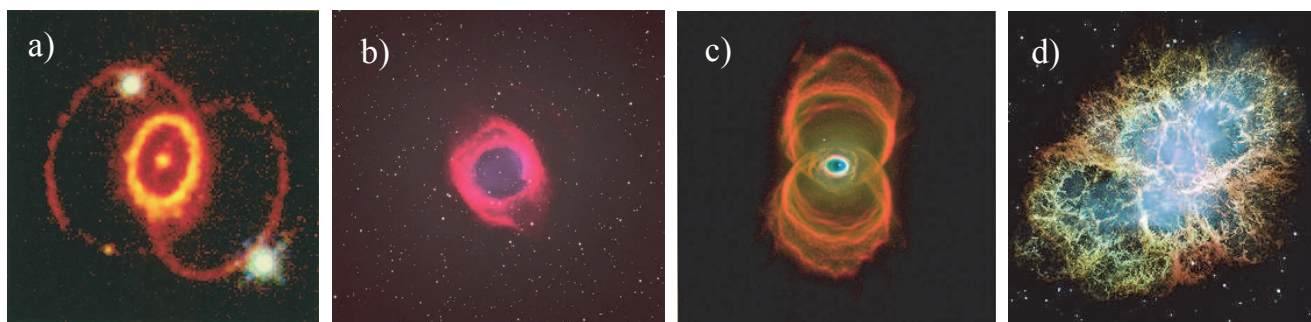


Z kolei na podstawie zaburzeń w orbicie Neptuna poszukiwano następnego obiektu. Pluton, odkryty w 1930 r. obiega Słońce raz na 248 lat po orbicie nachylonej do ekliptyki pod kątem aż  $17^\circ$ . Pluton przez długi czas zaliczany był do grona planet. Dopiero odkrycie w 2005 r. Eris – obiektu o masie nieco większej od Plutona i okrążającego Słońce po wydłużonej orbicie raz na 650 lat, spowodowało zmianę - wprowadzenie nowej definicji „planety”. W myśl tej definicji z 2006 roku ani Eris ani Pluton do planet nie należą – ich orbity są znacznie nachylone do ekliptyki a orbity wydłużone. Nie mamy dostatecznie jasnych danych, jak te „planety karłowate” powstały, ale nie wydaje się, aby w ten sam sposób jak reszta Układu.

#### 4.8. Budowa i powstanie Układu Słonecznego

Najbardziej wiarygodna do dziś hipoteza powstania Układu Słonecznego została sformułowana przez Immanuela Kanta i Pierre-Simona Laplace’a w połowie XVIII wieku. W myśl tej hipotezy, Układ powstał przez grawitacyjną kondensację chmury gazowo – pyłowej. Dziś, dzięki postępom astrofizyki i fizyki jądrowej, potrafimy stwierdzić, że chmura taka powstała w wyniku eksplozji innej gwiazdy, która poprzednio zajmowała miejsce Słońca. Gwiazda ta, masywniejsza od Słońca, wypaliła paliwo w swoim cyklu życiowym, zapadła się, ponownie rozgrzała i wybuchła, podobnie jak supernowe na fot. 4.16.



**Fot. 4.16.** Układ Słoneczny powstał w wyniku wybuchu supernowej, podobnego do obserwowanych dziś w dalekim kosmosie; Mgławica Kraba (d) to supernowa z 1054 r. (Źródło NASA)

W trakcie zapaści, pod ogromnymi ciśnieniami dokonała się synteza jąder pierwiastków chemicznych cięższych od żelaza, jak np. uranu. W wyniku wybuchu pierwiastki te, jak i inne, typowe dla gwiazd, zostały wyrzucone w kosmos.

W Układzie Słonecznym cztery wewnętrzne planety, Merkurego, Wenus, Ziemię i Marsa nazywamy *tellurycznymi*, od „Terra”, czyli Ziemia. Ich średnia gęstość przekracza  $5\text{g/cm}^3$ . Gęstość planet zewnętrznych, Jowisza, Saturna, Urana i Neptuna jest znacznie mniejsza, ok.  $1,2\text{g/cm}^3$ . Odzwierciedla to zasadnicze różnice w ich składzie. W skorupie Ziemi (podobnie jak na Księżycu) dominującymi pierwiastkami są krzem i tlen a w jądrze – żelazo. W atmosferze Jowisza, metodami spektroskopii optycznej odkryto metan, amoniak, wodę, dwutlenek siarki.

