



# NIEBO

KOMPEDNIUM WIEDZY O WSZECHŚWIECIE



NIEBO





Przemysław Rudź

# NIEBO

KOMPENDIUM WIEDZY O WSZECHŚWIECIE





## **WSTĘP ..... 8**

## **WSZECHŚWIAT ..... 11**

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TEORIA WIELKIEGO WYBUCHU .....                                                     | 18 |
| DROGA MLECZNA .....                                                                | 24 |
| UKŁAD SŁONECZNY I JEGO MIEJSCE W DRODZE MLECZNEJ .....                             | 30 |
| GROMADY I SUPERGROMADY GALAKTYK ORAZ WIELKOSKAŁOWE<br>STRUKTURY WSZECHŚWIATA ..... | 36 |
| UKŁAD SŁONECZNY Z PERSPEKTYWY 400 LAT BADAŃ ZA POMOCĄ TELESKOPÓW .....             | 40 |

## **ZIEMIA JAKO MIEJSCE SPOSTRZEŻEŃ ASTRONOMICZNYCH.... 47**

|                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| PODSTAWY GEOLOGII .....                                                             | 48  |
| • Ziemia jako całość niebieska .....                                                | 48  |
| • Budowa wewnętrzna Ziemi .....                                                     | 52  |
| • Zmiany wyglądu Ziemi na przestrzeni epok geologicznych .....                      | 59  |
| • Strefy sejsmiczne i obszary aktywne wulkanicznie .....                            | 63  |
| • Wielkie formy ukształtowania dna oceanicznego .....                               | 70  |
| POWŁOKA GAZOWA ZIEMI .....                                                          | 74  |
| • Budowa atmosfery ziemskiej .....                                                  | 74  |
| • Rodzaje chmur .....                                                               | 78  |
| • Jak powstaje tęcza .....                                                          | 82  |
| • Inne zjawiska optyczne w atmosferze .....                                         | 84  |
| • Zorza polarna .....                                                               | 86  |
| • Rodzaje opadów i osadów atmosferycznych .....                                     | 88  |
| • Potęga burzy .....                                                                | 90  |
| • Ekstremalne zjawiska pogodowe: cyklony tropikalne, tornada, powodzie, susze ..... | 92  |
| KLIMAT .....                                                                        | 96  |
| • Pogoda a klimat .....                                                             | 96  |
| • Naturalne czynniki kształtujące klimat .....                                      | 98  |
| • Strefy oświetlenia i strefy klimatyczne na Ziemi .....                            | 100 |
| • Tajemnicze El Niño .....                                                          | 104 |
| • Wahania klimatu w ciągu dziejów .....                                             | 105 |
| • Zlodowacenia na terenie Polski i ich pozostałości .....                           | 107 |
| • Astronomiczne cykle Milankowicia .....                                            | 109 |
| • Aktywność słoneczna i promieniowanie kosmiczne .....                              | 110 |
| • Wpływ człowieka na klimat .....                                                   | 112 |
| • Prognozowanie pogody .....                                                        | 114 |
| ŻYCIE NA ZIEMI .....                                                                | 116 |
| • Masowe wymierania w dziejach Ziemi .....                                          | 116 |
| • 65 milionów lat temu na Jukatanie .....                                           | 119 |
| • Czy życie przybyło z kosmosu? .....                                               | 122 |
| • Ruchy Ziemi a dzień i noc .....                                                   | 124 |
| • Zmiana wyglądu nieba w zależności od miejsca i czasu obserwacji .....             | 128 |

## **OBSERWACYJNE ABC ..... 131**

|                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| BADANIE KOSMOSU .....                                                               | 132 |
| • Odległości na niebie .....                                                        | 132 |
| • Podstawowe współrzędne astronomiczne .....                                        | 135 |
| • Ścieżki i drogowskazy na sklepieniu niebieskim .....                              | 136 |
| • Oczy, lornetka, teleskop astronomiczny i montaż .....                             | 138 |
| • Osiągnięcia miłośników astronomii .....                                           | 142 |
| • Niebo w komputerze i smartfonie .....                                             | 146 |
| • Stacje bolidowe .....                                                             | 148 |
| • Poszukiwania meteorytów .....                                                     | 149 |
| • Największe teleskopy świata .....                                                 | 150 |
| • Dlaczego wynosimy teleskopy poza Ziemię .....                                     | 156 |
| • Kosmiczny Teleskop Hubble'a i jego następca Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba ..... | 158 |





|                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------|-----|
| PIERWSZY KOSMICZNY SPACER .....                                   | 162 |
| • Najnowsze technologie.....                                      | 162 |
| • Organizacja miejsca obserwacji .....                            | 163 |
| • Dbłość o instrument optyczny .....                              | 164 |
| • Miejsce obserwacji .....                                        | 165 |
| • Rezerваты ciemnego nieba .....                                  | 166 |
| • Ubiór .....                                                     | 170 |
| • Budowa amatorskiego obserwatorium astronomicznego .....         | 171 |
| ASTROFOTOGRAFIA .....                                             | 177 |
| • XX wiek w fotografii nieba .....                                | 178 |
| • Warunki do astrofotografii.....                                 | 180 |
| • Fotografia: efekt finalny.....                                  | 181 |
| • Ekspedycje astrofotograficzne do odległych zakątków świata..... | 182 |

**NIEBO – ROZPOCZYNAMY PRZYGODĘ ..... 185**

|                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------|-----|
| RODZAJE OBIEKTÓW NA NIEBIE.....                             | 186 |
| • Gwiazdy.....                                              | 186 |
| • Ewolucja gwiazd.....                                      | 190 |
| • Planety .....                                             | 194 |
| • Naturalne satelity planet.....                            | 195 |
| • Planetoidy.....                                           | 196 |
| • Komety.....                                               | 197 |
| • Meteory.....                                              | 198 |
| • Gwiazdy podwójne i wielokrotne .....                      | 201 |
| • Gwiazdy zmienne.....                                      | 203 |
| • Gromady gwiazd .....                                      | 204 |
| • Mgławice.....                                             | 208 |
| • Galaktyki.....                                            | 211 |
| • Kwazary.....                                              | 214 |
| • Sztuczne satelity .....                                   | 215 |
| • Świat egzoplanet, czyli w poszukiwaniu drugiej Ziemi..... | 216 |
| SKĄD SIĘ WZIĘŁY GWIAZDOZBIORY? .....                        | 220 |

**GWIAZDOZBIORY..... 227**

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| NIEBO W STYCZNIU            |     |
| • Woźnica.....              | 228 |
| • Mała Niedźwiedzica.....   | 229 |
| • Orion.....                | 230 |
| • Erydan .....              | 232 |
| • Smok.....                 | 233 |
| NIEBO W LUTYM               |     |
| • Byk.....                  | 236 |
| • Wielki Pies.....          | 238 |
| • Hydra .....               | 239 |
| • Pompa .....               | 240 |
| • Sekstant .....            | 241 |
| NIEBO W MARCU               |     |
| • Mały Pies.....            | 242 |
| • Rak.....                  | 243 |
| • Wielka Niedźwiedzica..... | 244 |
| • Kompas .....              | 246 |
| • Mały Lew .....            | 247 |
| NIEBO W KWIETNIU            |     |
| • Lew .....                 | 250 |
| • Panna .....               | 252 |
| • Puchar .....              | 254 |
| • Kruk.....                 | 255 |
| • Ryś.....                  | 256 |
| • Żyrafa .....              | 257 |



## NIEBO W MAJU

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| • Warkocz Bereniki..... | 259 |
| • Wolarz .....          | 260 |
| • Korona Północna.....  | 262 |
| • Psy Gończe .....      | 263 |
| • Waga .....            | 264 |

## NIEBO W CZERWCU

|                 |     |
|-----------------|-----|
| • Herkules..... | 266 |
| • Wężownik..... | 268 |
| • Wąż .....     | 270 |

## NIEBO W LIPCU

|                 |     |
|-----------------|-----|
| • Lutnia .....  | 272 |
| • Łabędź .....  | 274 |
| • Orzeł .....   | 276 |
| • Lisek.....    | 277 |
| • Strzała ..... | 278 |
| • Żrebię .....  | 279 |

## NIEBO W SIERPNIU

|                    |     |
|--------------------|-----|
| • Skorpion.....    | 282 |
| • Strzelec.....    | 284 |
| • Delfin .....     | 286 |
| • Tarcza .....     | 287 |
| • Jaszczurka ..... | 288 |

## NIEBO WE WRZEŚNIU

|                   |     |
|-------------------|-----|
| • Wodnik .....    | 290 |
| • Pegaz .....     | 292 |
| • Kasjopeja.....  | 294 |
| • Koziorożec..... | 295 |
| • Cefeusz.....    | 296 |

## NIEBO W PAŹDZIERNIKU

|                  |     |
|------------------|-----|
| • Perseusz ..... | 298 |
| • Andromeda..... | 300 |
| • Wieloryb ..... | 302 |
| • Ryby .....     | 304 |
| • Rzeźbiarz..... | 305 |

## NIEBO W LISTOPADZIE

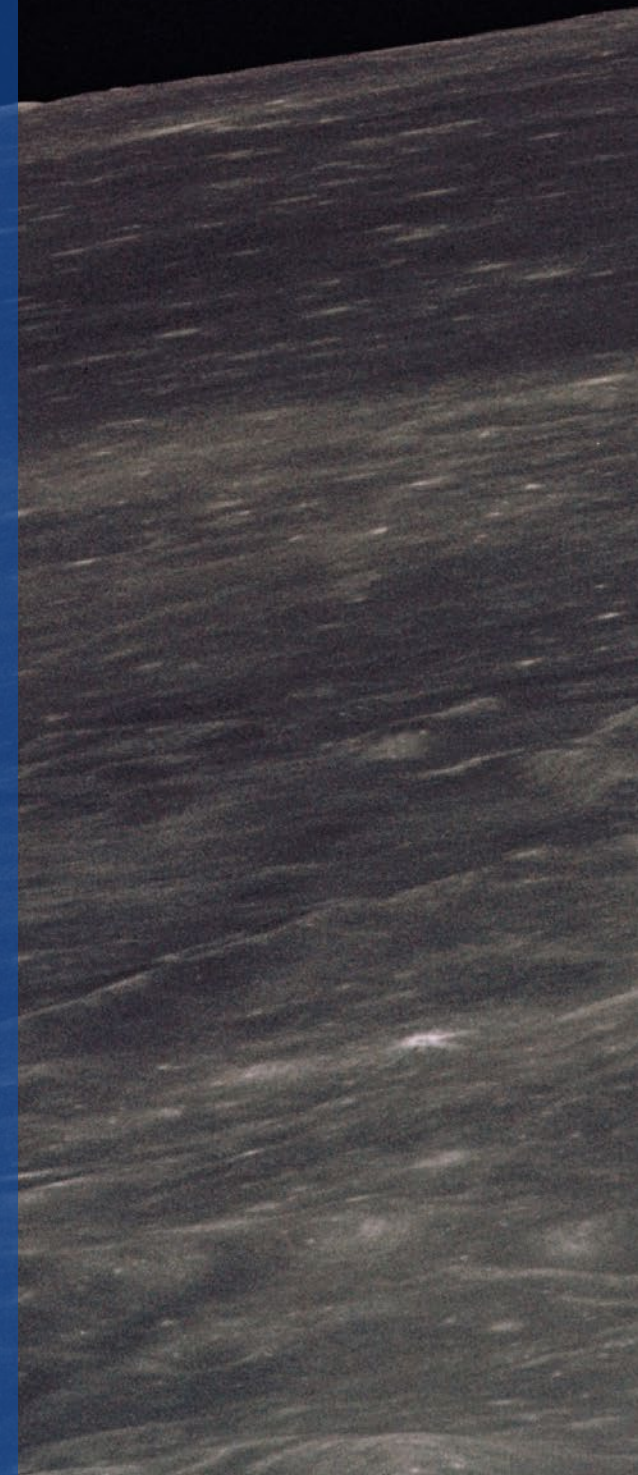
|                         |     |
|-------------------------|-----|
| • Trójkąt.....          | 306 |
| • Baran .....           | 307 |
| • Ryba Południowa ..... | 308 |
| • Piec .....            | 309 |

## NIEBO W GRUDNIU

|                    |     |
|--------------------|-----|
| • Bliźnięta .....  | 312 |
| • Rufa .....       | 314 |
| • Zając .....      | 315 |
| • Jednorożec ..... | 316 |
| • Gołąb .....      | 317 |

## NIEBO POŁUDNIOWE ..... 319

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| SKARBY NIEBA POŁUDNIOWEGO .....        | 320 |
| • Konstelacje nieba południowego ..... | 321 |
| • Wielki Obłok Magellana .....         | 322 |
| • Mały Obłok Magellana .....           | 330 |
| • Gwiazdozbiór Centaura .....          | 332 |
| • Mgławica w konstelacji Kila .....    | 334 |







|                                                                        |            |
|------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>UKŁAD SŁONECZNY.....</b>                                            | <b>339</b> |
| SŁOŃCE.....                                                            | 340        |
| • Zjawiska na powierzchni Słońca .....                                 | 344        |
| • Najbliższe gwiazdne sąsiedztwo Słońca .....                          | 348        |
| KSIĘŻYC.....                                                           | 356        |
| • Budowa wewnętrzna Księżyca.....                                      | 360        |
| • Dotychczasowy podbój Księżyca i jego eksploracja w przyszłości ..... | 362        |
| WENUS I MERKURY .....                                                  | 368        |
| • Balonem wśród wenusjańskich chmur.....                               | 372        |
| MARS .....                                                             | 374        |
| JOWISZ.....                                                            | 380        |
| • Największa kosmiczna kolizja naszych czasów .....                    | 383        |
| • Wodny ocean Europy.....                                              | 384        |
| SATURN .....                                                           | 385        |
| • Węglowodorowe jeziora i rzeki na Tytanie .....                       | 388        |
| URAN I NEPTUN.....                                                     | 390        |
| • Czy istnieją inne odległe planety w Układzie Słonecznym? .....       | 392        |
| PLANETOIDY, KOMETY I ROJE METEORÓW .....                               | 394        |
| • Komety .....                                                         | 396        |
| • Roje meteorów.....                                                   | 398        |
| • Czy bać się upadków planetoid? .....                                 | 400        |
| • Sonda New Horizons i jej misja do Plutona.....                       | 402        |
| ZAĆMIENIE SŁOŃCA I KSIĘŻYCA.....                                       | 404        |
| • Inne zjawiska zakryciowe.....                                        | 407        |
| GWIAZDY ZMIENNE I SUPERNOWE.....                                       | 408        |
| • Poszukiwania supernowych.....                                        | 410        |
| ASTRONAUTYKA.....                                                      | 411        |
| • Sonda Dawn i jej misja do Westy oraz Ceres.....                      | 411        |
| <br>                                                                   |            |
| <b>60 LAT PODBOJU KOSMOSU .....</b>                                    | <b>413</b> |
| <b>CO CZEKA NAS W NAJBLIŻSZEJ PRZYSZŁOŚCI? .....</b>                   | <b>417</b> |
| <b>CZY CZŁOWIEK OPUŚCI KIEDYŚ ZIEMIĘ? .....</b>                        | <b>418</b> |
| <br>                                                                   |            |
| <b>SŁOWNICZEK.....</b>                                                 | <b>420</b> |
| <b>LITERATURA POMOCNICZA .....</b>                                     | <b>431</b> |
| <b>INDEKS .....</b>                                                    | <b>434</b> |



