGO.**

### **I. ORGANIZACJA PRACY.**

- Zapoznanie uczestników z planem koła astronomicznego i jego nazwą.
- Regulamin i zasady uczestnictwa w kole.

#### **SPOSÓB REALIZACJI:**

- Prezentacja planu pracy koła astronomicznego,
- omówienie celów pracy koła,
- prezentacja regulaminu pracowni,
- ustalenie zasad uczestnictwa w kole.

#### **OCZEKIWANE EFEKTY UCZEŃ:**

1. wie czym będziemy się zajmować na zajęciach,
2. zna cele i zasady pracy,

### **II. RACHUBY CZASU.**

- Pory roku a ruchy ciał niebieskich.
- Kalendarze starożytnych.
- Różne typy zegarów i zasada ich działania.

#### **SPOSÓB REALIZACJI:**

- Opracowanie i prezentacja informacji z różnych źródeł,
- raport: „Wpływ czasu na nasze życie”,
- stworzymy własny kalendarz astronomiczny,

#### **OCZEKIWANE EFEKTY UCZEŃ:**

1. zna różne typy kalendarzy,
2. zna zasadę działania różnych zegarów,
3. potrafi określić związek pomiędzy porami roku a ruchem ciał niebieskich.

### **III. ODKRYWANIE NIEBA.**

- Początki astronomii.
- Instrumenty astronomiczne.
- Elementarne zjawiska na sferze niebieskiej.
- Obserwacje astronomiczne.
- Gwiazdozbiory.

#### **SPOSÓB REALIZACJI:**

- Wyszukiwanie i opracowanie informacji z różnych źródeł,

- wycieczka do Obserwatorium Astronomicznego w Piwnicach – obserwacje i zapoznanie z instrumentami astronomicznymi,
- wykonanie plakatu – instrumenty astronomiczne.

#### OCZEKIWANE EFEKTY UCZEŃ:

1. wypowiada się w dowolnej formie plastycznej,
2. zna podstawowe zjawiska i instrumenty astronomiczne,
3. zna nazwy gwiazdozbiorów,
4. potrafi odszukać najważniejsze gwiazdozbiory na niebie.

#### **IV. ZIEMIA.**

- Budowa Ziemi.
- Atmosfera i zjawiska z nią związane.
- Najbliższe otoczenie Ziemi.
- Meteoryty i komety.

#### SPOSÓB REALIZACJI:

- Przygotowywanie mini wykładów przez uczniów,
- opracowanie i prezentacja informacji z różnych źródeł,
- wycieczka do Planetarium.

#### OCZEKIWANE EFEKTY UCZEŃ:

1. wygłasza wykład,
2. dyskutuje,
3. wyszukuje informacje w różnych źródłach.

#### **V. KSIĘŻYC.**

- Rozmiary, odległość i badania.
- Budowa, atmosfera i powierzchnia.
- Zjawiska związane z istnieniem Księżyca.

#### SPOSÓB REALIZACJI:

- Wykonanie plakatu dotyczącego zebranych wiadomości o Księżycu,
- przegląd badań i misji na Księżycu,
- analiza zjawisk związanych z istnieniem Księżyca,

#### OCZEKIWANE EFEKTY UCZEŃ:

1. poszukuje informacji,
2. zna zjawiska związane z istnieniem Księżyca,



3. zna nazwy najświetniejszych misji kosmicznych.

## **VI. SŁOŃCE.**

- Parametry fizyczne.
- Budowa wewnętrzna i atmosfera.
- Aktywność słoneczna.

### **SPOSÓB REALIZACJI:**

- Analizowanie gotowych materiałów i poszukiwanie nowych,
- wykonanie plakatu „Słońce to...”