Mimo zawartości lekkich pierwiastków, wodoru i helu, planety zewnętrzne są masywne; nawet najmniejsza z nich, Neptun jest 200 razy masywniejsza od Ziemi. Przyciąganie grawitacyjne Jowisza i Saturna na ogromnych przestrzeniach przewyższa przyciąganie ze strony Słońca. Dzięki temu, wiele obiektów kosmicznych „szwędających” się po rubieżach Układu Słonecznego zostało przechwyconych przez te planety-giganty.<sup>19</sup> Sam Jowisz, który ma co najmniej 63 satelitów, przypuszczalnie 55 z nich wyłapał z przestrzeni kosmicznej.

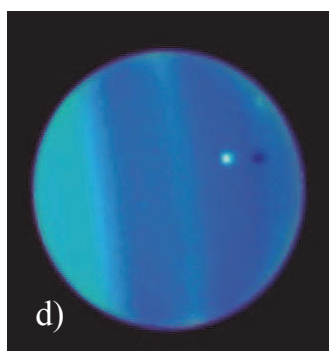
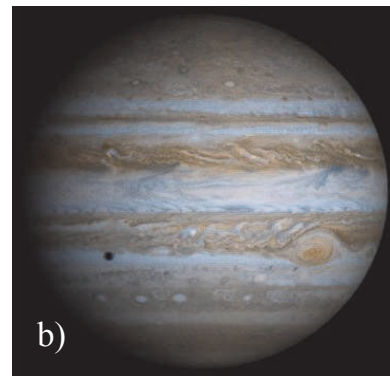
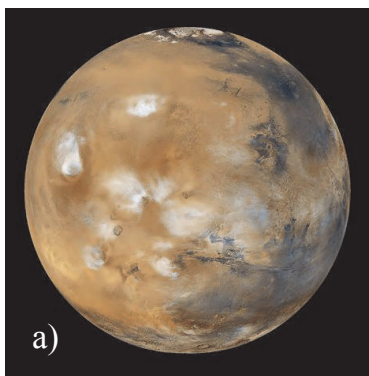
<sup>19</sup> W języku potocznym, postawnego mężczyznę pilnującego, aby do klubu młodzieżowego nie dostała się osoba niepożądana nazywamy „bramkarzem”. Jowisz i Saturn dla życia na Ziemi pełnią funkcję „bramkarzy”, chroniąc naszą planetę przed zbyt częstymi mega-kolizjami kosmicznymi.

Pomiędzy Marsem i Jowiszem znajduje się tzw. *pas planetoid* spośród których największa jest *Ceres*. Pas planetoid składa się, przypuszczalnie, z resztek innej planety *tellurycznej*. Za orbitą Neptuna wyodrębniony jest kolejny obszar, który składa się z lodowych i skalnych obiektów, tzw. *pas Kuipera*. W tym obszarze odkryto ostatnio nowe planety karłowate. Zewnętrzny obszar układu planetarnego zajmuje *dysk rozproszony*, którego częścią jest *Eris* oraz krótkookresowe komety. Zewnętrzną otoczkę rozciągającą się na odległość nawet 50 tys. AU<sup>20</sup> jest obłok Oorta składający się, zapewne, z miliardów czy nawet bilionów lodowych obiektów. Granica Układu Słonecznego nie jest konkretnie ustalona. Uznaje się, że jest to obszar, gdzie wiatr słoneczny oraz grawitacja Słońca ustępują oddziaływaniom galaktycznym.