# WSTĘP

Poznanie tajemnic przyrody to pasja. Ogarnięci nią ludzie już od zarania dziejów bacznie przyglądali się otaczającym ich gatunkom roślin i zwierząt, krajobrazowi, w którym przyszło im żyć, zjawiskom zachodzącym na powierzchni planety i w jej atmosferze. Przyrodzona naszemu gatunkowi ciekawość świata skierowała się również ku gwiazdom i planetom, choć początkowo wiedza ta była bardzo iluzoryczna, pełna sprzeczności, więcej w niej było magii niż twardych, naukowych faktów. Z upływem czasu potwierdzone odkrycia stawały się podstawą formułowania kolejnych wniosków. Ten samonapędzający się mechanizm obserwujemy również współcześnie. Najnowsze odkrycia bądują na dorobku poprzednich pokoleń, twórczo go rozwijając. Wizerunek naukowca-samotnika zastąpiły wieloosobowe, często międzynarodowe ekspedycje, hojnie sponsorowane nie tylko przez państwo, ale i prywatnych sponsorów. Nauka stała się popularna i dostępna każdemu. Nie jest to już hermetycznie zamknięty świat, gdzie zwykły śmiertelnik traktowany jest jak intruz. Świadomość, że jego pieniądze zasilające budżet w postaci podatków są częściowo redystrybuowane do placówek badawczych, coraz częściej wyzwala naturalną potrzebę domagania się dostępu do najnowszych odkryć i wyjaśnienia ich konsekwencji w przystępny sposób.

Przyrodnik najczęściej nie potrzebuje wielkich laboratoriów i superkomputerów. Jego polem działania jest otaczający świat, rozmiarami znacznie przewyższający największe nawet kompleksy naukowo-technologiczne. Geograf opisuje nowo poznane lądy, etnograf bada zamieszkujące je kultury, botanik klasyfikuje odnalezioną tam roślinność, a zoolog skupia się na faunie. Astronom wybiega znacznie dalej – w przestrzeń kosmiczną, z perspektywy której Ziemia jest tylko mikroskopijnym pyłkiem.

Pomimo naszego niewielkiego znaczenia wobec potęgi Wszechświata, jesteśmy paradoksalnie fundamentalnie dla niego ważni. To my, jako rozumne istoty, zadajemy sobie pytania na temat jego sensu. Są i tacy, którzy ową zdolność wynoszą jeszcze wyżej, czyniąc z niej warunek istnienia Wszechświata w ogóle. Po cóż bowiem miałyby krążyć planety, gwiazdy rodzić się i umierać, jeśli nikt i nic nie wiedziałoby o tym? To dywagacje filozoficzne i z gatunku ważkich. Nie stroniąc od nich całkowicie, skupmy się jednak na tym, co każdy z nas może w swoim indywidualnym zakresie uczynić, żeby świadomie kontemplować dzieło stworzenia.

Tematem przewodnim tej książki jest niebo rozumiane w szerokim sensie przyrodniczym. Po pierwsze niebo i zjawiska na nim zachodzące, a więc pogoda i klimat, przedmiotem rozważań będzie budowa i skład atmosfery ziemskiej, rodzaje chmur i typy opadów atmosferycznych, warunki powstawania cyklonów tropikalnych i tornad, klęski żywiołowe, cykl obiegu wody w przyrodzie, zjawiska optyczne w atmosferze. Po drugie niebo jako odległy świat mgławic, galaktyk, planet, komet i planetoid, wielkich kosmicznych katastrof i eksplozji, niewiarygodnych prędkości i energii. Przy okazji tych rozważań pojawiają się też interesujące wątki poszerzające treść o zagadnienia dotyczące budowy wewnętrznej Ziemi i jej skomplikowanej historii geologicznej, zmian fauny i flory w odległych epokach, nośnych ostatnio medialnie koncepcji antropogenicznych i naturalnych zmian klimatu,



aktywności wewnętrznej planety i związanych z nią zjawisk sejsmicznych oraz wulkanicznych, wpływającego na klimat w skali globalnej El Niño i wielu innych. W książce znalazły się także wiadomości dotyczące tego, jak przygotować się do pierwszego spaceru pośród gwiazd. Przedstawiamy obszernie informacje na temat odległości na niebie, sprzętu do obserwacji oraz budowy amatorskiego obserwatorium astronomicznego. Pasjonaci fotografii dowiedzą się także, jak uwiecznić swoje kosmiczne odkrycia za pomocą zestawów do astrofotografii.

Przyrodnikiem może zostać każdy, kto z bliskiem w oku zafascynowany patrzy na świat jak na wielki i piękny kalejdoskop zdarzeń ofiarowany człowiekowi przez naturę. Jest to tym bardziej wzniosłe, że sami jesteśmy jego rozumnym elementem. Przy wszystkich swoich wadach, to od nas zależy, czy utrzymamy się na gatunkowym piedestale, czy też

wojnami, sporami i rabunkową gospodarką strącimy się w przepaść. Lektura albumu poszerza horyzonty, uczy pokory i skłania do refleksji nad miejscem człowieka na Ziemi – niewielkim globie zawieszonym wśród planet Układu Słonecznego. Przyroda poradzi sobie bez nas doskonale, ale my bez niej nie mamy racji bytu. Warto o tym pamiętać.

*Mojemu przyjacielowi  
Pawłowi Maksymowi (1983–2013)*







A deep space photograph showing a vast field of stars and distant galaxies. A prominent reddish-orange nebula is visible on the left side, while the rest of the sky is filled with numerous bright and faint stars. The bottom of the image is partially covered by a dark blue horizontal band.

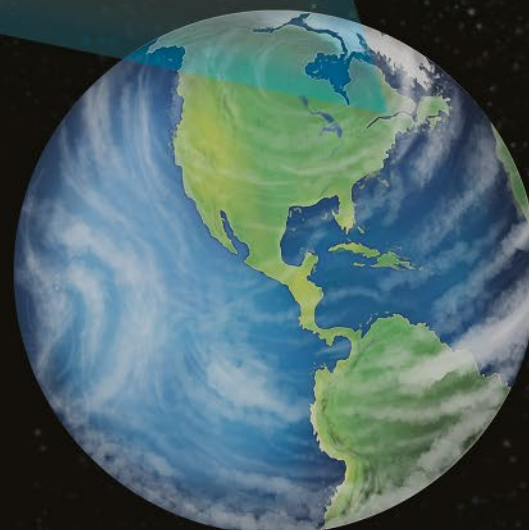
**WSZECHŚWIAT**





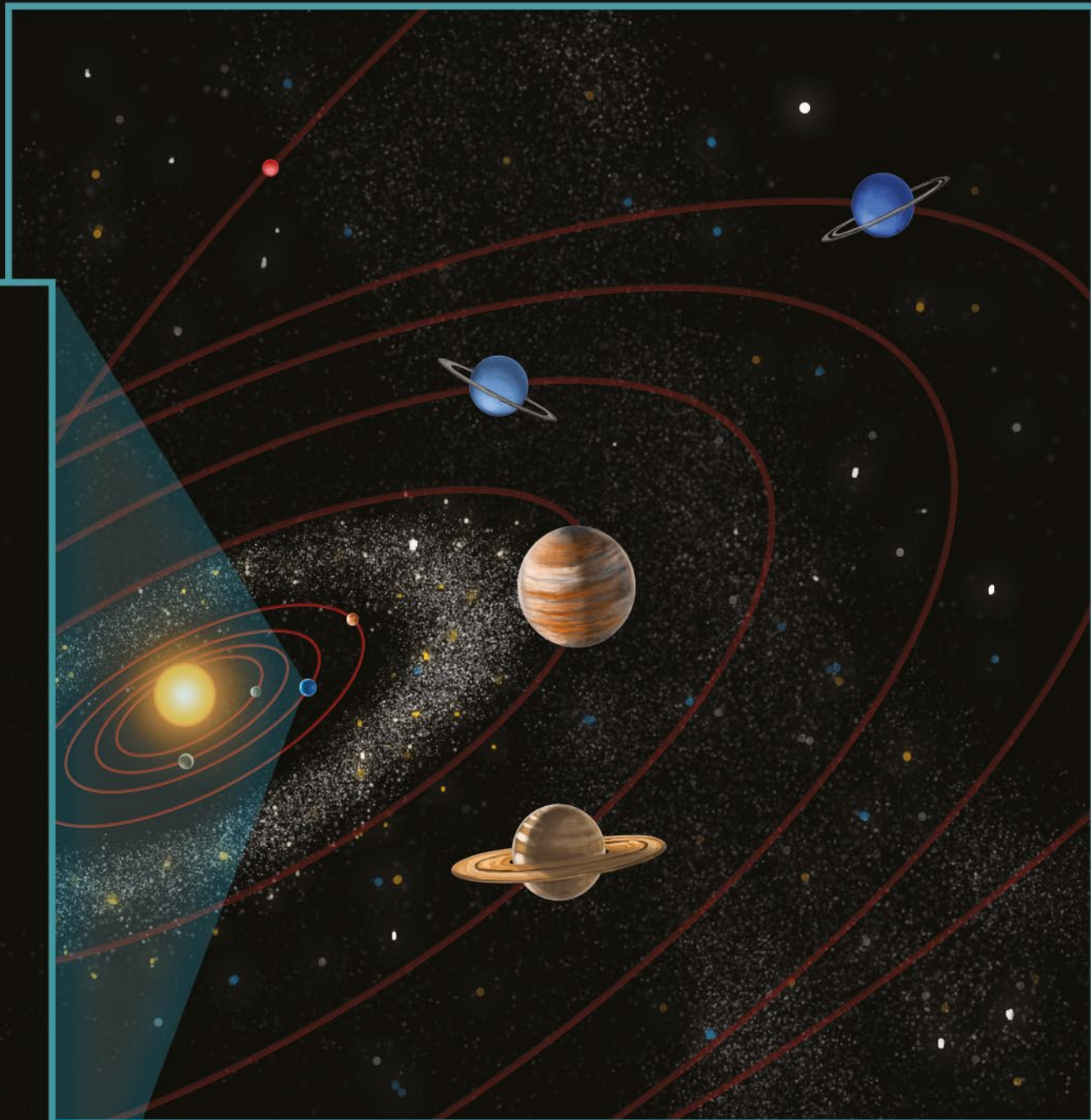
▲  
Odległości w skali metrów,  
kilometrów, setek  
i tysięcy kilometrów  
znamy z naszego  
ziemskiego podwórka

Setki tysięcy i miliony  
kilometrów wyznaczają  
najbliższe kosmiczne  
sąsiedztwo Ziemi