### **OCZEKIWANE EFEKTY UCZEŃ:**

1. referuje otrzymane wcześniej wiadomości,
2. prezentuje wiadomości w formie planszy lub plakatu,

## **VII. BADANIE GWIAZD.**

- Odległości gwiazd.
- Ruch gwiazd i efekt Dopplera.
- Jasność gwiazd.
- Klasyfikacja widmowa gwiazd.
- Diagram H-R.

### **SPOSÓB REALIZACJI:**

- Stworzenie skali odległości do najbliższych obiektów,
- co można powiedzieć o gwiazdzie obserwując ją nieuzbrojonym okiem?

### **OCZEKIWANE EFEKTY UCZEŃ:**

1. wie jakie jednostki służą do mierzenia odległości we Wszechświecie,
2. wie czym zajmuje się fotometria i spektroskopia,
3. wie jak klasyfikuje się gwiazdy.

## **VIII. ASTROFIZYKA GWIAZD.**

- Ewolucja gwiazd.
- Rodzaje gwiazd.
- Gwiazdy podwójne, wielokrotne i gromady gwiazd.
- Gwiazdy zmienne.

### **SPOSÓB REALIZACJI:**

- Analizowanie gotowych materiałów i poszukiwanie nowych,
- stworzenie swojego katalogu gwiazd.

#### OCZEKIWANE EFEKTY UCZEŃ:

1. wie jak powstają gwiazdy,
2. zna rodzaje gwiazd,
3. potrafi wymienić najbliższe nam gwiazdy,
4. wie jakiego typu gwiazdą jest nasze Słońce.

#### **IX. Planety.**

- Planety Układu Słonecznego.
- Misje na Marsa.
- Charakterystyka planet.

#### SPOSÓB REALIZACJI:

- Gromadzenie w grupach informacji dotyczących poszczególnych planet,
- prezentacja swoich materiałów,
- stworzenie przestrzennego modelu Układu Słonecznego.

#### OCZEKIWANE EFEKTY UCZEŃ:

1. potrafi wymienić wszystkie znane planety,
2. wie czym charakteryzują się poszczególne planety,
3. zna kolejność położenia planet zaczynając od Słońca.

#### **X. GALAKTYKI.**

- Budowa i rodzaje galaktyk.
- Kwazary – galaktyki aktywne.
- Lokalna Grupa galaktyk.

#### SPOSÓB REALIZACJI:

- Stworzenie katalogu galaktyk,
- wypisanie kosmicznego adresu Ziemi.

#### OCZEKIWANE EFEKTY UCZEŃ:

1. zna rodzaje i najbliższe galaktyki,
2. wie co to są kwazary,
3. potrafi określić miejsce Ziemi we Wszechświecie.

#### **XI. KOSMOLOGIA.**

- O rozszerzaniu się Wszechświata.
- Fakty obserwacyjne współczesnej kosmologii.
- Powstanie, wiek oraz przyszłość Wszechświata.

#### SPOSÓB REALIZACJI:

- Omówienie narodzin i ewolucji Wszechświata,
- analiza prawa Hubble'a – rozszerzanie się Wszechświata,
- prezentacja najnowszych badań i teorii kosmologicznych.

#### OCZEKIWANE EFEKTY UCZEŃ:

1. potrafi omówić jak powstał i jak wygląda Wszechświat,
2. wie, że istnieje ekspansja Wszechświata.
3. zna najnowsze badania i teorie kosmologiczne

#### **XII.GRY I ŁAMIGŁÓWKI.**

- Rozwiązujemy krzyżówki, rebusy i zagadki.
- Układamy własne łamigłówki.

#### SPOSÓB REALIZACJI:

- Wykonywanie krzyżówek rebusów, zagadek i gry planszowej,
- nauka przez zabawę - gry planszowe wykonane przez uczniów.

#### OCZEKIWANE EFEKTY UCZEŃ:

1. potrafi prawidłowo reagować zarówno w sytuacji wygranej jak i przegranej,
2. umie układać krzyżówki, rebusy, zagadki, gry,
3. umie współdziałać w zespole.