Dokładne masy, okresy obiegu dookoła Słońca, okresy obrotu dookoła własnej osi i odległości od Słońca podajemy w tabeli 4.1. Planety rozłożone są dość „regularnie” dookoła Słońca. Jeżeli odległość Ziemia – Słońce przyjmiemy za „1”, to Merkury jest od Słońca w odległości mniej więcej 3/8, Wenus 3/4, Mars 3/2 AU. Kolejne planety, Jowisz, Saturn, Uran i Neptun znajdują się w odległościach, około 5, 10, 20 i 30 AU. Nie potrafimy dziś odtworzyć warunków powstania Układu Słonecznego tak, aby wynikiem były obserwowane rozkłady mas i odległości od Słońca.

**Fot. 4.17.** Cztery z zewnętrznych planet Układu Słonecznego (źródło NASA):

(a) pustynny Mars, z kanionami, wygasłymi wulkanami i czapami lodu na biegunach mógł kiedyś gościć życie; (b) Jowisz, ponad 10-krotnie większy niż Ziemia obraca się w ciągu 10 godzin; powoduje to turbulentne wiatry, przypominające ziemskie pasaty, ale dużo gwałtowniejsze; czarna kropka to cień jednego z księżyców Jowisza, Europy;



(c) Saturn widziany z sondy Cassini; (d) Uran kręci się wokół osi leżącej prawie w płaszczyźnie jego ekliptyki; niebieskawy kolor Uran zawdzięcza obecności metanu, widoczny też księżyc Ariel i jego cień.

**Kilka liczb w budowie i historii Ziemi jest do zapamiętania:**

- promień Ziemi, około 6370 km
- odległość Ziemia – Księżyc, około 380 tys. km
- odległość Słońce – Ziemia, około 150 mln km

Wiek Ziemi: 4,567 mld lat

Pierwsze ślady istot człeko-podobnych: 2-3 mln lat temu

Rysunki naskalne we Francji: 28 tys. lat temu

<sup>20</sup> Jednostką astronomiczną odległości (AU) jest średnia odległość Ziemi od Słońca, czyli 149 597 870,691 km. Rok świetlny, czyli odległość, jaką przebywa światło w ciągu roku to 63 241 AU.

**Tabela 4.1.** Niektóre dane 8 planet Układu Słonecznego, planetoidy Ceres i 4 planet karłowatych.

| Nazwa               | Średnica [km] | Odległość od Słońca [tys. km] <sup>21</sup> | Długość roku [doba ziemska/rok] | Długość doby [ziemska doba/h] |
|---------------------|---------------|---------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| Słońce              | 1 392 000     | -                                           | -                               | 25,38 d                       |
| Merkury             | 4880          | 57 910                                      | 87,97 dni                       | 58,646 d                      |
| Wenus               | 12 100        | 108 200                                     | 224,7 dni                       | -243,02 d <sup>22</sup>       |
| Ziemia              | 12 742        | 149 598                                     | 365,26 dni                      | 23,93 h                       |
| Mars                | 6780          | 227 900                                     | 686,98 dni (1,88 r.)            | 24,62 h                       |
| Ceres <sup>23</sup> | 950           | 413 700                                     | 4,6 lat                         | 9,07 h                        |
| Jowisz              | 139 800       | 778 340                                     | 11,863 lat                      | 9,93 h                        |
| Saturn              | 116 500       | 1 426 670                                   | 29,447 lat                      | 10,64 h                       |
| Uran                | 50 700        | 2 870 700                                   | 84,017 lat                      | -17,24 h                      |
| Neptun              | 49 240        | 4 498 000                                   | 164,79 lat                      | 16,11 h                       |
| Pluton              | 2350          | 5 906 000                                   | 247,92 lat                      | -6,387 d                      |
| Haumea              | 1150          | 6 432 000                                   | 282 lat                         | 3,92 h                        |
| Makemake            | 1470          | 6 783 000                                   | 305 lat                         | 22,5 h                        |
| Eris                | 2330          | 10 180 000                                  | 561 lat                         | 25,9 h                        |

Dwie sondy wysłane przez człowieka w 1977 roku docierają właśnie do granic Układu Słonecznego: Voyager 1 znajduje się w odległości ponad 120 AU od Słońca a Voyager 2 – prawie 100 AU<sup>24</sup>. W obszarach tych kończy się wpływ wiatru słonecznego (czyli strumienia zjonizowanych atomów, głównie protonów wysyłanych ze Słońca), zob. ryc. 4.18.