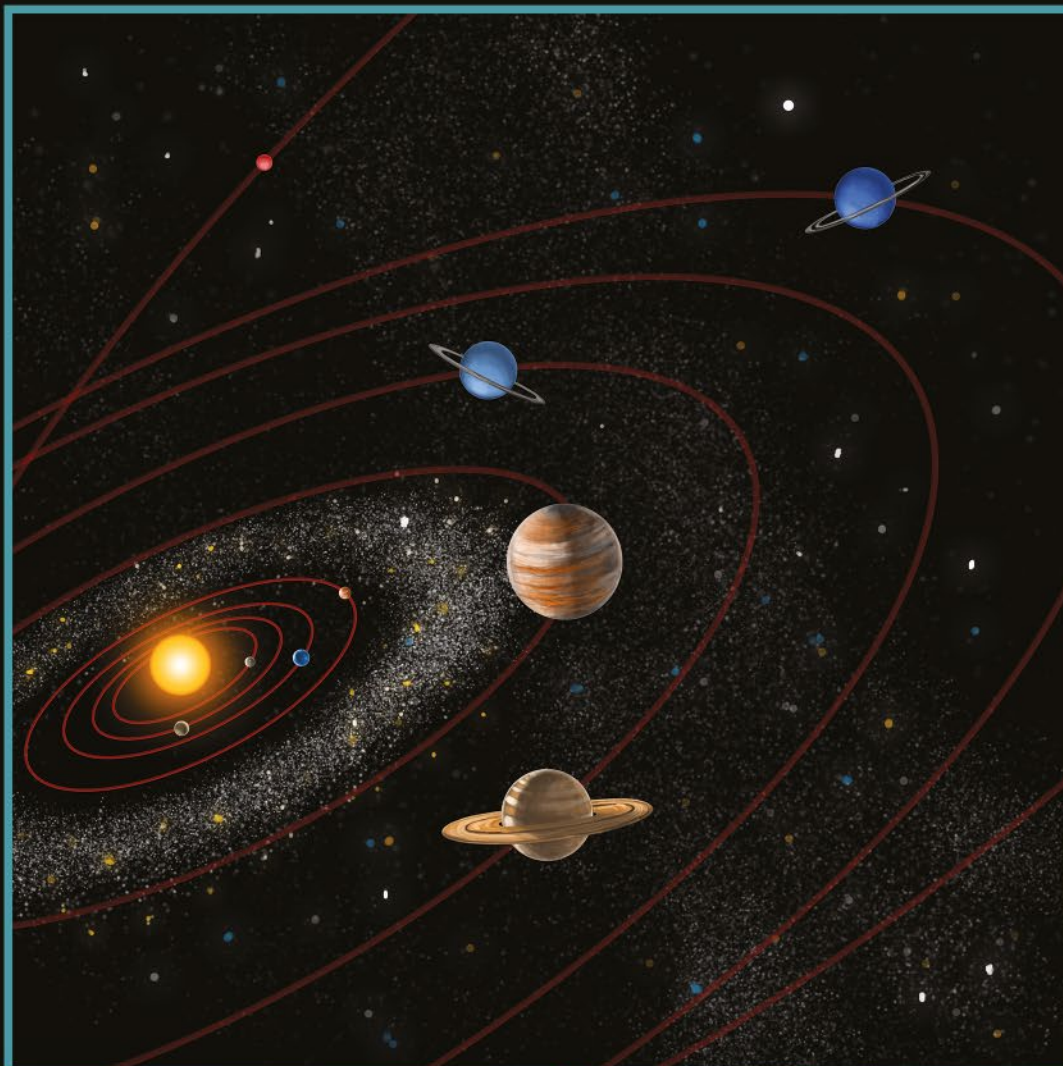




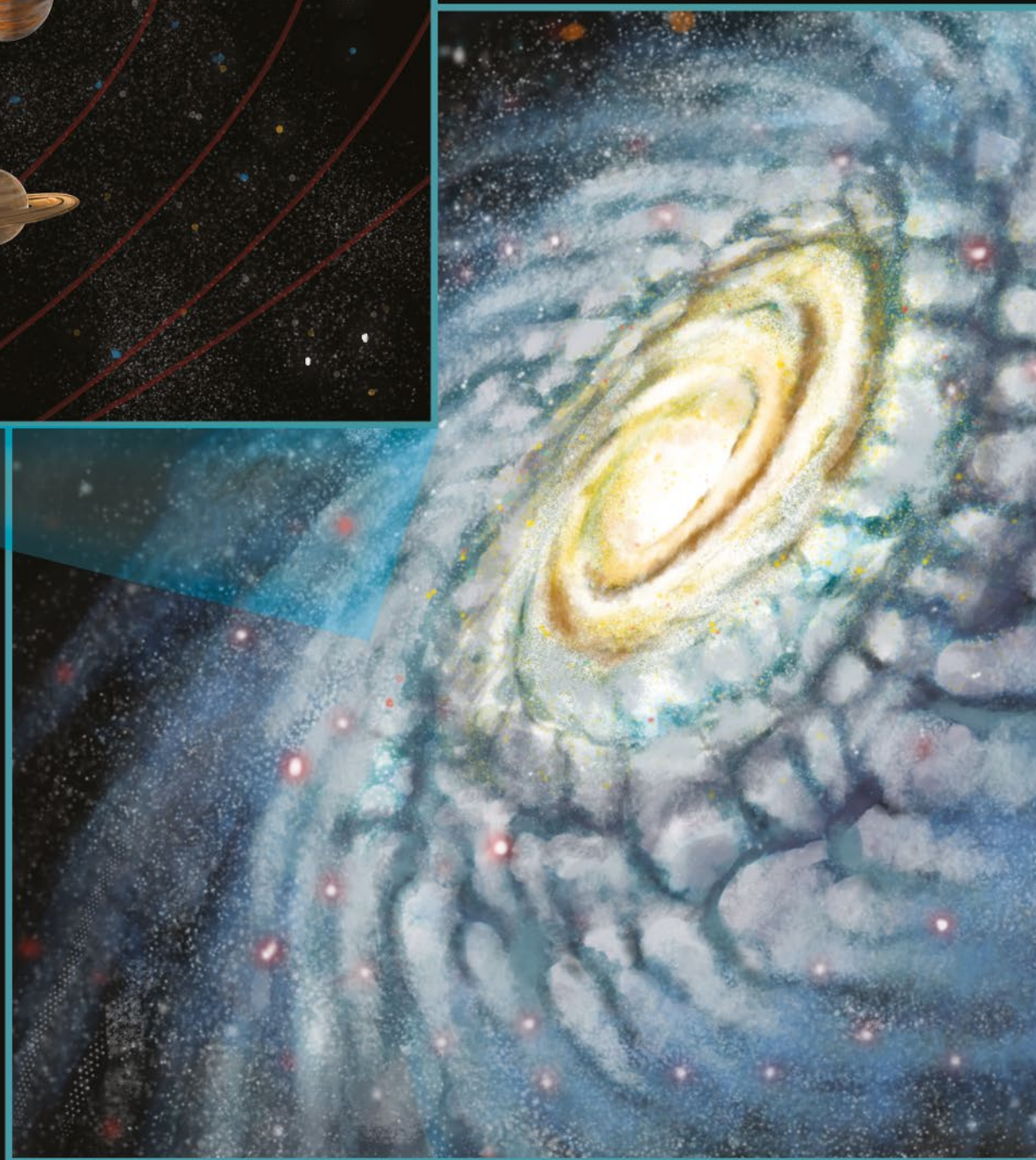
Dziesiątki i setki milionów  
kilometrów to odległości w skali  
planet w Układzie Słonecznym



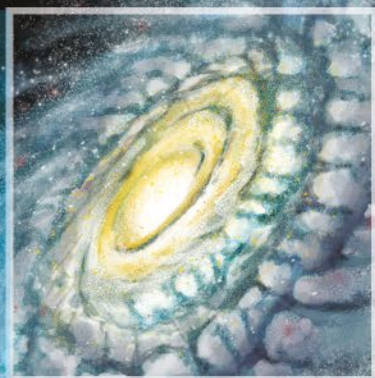




Dziesiątki, setki, tysiące i dziesiątki tysięcy lat świetlnych służą do wyznaczania odległości pomiędzy obiektami leżącymi we wnętrzu Drogi Mlecznej - gwiazdami, gromadami gwiazd i mgławicami

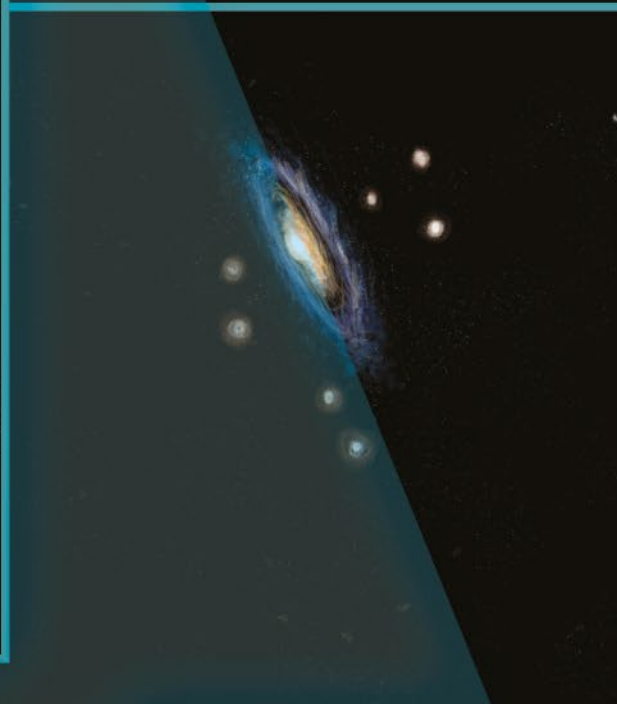






▲  
Setki tysięcy lat świetlnych wyznaczają  
rozmiary Drogi Mlecznej i położenie  
jej najbliższych galaktyk satelitarnych





Miliony, dziesiątki i setki  
milionów lat świetlnych  
to odległości w skali grup,  
gromad i supergromad galaktyk







▲  
W skali miliardów lat świetlnych  
Wszechświat wygląda jak  
skomplikowana sieć włókien  
utworzonych z sąsiadujących  
ze sobą gromad galaktyk,  
przedzielonych ogromnymi  
obszarami pustki





# TEORIA WIELKIEGO WYBUCHU

**L**udzie od zawsze starali się znaleźć odpowiedź na fundamentalne pytanie, jak to wszystko się zaczęło. Pod pojęciem „wszystko” można rozumieć dosłownie każdą materialną rzecz ożywioną i nieożywioną, które w ramach praw fizyki wypełniają całą przestrzeń dostępną nie tylko naszym bezpośrednim obserwacjom, lecz także to, co do tej pory wymyka się poznaniu. Jak więc zaczął się Wszechświat? – bo właśnie to słowo skupia w sobie wszystkie poszukiwania naukowców, filozofów i myślicieli religijnych. Ci ostatni w ramach i na podstawie dogmatów wiary mają z reguły gotowe odpowiedzi, które mniej lub bardziej przystają do osiągnięć nauki, a czasem zupełnie ją negują. W tym opracowaniu skupimy się rzecz jasna na podejściu metodycznym, które przyświeca wszystkim ceniącym znaczenie

eksperymentów myślowych i obserwacji empirycznej jako podstawowych instrumentów badania przyrody. Po zwycięstwie idei kopernikańskiej, która z Ziemi uczyniła tylko jedną z niczym niewyróżniających się planet w Układzie Słonecznym, kolejne odkrycia jeszcze bardziej podkopywały ów piedestał, na którym ludzie zwykli stawiać swój gatunek. W późniejszych czasach okazało się, że Słońce jest jedynie jedną z miliardów gwiazd tworzących ogromny dysk, zwany galaktyką. Droga Mleczna, nasza kosmiczna wyspa Wszechświata, to tylko jedna z setek albo tysięcy miliardów galaktyk, które jak ona zawierają miliardy gwiazd. Wokół tych gwiazd krążą niezliczone ilości planet, komet, planetoid i drobnego pyłu.

Świat wielkich liczb, w który tutaj wkraczamy, jest niewralgicznie przypisany astronomii i jej prężnie rozwijającej

się fascynującej dyscyplinie zwanej kosmologią. To w niej na podstawie zebranego materiału obserwacyjnego, modeli teoretycznych, zdobyczy fizyki kwantowej i teorii względności, formułuje się hipotezy na temat początków świata, warunków, w jakich dokonywało się dzieło stworzenia. Odkrycie w 1929 roku przez Edwina Hubble’a ucieczki galaktyk (przewidzianej teoretycznie 2 lata wcześniej przez belgijskiego księdza Georges’a Lemaître’a), które amerykański uczony zawarł w wyjątkowo pięknym i eleganckim formalnie prawie fizyki (prawie Hubble’a), zwróciło uwagę naukowców na ekstrapolowaną w przeszłość jego konsekwencję. Wskazywała ona, że w zamierzłej historii wszystkie galaktyki musiały znajdować się bardzo blisko siebie. Cofając się w czasie jeszcze dalej, dochodzimy do okoliczności, w których cała materia i energia znajdowały się





▲ Ekstremalnie Głębokie Pole Hubble'a

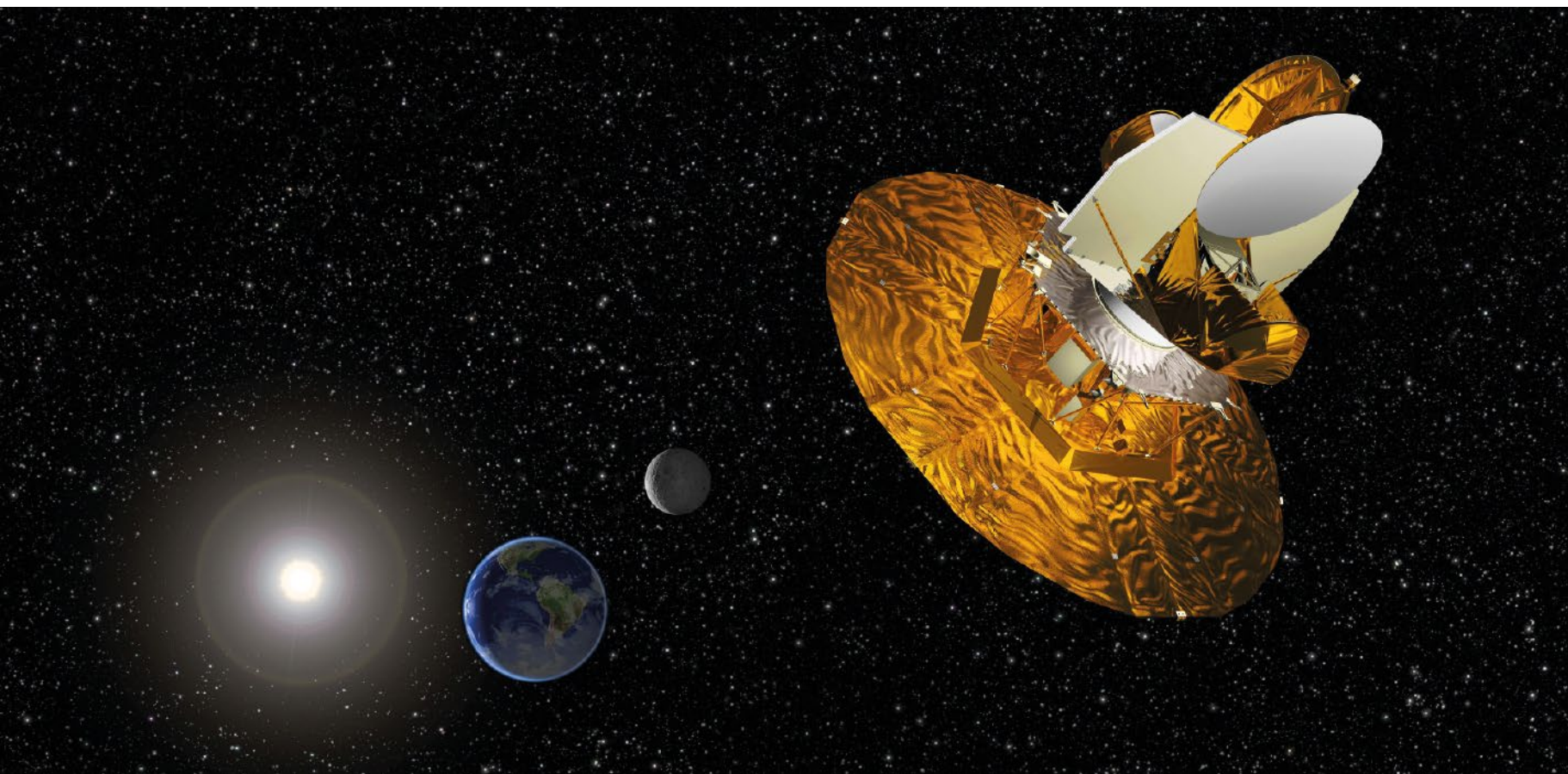
w niewielkiej, bardzo gorącej i gęstej objętości, w czymś w rodzaju matematycznego punktu zwanego osobliwością. Ów punkt, który pojawił się niespodziewanie i bez wiadomych przyczyn, zaczął się nagle rozprzestrzeniać, przy czym ekspansja ta nie odbywała się w uprzednio „przygotowanej” lub istniejącej przestrzeni. Przestrzeń ta pojawiła się i zaczęła ekspandować razem ze wszystkim, co zawierała. Jakby tego było mało, w tej

gwałtownej eksplozji pojawił się też czas, który wcześniej nie istniał.