#### **EWALUACJA.**

Ewaluacja programu powinna obejmować spostrzeżenia po zrealizowaniu każdego z zamierzonych tematów i być dokonywana, w miarę możliwości, na każdym zajęciach. W ewaluacji należy uwzględnić spostrzeżenia uczniów dotyczące tego, co i w jaki sposób zostało osiągnięte, a co należałoby jeszcze zrealizować. Pod koniec roku szkolnego jest przewidziane przeprowadzenie ankiety ewaluacyjnej wśród uczniów. Uzyskane wyniki ewaluacji będą analizowane i wykorzystane do wprowadzenia zmian w prowadzeniu zajęć (atrakcyjność dla uczniów, metody pracy, użyteczność w życiu, skuteczność) oraz opracowania nowego programu na kolejny rok szkolny. Należy pamiętać jednak, że faktyczne efekty wprowadzenia programu i zrealizowania zamierzonych celów, będą znane dopiero po ukończeniu przez jego adresatów szkoły.

## 9. Podsumowanie.

Dlaczego uczniowie nie lubią fizyki? Odpowiedzi bywają często takie same: " bo fizyka jest nudna" lub "bo fizyka jest trudna". Od lat poszukuje się więc gorączkowo odpowiedzi, jak zrobić fizykę ciekawą i łatwą. W tej pogoni za skutecznymi metodami dydaktycznymi zatracą się niekiedy świadomość konieczności kształtowania spójnego ciągu oddziaływań dydaktycznych na kolejnych etapach kształcenia, dostosowywanych zarówno w zakresie metod jak i poziomu przekazywanej wiedzy do wieku i dojrzałości intelektualnej odbiorców tych zabiegów. Rozważmy kilka modnych "przykazań" dydaktycznych, przewijających się często podczas konferencji i zjazdów:

1. przede wszystkim zaciekać,
2. koniecznie blisko życia i codziennych zastosowań,
3. im mniej matematyki tym lepiej,
4. najważniejsza jest intuicja.

Czy każdy musi uczyć się fizyki? Takie pytanie stawiają często bezradni nauczyciele nie widzący efektów Swej pracy pedagogicznej. Jest prawdą, że na przestrzeni lat obserwowany jest ciągły proces zmniejszania się nie tylko zainteresowania fizyką, ale również szacunku dla niej w społeczeństwie. Sytuacja ta wynika przede wszystkim z pogłębiającej się w miarę szybkiego rozwoju wiedzy przepaści między "wielką fizyką" - nauczaną w szkole, a „zwykłym” człowiekiem, nie dostrzegającym jej związku z rzeczywistością albo co gorsza obarczającym fizykę winą za prawie wszelkie zło, które spotyka go od cywilizacji. W obecnych czasach, istnieje kompleks "niepojętości " nauk ścisłych dla wielu ludzi, czego następstwem staje się pogłębiająca wszechogarniająca niewiedza. Niechęć ta wiąże się wyraźnie z zupełnym niezrozumieniem przez przeciętnego ucznia roli fizyki we współczesnym świecie oraz korzyści z jej znajomości w życiu codziennym a także z niedoceniań humanistycznych walorów fizyki, jej związku z innymi naukami oraz wagi refleksji filozoficzno – przyrodniczej, jaką niesie wiedza fizyczna nie tylko dla rozwoju osobowości. Każdy współczesny człowiek powinien o fizyce wiedzieć tyle ile potrzeba, aby rozumieć świat, który go otacza i nie być wobec niego bezbronnym. To bardzo dużo, ale właśnie tyle, moim zdaniem, powinniśmy nauczyć fizyki każdego młodego człowieka, bez względu na to, czy chce być inżynierem, czy artystą. Jeśli nie chcemy