Czy to już granica Układu Słonecznego? Na razie nie potrafimy na to pytanie odpowiedzieć. Potrafimy natomiast, dzięki porównaniom zawartości na Ziemi (i w meteorytach) różnych pierwiastków o długim okresie rozpadu promieniotwórczego i produktów ich rozpadu, jak np. izotopy ołowiu określić wiek Ziemi. Dzięki tym danym, na dziś (20.06.2012) moment powstania Ziemi określamy na **4,567 mld lat** temu. Ziemia

<sup>21</sup> Dla orbit eliptycznych ekwiwalentna odległość orbity kołistej (wg III Prawa Keplera), z dokładnością do 5 cyfr znaczących

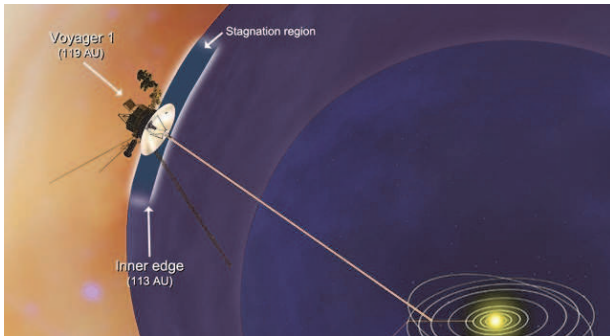
<sup>22</sup> Wenus obraca się w „odwrotnym” kierunku, czyli patrząc znad ziemskiego bieguna północnego w kierunku zgodnym z kierunkiem ruchu wskazówek zegara; podobnie Uran, ale jego oś obrotu własnego jest prawie że w płaszczyźnie ekliptyki

<sup>23</sup> Planetoida

<sup>24</sup> Sprawdź stan na dzień dzisiejszy, pod adresem NASA <http://voyager.jpl.nasa.gov/>



uformowała się bardzo szybko, przez 50-100 mln lat, ale w trakcie tego formowania uderzyło w nią jakieś ciało niebieskie rozmiarów Marsa. Z wybitej ziemskiej materii powstał Księżyc.

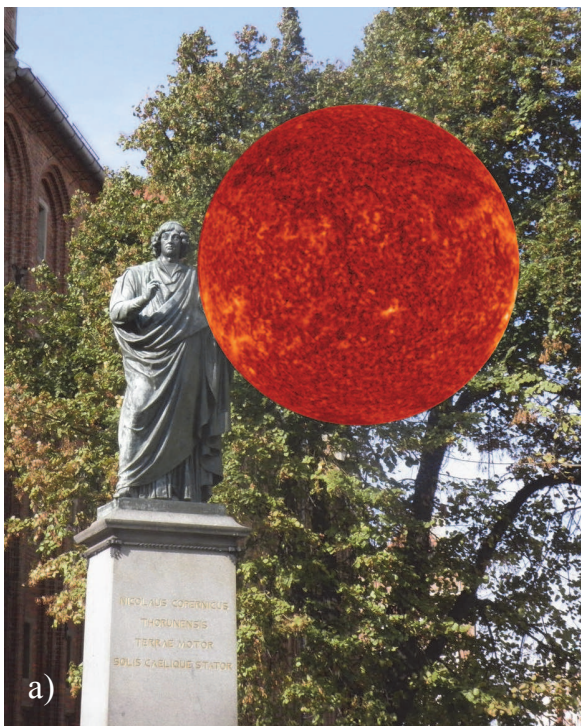


**Ryc. 4.18.** Artystyczna wizja sondy Voyager 1 docierającej do granic *heliosfery*; w dolnym prawym rogu pokazane są orbity planet dookoła Słońca; Voyager 1 jest obecnie (VI 2012) trzy razy dalej od Słońca niż Pluton (Źródło: NASA)