Czas, jaki upłynął od momentu zwanego Wielkim Wybuchem, określa się na mniej więcej 13,8 miliarda lat. Warto zauważyć, że koncepcja gwałtownych narodzin Wszechświata była początkowo przyjmowana bardzo sceptycznie, a sama nazwa Wielki Wybuch (ang. Big Bang), której użył brytyjski kosmolog Fred Hoyle, miała wydźwięk ironiczno-

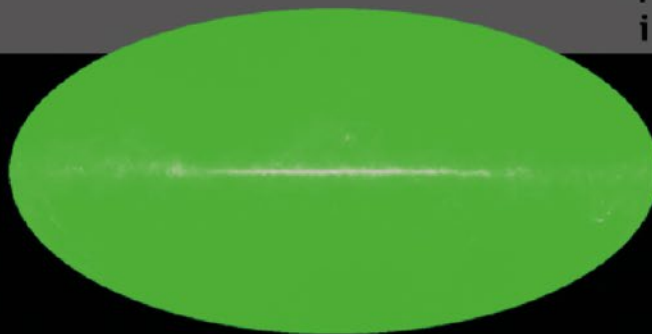
-szyderczy. Konkurującą hipotezą w tym czasie była teoria stanu stacjonarnego, która zakładała, że Wszechświat istniał zawsze, a to, że hubbleowskie oddalanie się galaktyk nie powoduje zmian jego jednorodności i gęstości, wynika z nieustannej kreacji materii. Ten ostatni efekt był jednak sprzeczny z zasadą zachowania masy, co mocno podważało zasadność teorii. Dodatkowo, przewidziane teoretycznie przez Georga Gamow promieniowanie reliktowe, które miało wypełniać całą przestrzeń i być echem dawnej epoki gorącego oraz gęstego Wszechświata, w roku 1965 zostało odkryte przez Arno Penziasa i Roberta Wilsona. To nagrodzone Nagrodą Nobla odkrycie ostatecznie przekonało świat nauki, że o ile teoria Wielkiego Wybuchu nie tłumaczy całości zagadnień początków Wszechświata, o tyle najbardziej zbliża się do ich wyjaśnienia i warto na jej bazie budować kolejne, pełniejsze hipotezy. Dalsze mapowanie niejednorodności promieniowania relikтового, dokonane przez satelity COBE (ang. Cosmic Background Explorer, pol. Badacz Tła Kosmicznego) i WMAP (ang. Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), potwierdziły model,

▼ Artystyczna wizja gromadzenia danych przez WMAP (potrzebnych do zrozumienia początków Wszechświata)





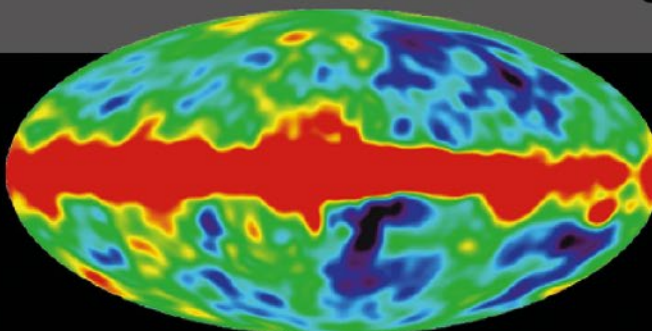
1965

Penzias  
i Wilson

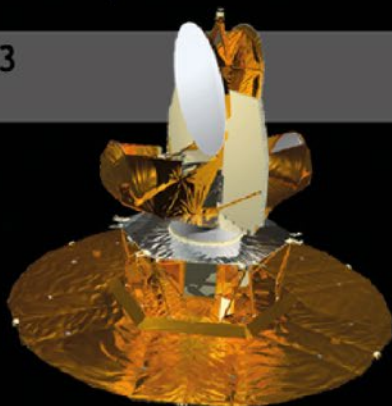
1992



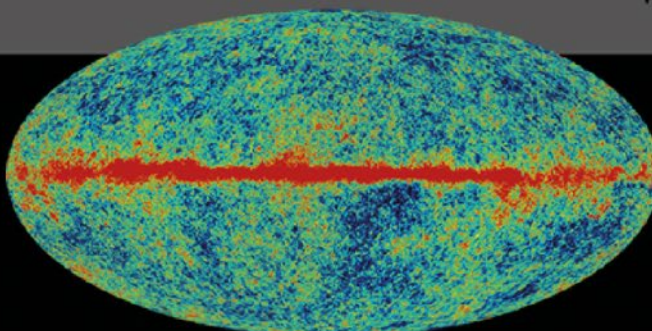
COBE



2003



WMAP



▲ Krótka historia badań nad promieniowaniem tła. Penzias i Wilson odkryli pozostałości poświaty po Wielkim Wybuchu. Satelita COBE pierwszy odkrył niejednorodności w tejże poświacie. Satelita WMAP zbadał rozkład promieniowania tła w znacznie lepszej rozdzielczości

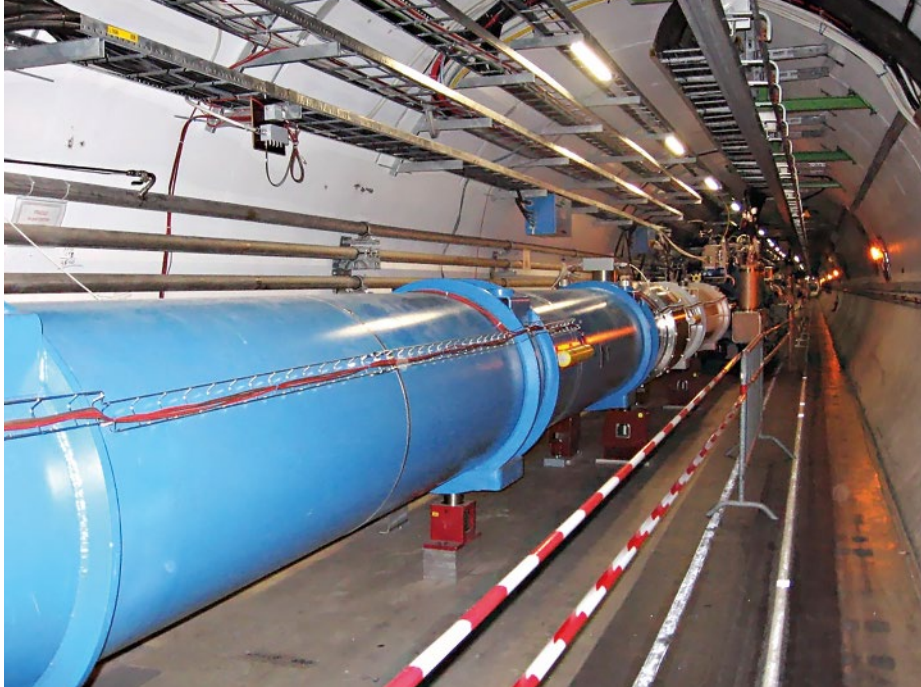
na podstawie którego wyłania się taki oto obraz głównych etapów ewolucji Wszechświata.

Era Plancka, trwająca od Wielkiego Wybuchu do około  $10^{-43}$  sekundy po nim, była okresem, w którym w warunkach gęstości sięgającej  $10^{97} \text{ kg/m}^3$  nie obowiązywały znane nam prawa fizyki. Nie sposób więc opisać, co działo się w tak krótkim odcinku czasu poza przypuszczeniem, że nad materią zdecydowanie dominowała energia, a temperatura układu spadała. Być może nowe teorie łączące grawitację z fizyką kwantową będą w stanie objąć ten okres. Kolejna

era, kwarkowo-gluonowa, trwała do  $10^{-4}$  sekundy i przyniosła gwałtowne rozszerzanie się przestrzeni, zwane inflacją. Dzięki niej obserwuje się we wszystkich kierunkach jednorodność Wszechświata. W tym też okresie doszło do złamania symetrii wśród cząstek elementarnych, gdyż po intensywnej anihilacji ustaliła się przewaga między cząstkami i antycząstkami. Dało to początek materii, z której zbudowany jest nasz świat. Ten etap ewolucji Wszechświata jest wnikliwie studiowany przez fizyków wysokich energii, którzy pracują na akceleratorach, czyli wielkich zderzaczach cząstek

elementarnych. Urządzenia te pozwalają bowiem uzyskiwać warunki ogromnych ciśnień i temperatur, w których protony, neutrony, elektrony i inne cząstki w wyniku zderzeń rozpadają się na elementy składowe. Era leptonowa trwała do 10 sekundy po Wielkim Wybuchu. Wciąż anihilowało w niej wiele typów cząstek, neutrino przestały oddziaływać z materią, zaczęły powstawać pierwsze jądra deuteru, helu i litu. Przez następnych kilka minut przebiegał intensywny proces nukleosyntezy. W trakcie ery promieniowania, która trwała do kilkuset tysięcy lat po Wielkim Wybuchu





▲ Wielki Zderzacz Hadronów (LHC). Za pomocą tego typu urządzeń fizycy zbliżają się do poznania najgłębszych tajemnic atomów i ich najbardziej elementarnych składników. Warunki uzyskiwane w akceleratorach temperaturą, ciśnieniem i gęstością materii są zbliżone są do tych, które panowały w bardzo młodym Wszechświecie

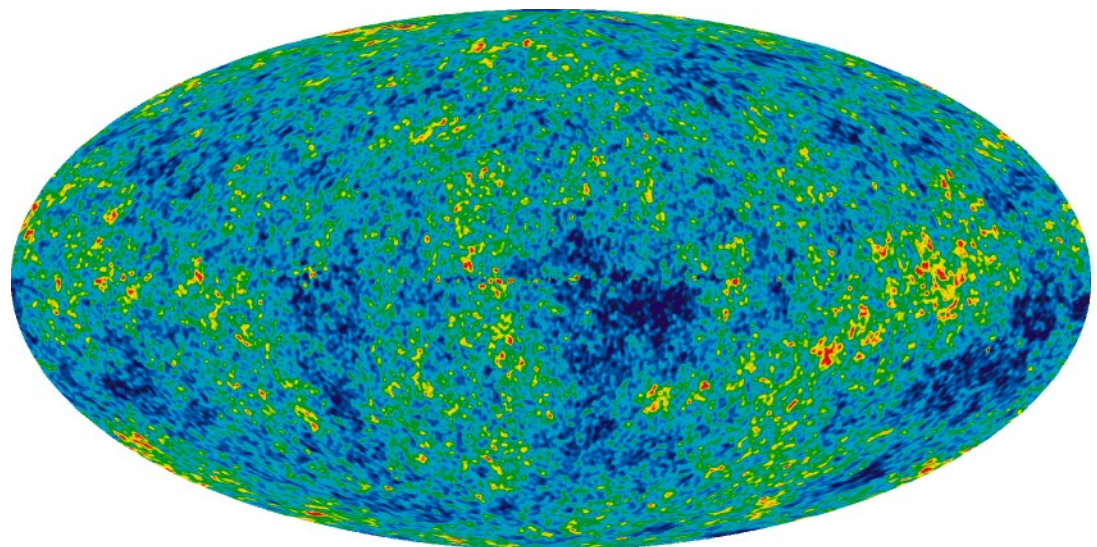
Wszechświat wypełniały wysokoenergetyczne fotony z domieszką wodoru, helu, które ustawicznie wchodziły ze sobą w interakcje. Temperatura wciąż spadała, by po około 10 tysiącach lat uczynić Wszechświat przezroczystym, zdominowanym przez materię. Pod koniec tego etapu protony z elektronami trwale połączyły się w jądra atomowe, a nieoddziałujące z rozrzedzoną materią fotony – dziś obserwujemy je jako promieniowanie reliktywne. Era gwiazdowa (era materii) zaczęła się około 150 milionów lat po Wielkim Wybuchu, gdy pod wpływem grawitacji wielkie obłoki wodoru i helu zaczęły się kurczyć i dawać początek pierwszym galaktykom, a w nich najstarszemu pokoleniu gwiazd. Wiemy, że nasze Słońce jest gwiazdą młodego pokolenia, a więc żółtym karłem, który zabłysnął około 5 miliardów lat temu na obrzeżu dawno uformowanego już spiralnego dysku Drogi Mlecznej.