doczekać przyszłości w społeczeństwie bez podstawowej wiedzy przyrodniczej, musimy spróbować przekonać młodych ludzi, że warto znać fizykę nie tylko dlatego, aby życie miało więcej blasku, aby było ciekawsze i głębsze, ale również dlatego, aby umieć wykorzystywać naukowe argumenty i nauczyć się odróżniać je od fałszywych lub powierzchownych informacji, którymi zasypuje nas codzienność. Gdy popatrzymy na przebieg nauki szkolnej, oczywistym okaże się fakt, że decydujący w ukształtowaniu na całe życie takiej świadomości przyrodniczej młodego człowieka, jego szacunku do wiedzy i pozytywnego bądź nie, stosunku do tego wszystkiego, co niesie wiedza fizyczna.

Astronomia w szkole może spełnić niezwykle pozytywną rolę również w tym względzie – zarówno przez swoją powszechność jak i emocjonalną atrakcyjność. Każdy z praktykujących nauczycieli znajdzie zapewne swój sposób na wprowadzenie tych wiadomości. A zatem zawarte w niniejszej pracy propozycje można traktować jako propozycję rozwiązań.

Moje obserwacje pokazują, że współczesna młodzież bardzo chętnie uczy się astronomii, chętnie słucha o tym, co dzieje się na niebie. Czasem niewielka iskierka wystarczy, aby w młodym człowieku rozpalić nowe hobby.

## 10. Literatura.

1. „Encyklopedia Geograficzna Świata VIII – Wszechświat”, Wydawnictwo Opres, Kraków 1997.
2. Chełmińska I., Grzybowski R., „Fizyka i astronomia – vademecum”, Wydawnictwo Operon, Gdynia, 2008.
3. Desselberg J., Szczepanik J., „Tablice astronomiczne z przewodnikiem po gwiazdach”, PPU „PARK”, Bielsko – Biała, 2002.
4. Heather C., Nigel H., „Ilustrowany atlas kosmosu. Przewodnik po wszechświecie”, Wydawnictwo Solis, Warszawa 2002, tłumaczyły: J. Prosińska–Giersz, M. Magnuska.
5. Heifez M.D., Tirion W., „Spacer po niebie. Przewodnik po gwiazdach i gwiazdozbiorach oraz ich legendach”, Wydawnictwo Prószyński i S-ka, Warszawa, tłumaczył Michał Szymański.
6. <http://copernicus.torun.pl/>.
7. <http://www.astronomia.biz.pl/> - Portal Astronomiczny.
8. <http://www.nasa.gov/> - Strona Narodowej Agencji Aeronautyki i Przestrzeni Kosmicznej.
9. <http://www.wiw.pl/> - Wirtualny Wszechświat – serwis popularnonaukowy i edukacyjny.
10. <http://xn-wszechwiat-97b.com/>.
11. Jędrzejczak A., Ponaratt R., Wytrzyszczak I., „Ziemia we Wszechświecie”, Wydawnictwo Kurpisz, Poznań, 2000.
12. Kubiak M., „Gwiazdy i Materia Międzygwiazdowa”, PWN, Warszawa, 1994.
13. Mietelski J., „Astronomia w geografii”, PWN, Warszawa, 1989.
14. Oster L., „Astronomia Współczesna” wydanie trzecie, PWN, Warszawa, 1986.
15. Rogers E.M., „Fizyka dla dociekliwych” cz.II. wydanie piąte, PWN, Warszawa, tłumaczył Marcin Kubiak.
16. Różyczka M., „Jak powstają gwizdy”, Alfa, Warszawa, 1989.
17. Sciamia D.W., „Kosmologia Współczesna” biblioteka problemów, PWN, Warszawa, 1975.
18. Struve O. i Zebergs V., „Astronomia XX wieku”, PWN, Warszawa, 1967, przełożył z angielskiego Andrzej Wróblewski.
19. Wydawnictwo Naukowe PWN, „Encyklopedia PWN – Spojrzenie na czas, przestrzeń i materię”, Warszawa, 2002.