## Owocowo-warzywny Układ Słoneczny

Jak duży jest Układ Słoneczny? Sonda Voyager dziś (29.06.2012) jest 120 AU od Ziemi i zaczyna rejestrować nagły wzrost promieniowania kosmicznego. Niektórzy uczeni twierdzą, że Układ może sięgać nawet do 50 tys. AU, czyli prawie rok świetlny. Dla człowieka jednak takie pojęcia są abstrakcyjne. Spróbujmy zatem zmniejszyć rozmiary planet oraz odległości pomiędzy nimi tak, by Układ Słoneczny zmieścił się w granicach dużego miasta – np. Torunia. Dla łatwiejszego wyobrażenia wielkości planet znajdziemy warzywa lub owoce, które będą przedstawiały rozmiary poszczególnych planet.

I tak, jeśli na pomniku Kopernika umieścimy kulę o średnicy 2,8 metra odpowiadającą Słońcu (w skali 1:500 000 000), to Merkury wielkości małej śliwki mirabelki znajdowałby się w odległości 115 metrów, czyli gdzieś w Kościele p.w. Św. Ducha, Wenus rozmiarów nieco większej śliwki gdzieś w okolicach Kościoła p.w. Wniebowzięcia Najświętszej Marii Panny, a Ziemia w okolicach Kościoła św. Jakuba. Jowisz byłby rozmiarów arbuza, a żółty Saturn – melona, ale już poza Starym Miastem.



**Fot. 4.19.** Układ Słoneczny w skali owocowo-warzywniej: **a)** pomnik Kopernika na Rynku Starego Miasta w Toruniu (wysokość – 2,6m); Kopernik trzymający Słońce w skali „owocowej”; **b)** planety w tej samej skali (foto M. Więcek); **c)** widok na Rynek Starego Miasta w Toruniu, w głębi gotycki Kościół pw. Wniebowstąpienia Najświętszej Marii Panny (foto MK)





**Fot. 4.20.** Zdjęcia przedstawiają satelitarną mapę Torunia z zaznaczonymi orbitami planet w skali „owocowej”: **a)** Słońce oraz planety skaliste (Merkury, Wenus, Ziemia i Mars) znajdują się na Starym Mieście; **b)** Pozostałe planety oraz planeta karłowata Pluton. Białym obszarem zaznaczony jest fragment w którym zawiera się obszar „a)” (Mapy: <http://maps.google.pl/>).

Zadanie:

1. Spójrz na mapę miasta, w którym mieszkasz. Spróbuj umieścić w nim planety w tej samej skali, co w podręczniku.

W jakiej odległości od pomnika Kopernika w Toruniu znalazła by się najbliższa Słońcu gwiazda – Proxima Centauri? Jej odległość od Słońca wynosi około 4 lata świetlne.

Pytania kontrolne:

1. Ile razy (w dużym przybliżeniu) odległość Ziemia – Słońce jest większa od średnicy Słońca? Sto, tysiąc, milion, sto milionów?
2. W jakiej względnej odległości od Ziemi i od Księżyca latają satelity geostacjonarne? Bliżej Ziemi czy bliżej Księżyca?
3. Ile, w przybliżeniu (w mln km) wynosi jednostka astronomiczna długości AU?
4. Wymień 8 planet Układu Słonecznego i podaj, w przybliżeniu, ich odległości od Słońca w jednostkach astronomicznych (w postaci ułamków zwykłych i liczb całkowitych).
5. Oblicz, z jaką prędkością porusza się po Ziemi cień Księżyca w czasie zaćmienia Słońca. Obliczenie wykonaj dla równika, 20 marca, uwzględnij tylko ruch obrotowy Ziemi wokół własnej osi.
6. Znajdź w Internecie, jaką gwiazdę będzie wskazywała oś Ziemi (jej północny biegun) w roku 14 000.
7. (trudne) Ze znanych odległości Wenus i Ziemi od Słońca oraz średnicy Słońca oblicz, ile maksymalnie może trwać tranzyt Wenus na tarczy Słońca (Wskazówka: oblicz szerokość kątową tarczy Słońca po czym skorzystaj z III prawa Keplera i oblicz prędkości kątowe Wenus i Słońca).