Dalsze losy Wszechświata uzależnione są od tego, czy zawiera dostatecznie dużo materii, której sumaryczne efekty grawitacyjne w skali całej przestrzeni zdeterminują jej przyszłe zachowanie. Opisują to trzy główne scenariusze, zwane modelami Aleksandra Friedmana, od nazwiska rosyjskiego uczonego, który zaproponował je w 1922 roku. Model Wszechświata zamkniętego zakłada, że po okresie rozszerzania się nastąpi punkt zwrotny, po którym przestrzeń

wraz z zawartą w niej materią i energią zacznie się kurczyć, aż do początkowej osobliwości. Na bazie tego modelu pojawiło się wiele sensacyjnych doniesień i popularnych teorii, które mówią o cykliczności Wszechświata, który jakby pulsował w odwiecznym rytmie wielkich ekspansji i kontrakcji. Model otwarty mówi, że przy związanych z brakiem odpowiedniej masy niedostatku efektów grawitacyjnych dążących do ponownego zapadania się Wszechświata, będzie się on rozszerzał w nieskończoność, a gęstość materii wraz z upływem czasu będzie się zbliżała do zera. Ta dość

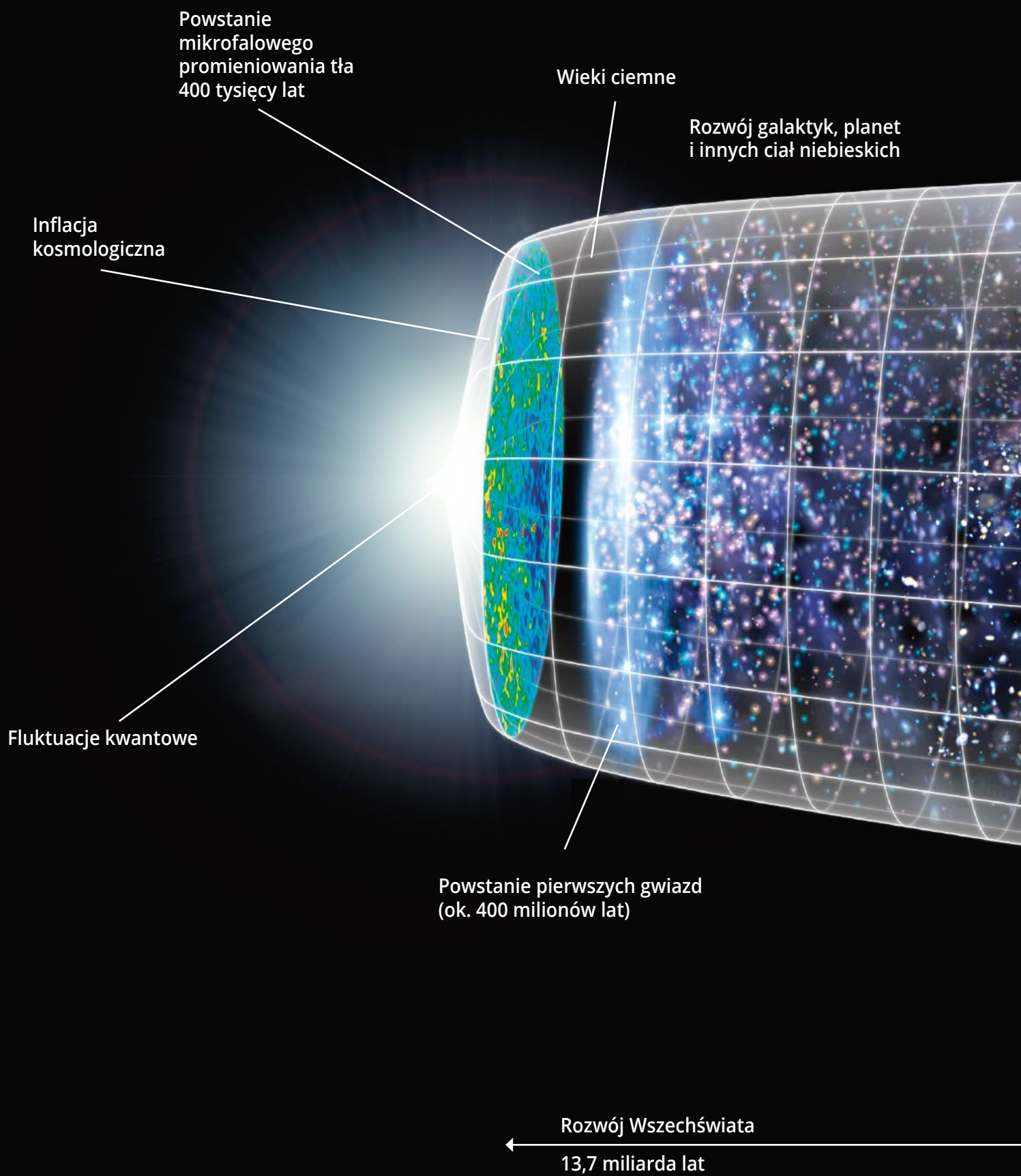
ponura wizja prowadzi do mało spektakularnych wniosków, w których ogromną, pustą przestrzeń, gdzie zgasły już wszystkie gwiazdy, wypełniać będą tylko efekty kwantowe, niemożliwe do zaobserwowania przez nikogo, gdyż życie już dawno przestało istnieć. Model Wszechświata płaskiego opisuje z kolei stan, gdy po upływie nieskończonego czasu (o ile można użyć tego logicznie sprzecznego określenia) ekspansja przestrzeni ustanie. Jest to przypadek, gdy ilość materii we Wszechświecie ma wartość równą krytycznej. Nie wiemy jeszcze, który z omawianych modeli właściwie opisuje stan faktyczny, ale odkrycie nagrodzone w 2011 roku Nagrodą Nobla, mówiące o tym, że ekspansja Wszechświata przyspiesza, wskazywałoby raczej na model otwarty. Warto uzmysłowić sobie jednak, że naszym obserwacjom podlega według różnych szacunków zaledwie tylko kilka procent całkowitej zawartości Wszechświata! Reszta, czyli ciemna materia i ciemna energia, których istnienie postulują na podstawie obserwowanych pośrednio efektów grawitacyjnych, jakie wywołują, mogą implikować zupełnie inne scenariusze. Z pewnością w tej kwestii jest jeszcze wiele do poznania i będą to odkrycia o fundamentalnym znaczeniu dla zrozumienia świata, w którym żyjemy.

▼ Obraz fluktuacji mikrofalowego promieniowania tła we Wszechświecie (w zakresie +/- 200 mikrokewelwinów), utworzony przez obserwatorium WMAP na podstawie 7 lat wnikliwych pomiarów. Ziarniste struktury widoczne na ilustracji są odległym świadectwem załączków przyszłych galaktyk i ich gromad





# GŁÓWNE ETAPY

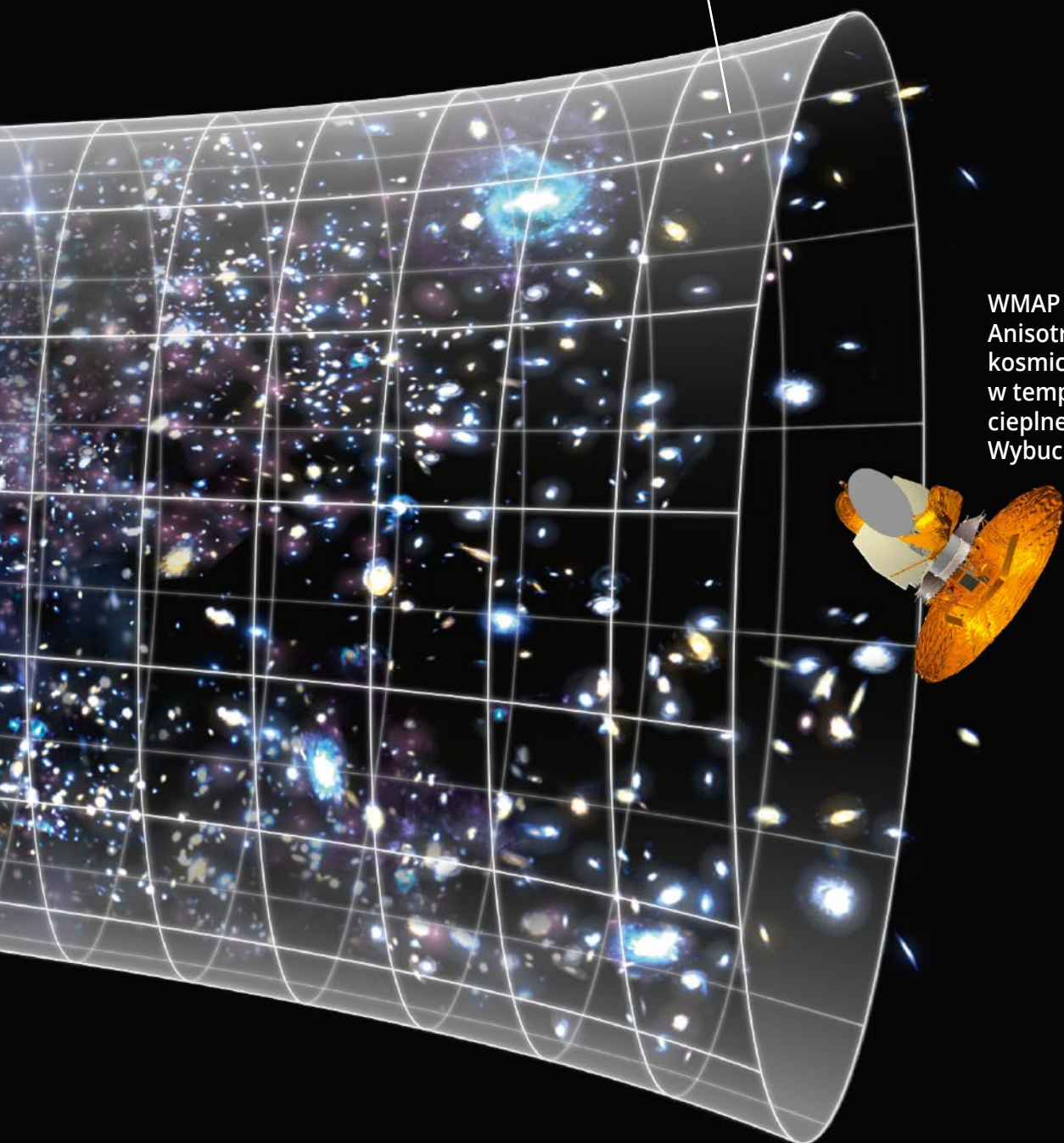




# ROZWOJU WSZECHŚWIATA

Ekspansja  
przyspieszona  
przez ciemną energię

WMAP (Wilkinson Microwave  
Anisotropy Probe) – statek  
kosmiczny, który mierzy różnice  
w temperaturze promieniowania  
ciepłego resztek po Wielkim  
Wybuchu





# DROGA MLECZNA

Gdy w pogodną noc z dala od miejskich świateł spojrzymy na sklepienie niebieskie, z pewnością zauważymy bladą, podłużną poświatę, ciągnącą się na tle konstelacji. Jej obserwacji w Polsce sprzyja zwłaszcza koniec okresu letniego, kiedy widziana w ten właśnie sposób Droga Mleczna znajduje się wysoko ponad horyzontem i przechodzi przez zenit. Starożytni mieszkańcy Peloponezu wierzyli, że była rozlanym na firmamencie mlekiem Hery, żony Zeusa, która karmi małego Heraklesa. Warto poobserwować tę poświatę za pomocą lornetki lub małego teleskopu – wtedy osłupienie z powodu niezliczonej liczby słabych gwiazd widocznych w okularze może dorównać prawdopodobnie temu, jakie przeżył Galileusz, który jako pierwszy skierował prostą lunetę w niebo.

W opracowaniach naukowych lub popularnonaukowych słowo Galaktyka



▲ Peter Paul Rubens, *Stworzenie Drogi Mlecznej*





▲ Tak prawdopodobnie wyglądałaby galaktyka Drogi Mlecznej, gdyby obserwować ją w płaszczyźnie jej dysku

pisane wielką literą odnosi się właśnie do Drogi Mlecznej. Ta Galaktyka, w której żyjemy, w której peryferyjnych rejonach powstało Słońce wraz z układem planetarnym, to ogromny, wirujący, spłaszczony dysk materii, zawierający

według różnych szacunków 200–400 miliardów gwiazd. Owe niezliczone słońca są skoncentrowane w charakterystycznych podłużnych, jakby zaczepionych w centrum układu strukturach, które określa się mianem ramion spiralnych.

Wybiegają one z jądra galaktyki widocznego jako wyraźne owalne zgromienie centralne. W przypadku Drogi Mlecznej przez jądro przebiega jeszcze rozległy pas materii gwiazdowej, zwany poprzeczką. Według niektórych teorii

▼ Chmury gwiazdowe Drogi Mlecznej pod ciemnym góskim niebem





poprzeczka stanowi wskazówkę, że galaktyka jest już tworem dojrzałym, gdzie intensywne procesy gwiazdotwórcze stopniowo zwalniają tempo. Ramiona spiralne Drogi Mlecznej tworzą cztery główne struktury: Ramię Strzelca-Kila, Ramię Łabędzia (również Ramię Zewnętrzne lub Ramię Węgielnicy), Ramię Perseusza i Ramię Tarczy-Centaura. Wyodrębnia się też mniejsze, słabiej wykształcone ramiona, takie jak Ramię Lokalne (Oriona), w którym znajduje się Układ Słoneczny, Bliskie Ramię Trzech Kiloparseków czy Dalekie Ramię Trzech Kiloparseków. Jest bardzo prawdopodobne, że w związku z obserwowaniem Drogi Mlecznej niejako od wewnątrz, co znacznie utrudnia studiowanie ob-

szarów położonych po przeciwnej stronie jądra, będziemy stale korygowali nasze wyobrażenie o niej w miarę rozwoju nowych technik obserwacyjnych. Ramiona spiralne zawierają wiele młodych gwiazd, w ich obrębie zawieszono są też ogromne obłoki gazu i pyłu, które w sprzyjających okolicznościach stają się miejscem ich narodzin.

Rozmiary liniowe Drogi Mlecznej określa się na około 100 tysięcy lat świetlnych średnicy oraz 1000 lat świetlnych grubości dysku. Jest prawie tak stara jak Wszechświat, gdyż uformowała się zaledwie około 100–200 milionów lat po Wielkim Wybuchu. Jedną z najstarszych gwiazd odkrytych do tej pory w Galaktyce jest HD 140283 w konstelacji Wagi,

która ze względu na minimalną metaliczność (zawartość pierwiastków ciężkich) musiała powstać w okresie, kiedy umierały najstarsze gwiazdy trzeciej populacji. Jej szacowany wiek przekracza wiek Drogi Mlecznej, co wskazuje, że być może rozbłysła w innej pierwotnej galaktyce, którą wchłonęła później nasza. Galaktyczny dysk spowija sferyczne gazowe halo, w którym zawieszono są gromady kuliste i najbliższe galaktyki satelitarne. Rozmiar promienia halo przekracza 300 tysięcy lat świetlnych. Im bliżej centrum Drogi Mlecznej, tym gęstość materii stale rośnie, aby osiągnąć wreszcie supermasywną czarną dziurę. Rejon ten na nocnym ziemskim niebie znajduje się na tle konstelacji Strzelca.



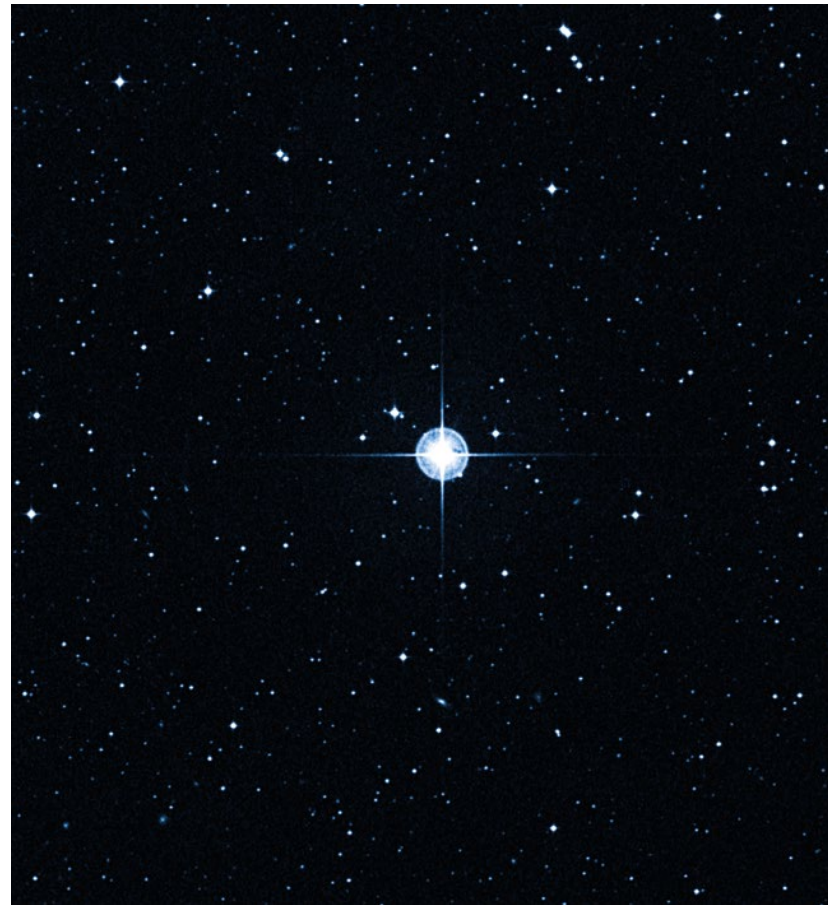


Już gołym okiem podczas pogodnej nocy, daleko za miastem, można dostrzec wyraźnie obłoki materii, zagęszczenia pól gwiazdowych odróżniające ten obszar od innych. Spoglądając przez amatorski teleskop, można zauważyć prawdziwe miriady gwiazd, gromady gwiazd i różnego rodzaju barwne mgławice. Obserwacje prowadzone przez profesjonalistów z zastosowaniem radioteleskopów zwracają uwagę na centralne obszary Galaktyki emitujące silne promieniowanie radiowe. Wszystkie te zjawiska mają związek z obecnością czarnej dziury, której oczywiście nie możemy bezpośrednio obserwować. Jej obecność potwierdzono jednak poprzez obserwację ruchów własnych gwiazd w jej bli-

skim sąsiedztwie. Gwiazdy te z wielkimi prędkościami poruszają się po ciasnych orbitach wokół masywnego obiektu o relatywnie niewielkich rozmiarach liniowych. Wskazuje to oczywiście na jego ogromną gęstość, którą może mieć wyłącznie czarna dziura.

W bezpośrednim sąsiedztwie Drogi Mlecznej znajduje się kilkadziesiąt galaktyk satelitarnych, z których najbardziej znane i największe to Wielki i Mały Obłok Magellana. Dalej, w ramach Grupy Lokalnej Galaktyk, w odległości rzędu 2 milionów lat świetlnych, orbitują Wielka Galaktyka Andromedy i Galaktyka Trójkąta. Ta pierwsza jest zresztą na kursie kolizyjnym z Droga Mleczną, co w odległej przyszłości (za

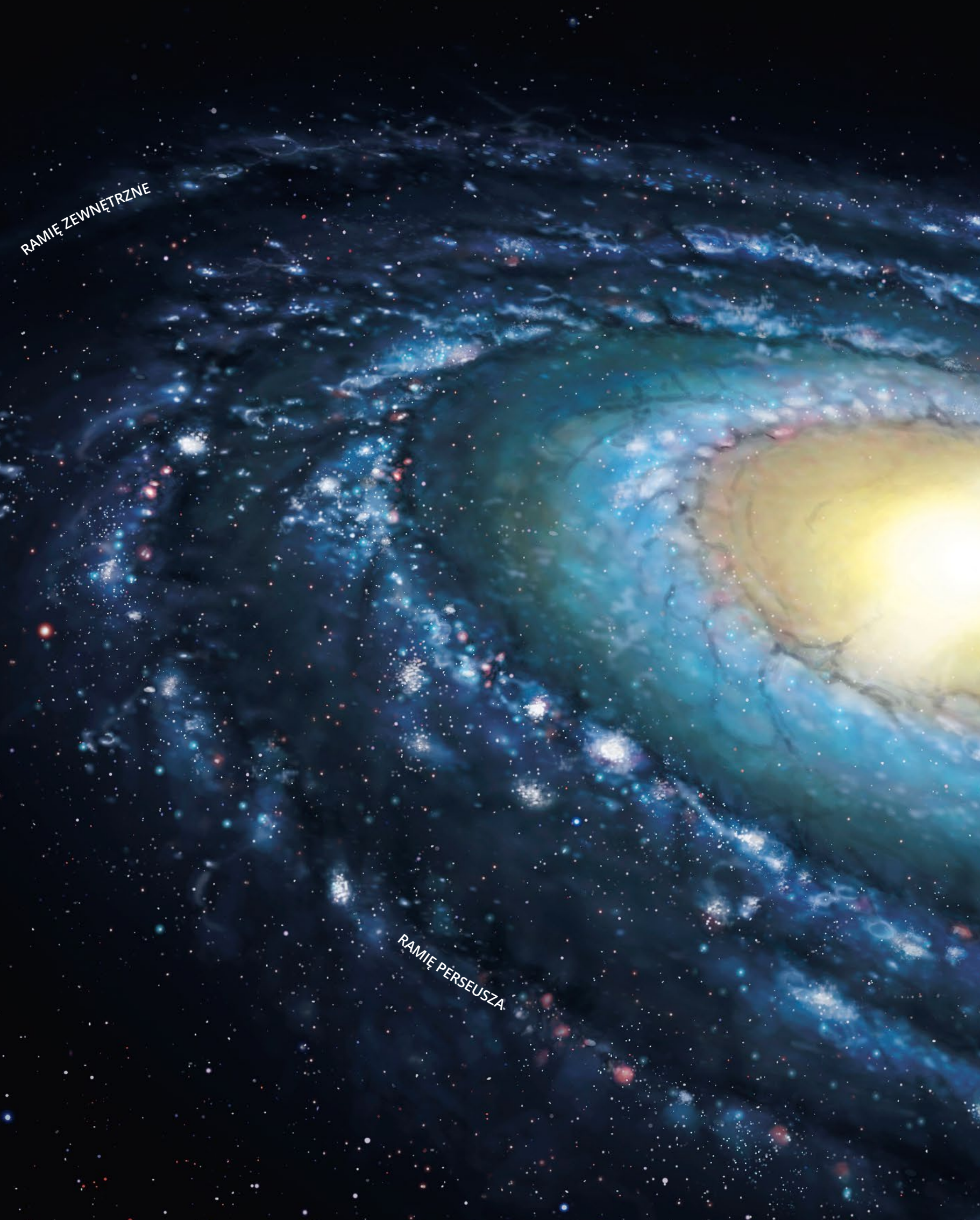
około 3 miliardy lat) doprowadzi do interakcji obu galaktyk. Nie będzie to jednak proces spektakularnych detonacji i eksplozji rodem z filmów katastroficznych. Z uwagi na ogromne odległości dzielące gwiazdy, ich zderzenia będą bardzo rzadkie. Oczywiście zlanie się dwóch galaktyk w jeden nowy obiekt doprowadzi w niektórych miejscach do intensywnej działalności gwiazdotwórczej. Przypuszcza się nawet, że Układ Słoneczny może w ogóle nie uciec, choć z pewnością na ziemskim niebie obrazy przenikających się obiektów będą fascynujące. Czy jakiegokolwiek rozumne istoty będą wtedy jeszcze zamieszkiwać Błękitną Planetę i obserwować ten cudowny kosmiczny spektakl?



◀ Łuk Drogi Mlecznej widoczny z perspektywy obserwatorium astronomicznego na Cerro Paranal. Widoczne też Wielki i Mały Obłok Magellana – galaktyki satelitarne Drogi Mlecznej

▲ Gwiazda HD 140283 w konstelacji Wagi





RAMIĘ ZEWNĘTRZNE

RAMIĘ PERSEUSZA





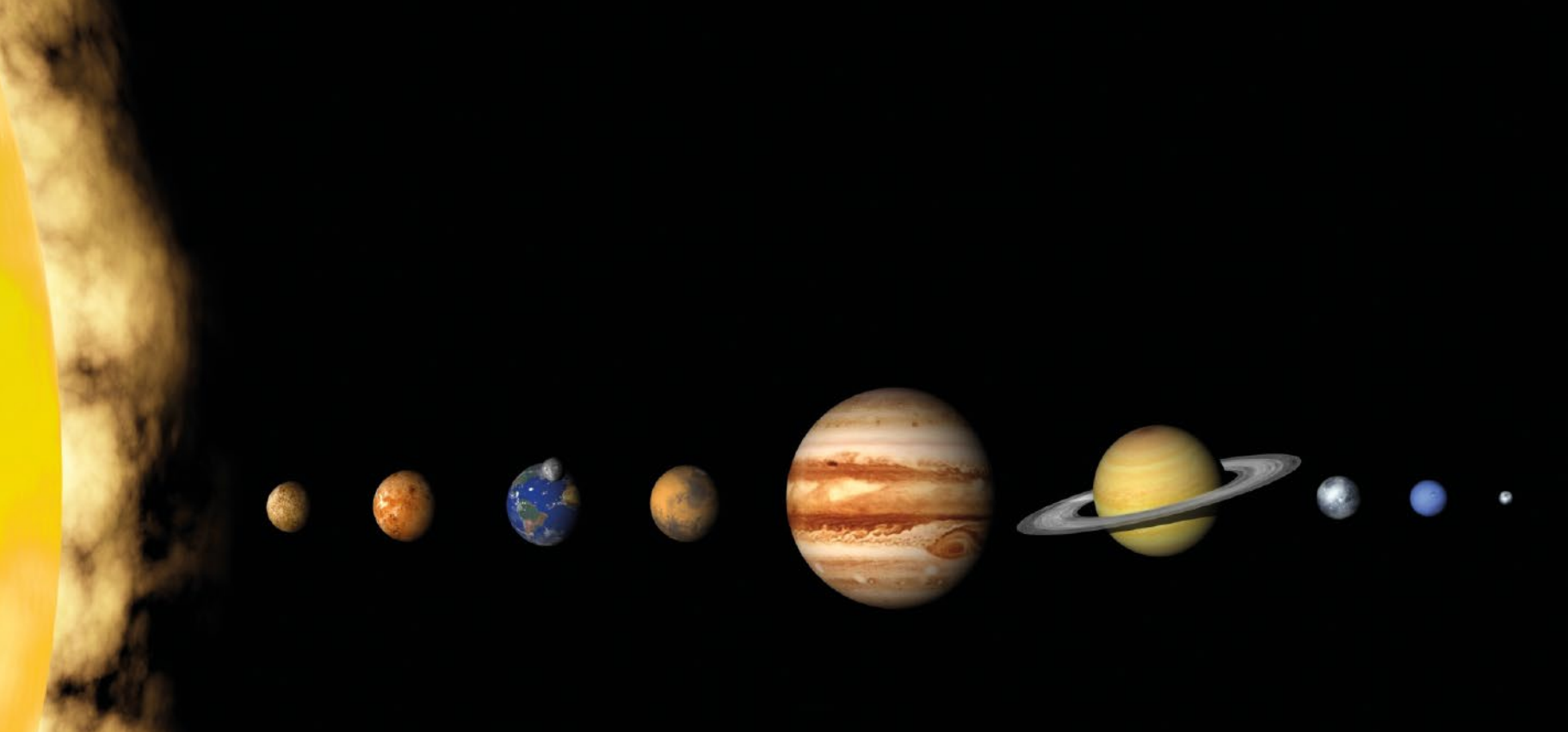
RAMIĘ WĘGIELNICY

RAMIĘ STRZELCA

UKŁAD SŁONECZNY

Struktura  
Drogi Mlecznej





# UKŁAD SŁONECZNY I JEGO MIEJSCE W DRODZE MLECZNEJ

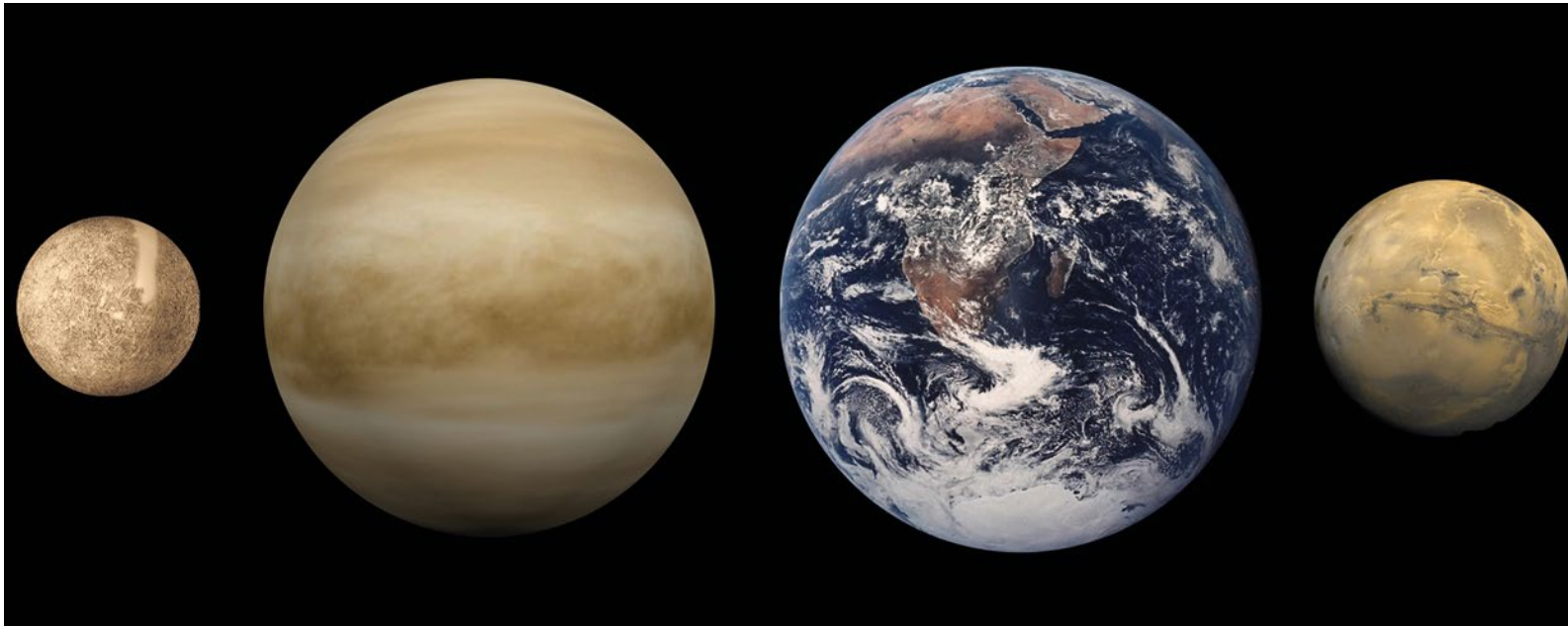
Około 4,5 miliarda lat temu w zewnętrznych rejonach Drogi Mlecznej rozbiła się młoda gwiazda. Wokół niej w dysku protoplanetarnym o średnicy około 200 jednostek astronomicznych powoli formowały się lokalne zagęszczenia materii, które grawitacyjnie zaczęły ściągać ku sobie otaczający je pył i gaz. Obiegając gwiazdę centralną, stopniowo czyściły przestrzeń wokół siebie, przybierając coraz bardziej regularne kuliste kształty. Były to zalążki przyszłych planet i ich większych księżyców oraz planet karłowatych. Pozostała materia została wykorzystana na kreację mniejszych ciał, jak planetoidy, komety i pył międzyplanetarny. Słońce i jego planetarna rodzina uformowały się w charakterystyczny system, jakich prawdopodobnie wiele znajdziemy we Wszechświecie. Składa się na niego

osiem planet, w kolejności od Słońca: Merkury, Wenus, Ziemia, Mars, Jowisz, Saturn, Uran i Neptun. Pięć współcześnie wyodrębnionych planet karłowatych to Ceres, Pluton, Haumea, Makemake i Eris. Regularne kuliste kształty posiadają też największe księżyce planet, takie jak m.in. Ganimedes, Tytan, Kallisto, Księżyc, Io, Europa, Tryton, Rea, Japet, Tetyda, Dione, Tytania, Oberon i wiele innych. Planetoidy, które nie zostały przechwycone przez planety i swobodnie obiegają Słońce, tworzą rodzinę liczącą zapewne miliony przedstawicieli. Z tej liczby do dziś skatalogowano niespełna milion, choć tylko dla połowy z nich wyznaczono dokładne orbity. Osobną interesującą grupę obiektów w Układzie Słonecznym stanowią komety. Poza kometami okresowymi, które co jakiś czas wracają w pobliże gwiazdy centralnej, spora większość to ciała

jednopojawieniowe, które po przejściu przez peryhelium oddalają się na zawsze w przestrzeń kosmiczną. Trzeba pamiętać, że całkowita liczba komet szacowana jest na setki miliardów, a być może i biliony. Zawieszone są w zewnętrznych rejonach Układu Słonecznego, a wiele z nich nigdy nie odwiedzi Słońca. Całą przestrzeń międzyplanetarną wypełnia ośrodek gazowo-pyłowy o niewielkiej gęstości. Jest on pozostałością po etapie tworzenia się planet, a współcześnie zasilany przez pozostałości sublimacji komet, czy też przez drobny pył powstający w wyniku defragmentacji małych planetoid na mniejsze odłamki w wyniku ich zderzeń.

Zdecydowana większość masy Układu Słonecznego skupia się w jego gwiazdzie centralnej. Największa z planet, gazowy olbrzym Jowisz, ma masę stanowiącą tylko 0,00095 masy słonecznej,





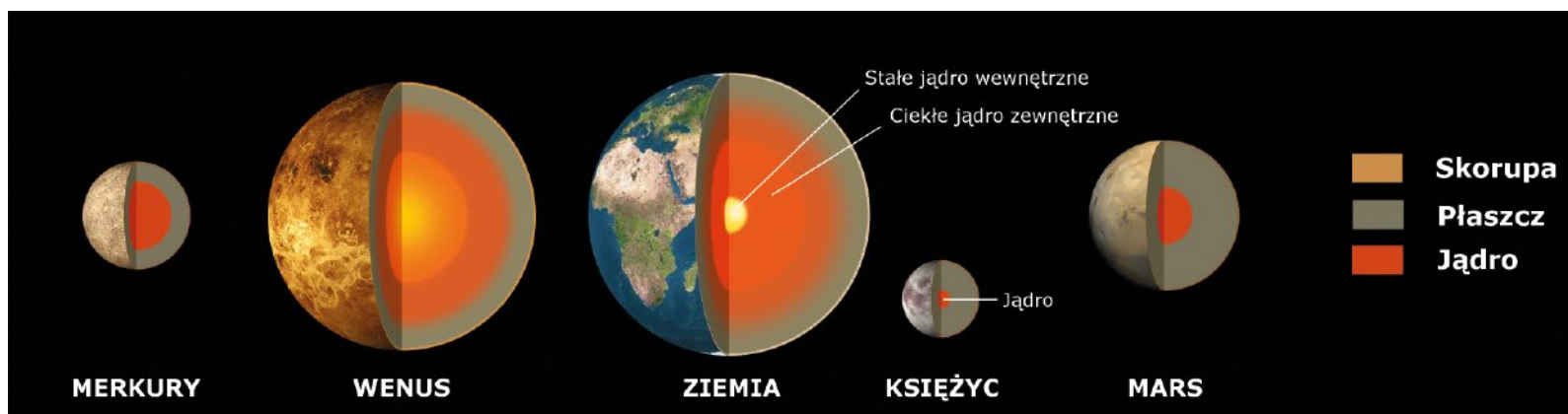
▲ Merkury, Wenus, Ziemia i Mars – cztery skaliste planety Układu Słonecznego, w jednakowej skali

co z planet typu ziemskiego czyni właściwie nic nieznaczące grawitacyjnie w skali systemu ciała niebieskie. Środek ciężkości Układu Słonecznego wypada zatem wewnątrz gwiazdy lub ewentualnie w jej bliskim sąsiedztwie. Słońce jest żółtym karłem, który w tej postaci ma przed sobą mniej więcej tyle samo życia, ile do tej pory istnieje. Po upływie tego czasu rozedmie się do postaci czerwonego olbrzyma, co będzie równoznaczne z zagładą Merkurego, Wenus i Ziemi, które spalą się w gorącej atmosferze gwiazdy. Ten stosunkowo krótki etap w ewolucji Słońca zakończy się odrzuceniem zewnętrznych warstw atmosfery gwiazdy, co z kolei da początek mgławicy planetarnej wokół wolno stygnącego białego karła.

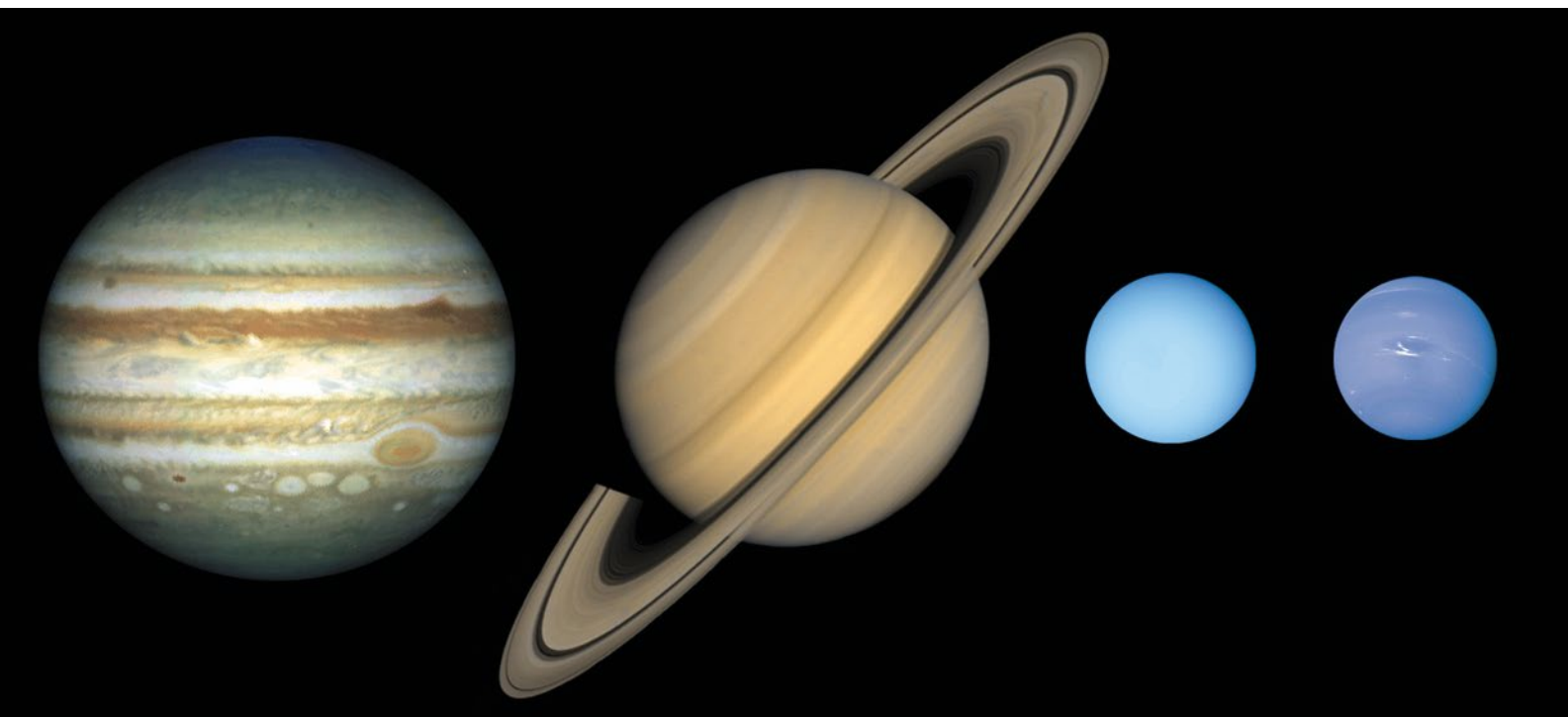
Planety skaliste, czyli Merkury, Wenus, Mars i Ziemia, są ciałami o relatywnie niewielkich rozmiarach. Największa z nich, Ziemia, ma średnicę niewiele mniejszą od 13 tysięcy kilometrów, a najmniejszy Merkury jest mniejszy od księżyca Jowisza – Ganimedesa. Planety te oraz największe księżyce i planetoidy to obiekty o największej gęstości w Układzie Słonecznym. Mają stałą powierzchnię, a część z nich zachowała wokół swoich globów otulinę gazową. Wodę w stanie ciekłym na powierzchni ma Ziemia, a prawie pewne, że posiada ją w dużych ilościach Europa, Enceladus, według ostatnich badań Ganimedes i Kallisto, a być może też Charon – satelita Plutona. Warto wspomnieć też o Mar-

sie, gdzie zamrożona woda być może znajduje się pod powierzchnią gruntu, a na pewno w czapach polarnych. Na Tytanie, satelicie Saturna, znajdują się z kolei rzeki, jeziora i większe akweny wypełnione płynnymi węglowodorami. Jakby na drugim biegunie znajdują się tzw. gazowe lub lodowe olbrzymy, czyli odpowiednio Jowisz i Saturn oraz Uran i Neptun. To planety bez stałej powierzchni, gdzie wodorowo-helowo-amoniakowo-metanowa atmosfera przechodzi płynnie w strukturę wewnętrzną globu. O Jowiszu mówi się niekiedy, że jest to niedoszła gwiazda, bo gdyby miał kilkudziesięciokrotnie większą masę, to w jego wnętrzu rozpoczęłyby się procesy syntezy termonuklearnej.

▼ Budowa wewnętrzna planet skalistych oraz Księżyca







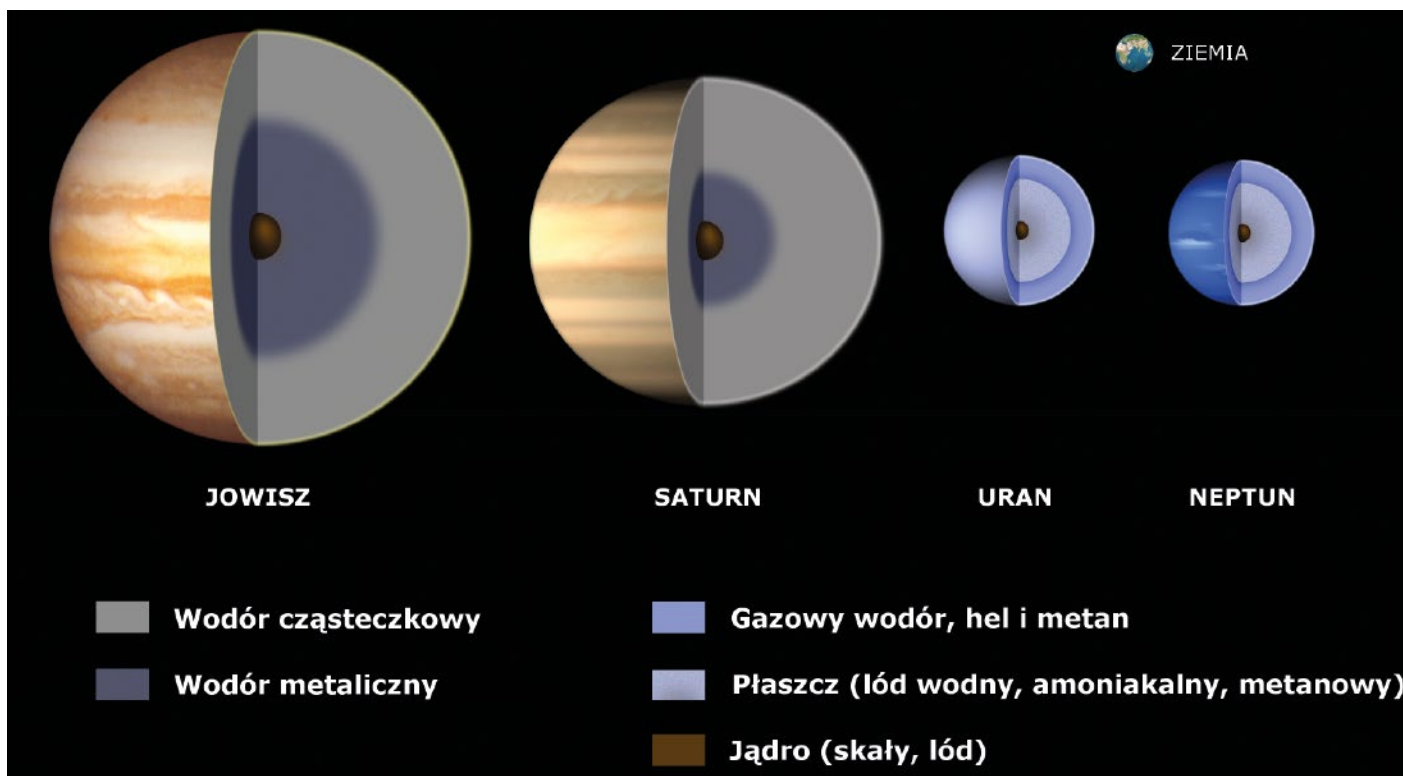
▲ Jowisz, Saturn, Uran i Neptun – cztery gazowe olbrzymy Układu Słonecznego w jednakowej skali

Planetoidy w Układzie Słonecznym są skoncentrowane w dwóch głównych rejonach. Pierwszy, położony pomiędzy orbitami Marsa i Jowisza, zwany jest Pasmem Głównym. W nim obiega Słońce planeta karłowata Ceres, która do niedawna była uważana za największą planetoidę.

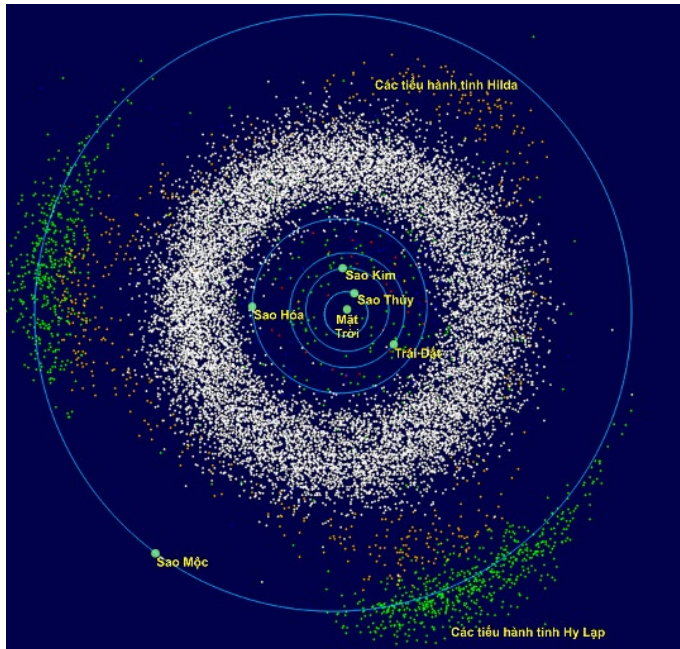
Drugi obszar koncentracji tych ciał niebieskich rozciąga się poza orbitą Neptuna, a nazywany jest Pasem Kuipera. O ile w Pasie Głównym mamy do czynienia głównie z ciałami skalistymi, po których często widać, że w czasie swojej bytności w okolicach Słońca wielokrotnie ulegały

kolizjom, zderzeniom z meteorytami i kometami, o tyle nasza wiedza o planetoidach Pasa Kuipera wciąż jest niepełna. Można się spodziewać, że w ich budowie wewnętrznej istotną funkcję pełni lód, co czyni je w pewnym sensie podobne do komet. Poruszają się one jednak

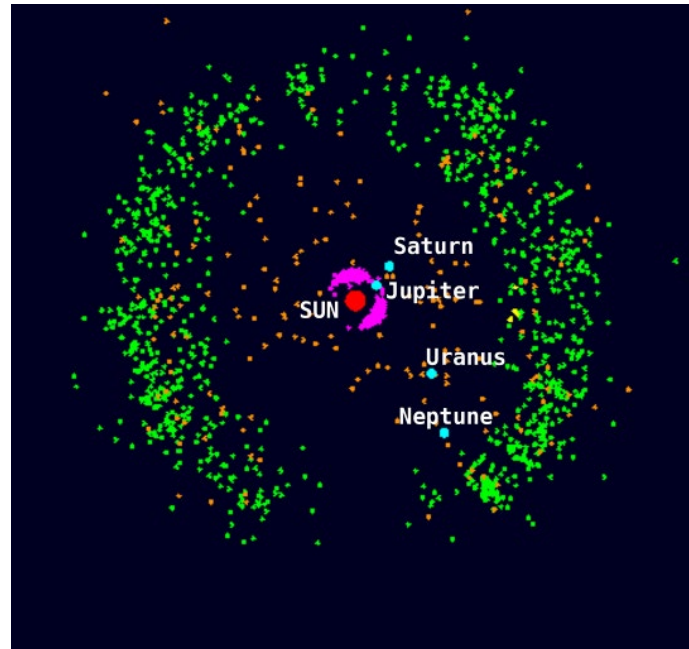
▼ Budowa wewnętrzna planet olbrzymów







▲ Pas Główny

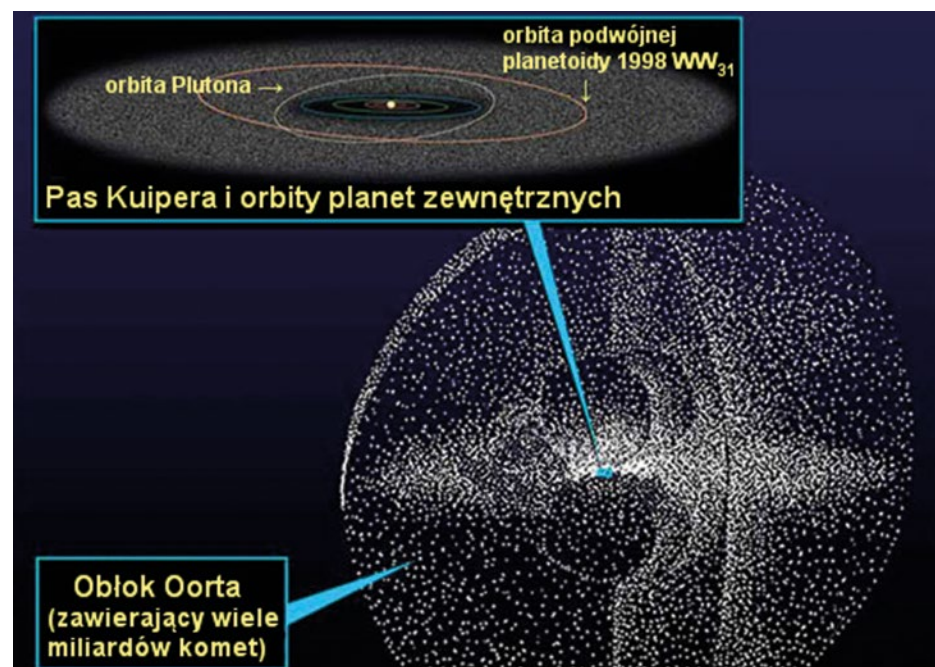


▲ Pas Kuipera

po stabilnych orbitach, a wiele z nich ma pokaźne rozmiary, jak Waruna, Quaoar czy Iksjon. W Pasie Kuipera porusza się też Pluton, planeta karłowata, która jeszcze do 2006 roku była uważana za dziewiątą planetę. Dwie inne planety karłowate z tego rejonu to Haumea i Makemake. Ciekawym obiektem pochodzącym z Pasa Kuipera jest satelita Neptuna Tryton. Uważa się, że został przechwycony przez planetę w czasie jej migracji na stabilną orbitę wokół Słońca. W jeszcze odleglejszych rejonach Układu Słonecznego, w tzw. dysku rozproszonym, którego Pas Kuipera jest wewnętrzną częścią, orbitują planeotidy, komety i planety karłowate, jednak ich orbity są niestabilne lub bardzo wydłużone. Ze znanych ciał na czoło wysuwa się planeta karłowata Eris, która obiega Słońce w ciągu 558 lat. Jeszcze dalej porusza się Sedna, która gdy tylko potwierdzą się pomiary jej wielkości, w przyszłości zasili rodzinę planet karłowatych. Jeden obieg wokół Słońca zabiera jej aż 11 tysięcy lat! Sedna jest zaliczana do osobnej kategorii ciał niebieskich, zwanych obiektami odłączonymi. Ciała te w ruchu orbitalnym zbliżają się maksymalnie do Słońca na odległość większą niż orbita Neptuna, przez co można wykluczyć grawitacyjne zaburzenia ich orbit jako efekt oddziaływania innych planet.

Najodleglejsze rubieże Układu Słonecznego zajmuje ogromna chmura komet, zwana Obłokiem Oorta. Jej wewnętrzne rejony wiążą się grawitacyjnie ze Słońcem, ale obszary zewnętrzne, około 100 tysięcy jednostek astronomicznych od gwiazdy centralnej, przechodzą już bezpośrednio w przestrzeń kosmiczną. Pływy galaktyczne, perturbacje pobliskich gwiazd, a być może też obecność nieznanej planety powodują, że ciała niebieskie w tej części Układu Słonecz-

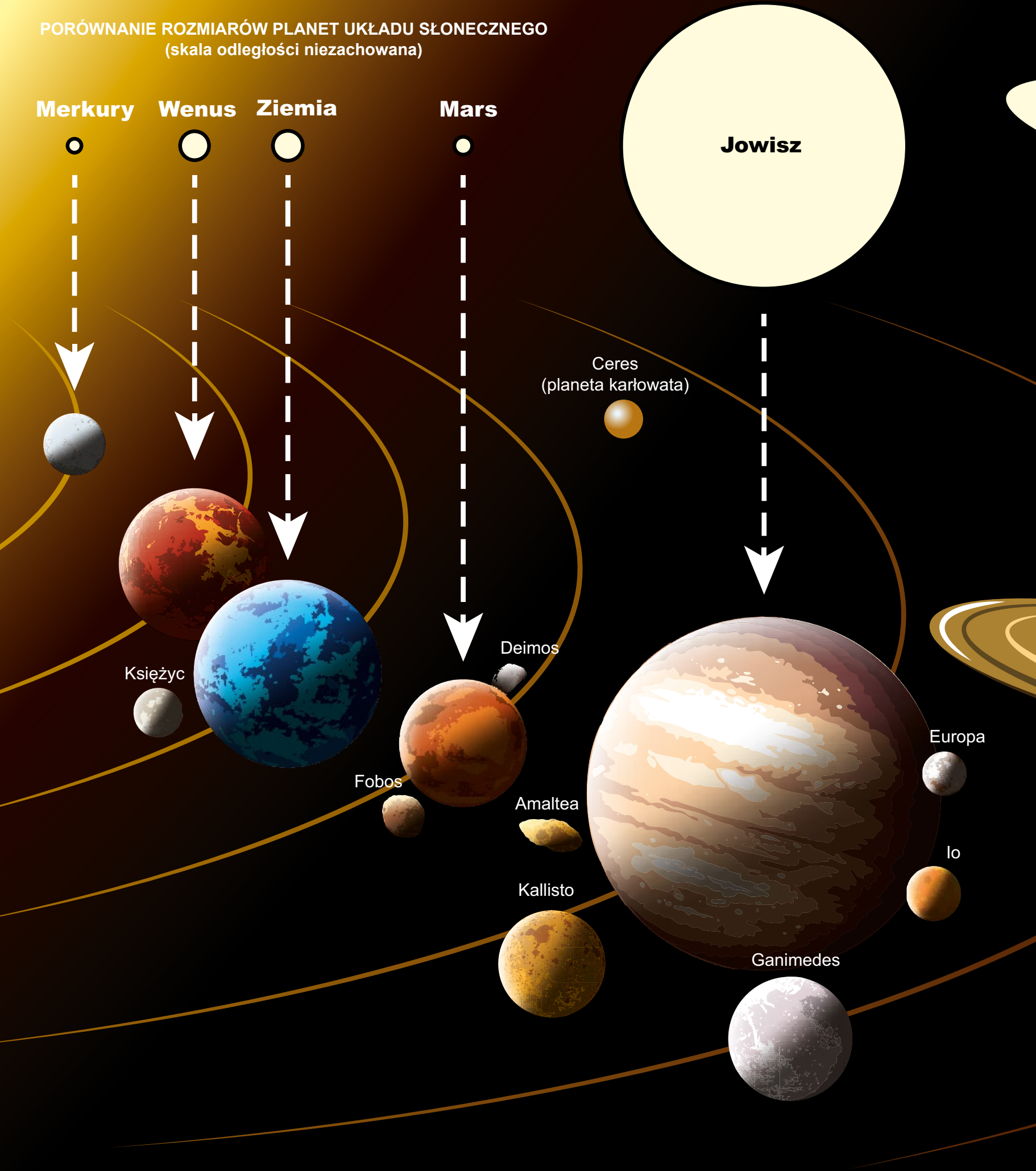
nego bardzo łatwo zmieniają swoje orbity. Część z nich jest strącana w ten sposób w kierunku Słońca, by po upływie setek lub tysięcy lat pojawić się na ziemskim niebie jako komety. Trzeba jasno powiedzieć, że nasza wiedza o tych najodleglejszych rejonach słonecznego podwórka jest bardzo fragmentaryczna, stąd najbliższe lata przyniosą wiele nowych odkryć, odpowiedzi na pytania i kolejne wyzwania dla obserwatorów oraz teoretyków.



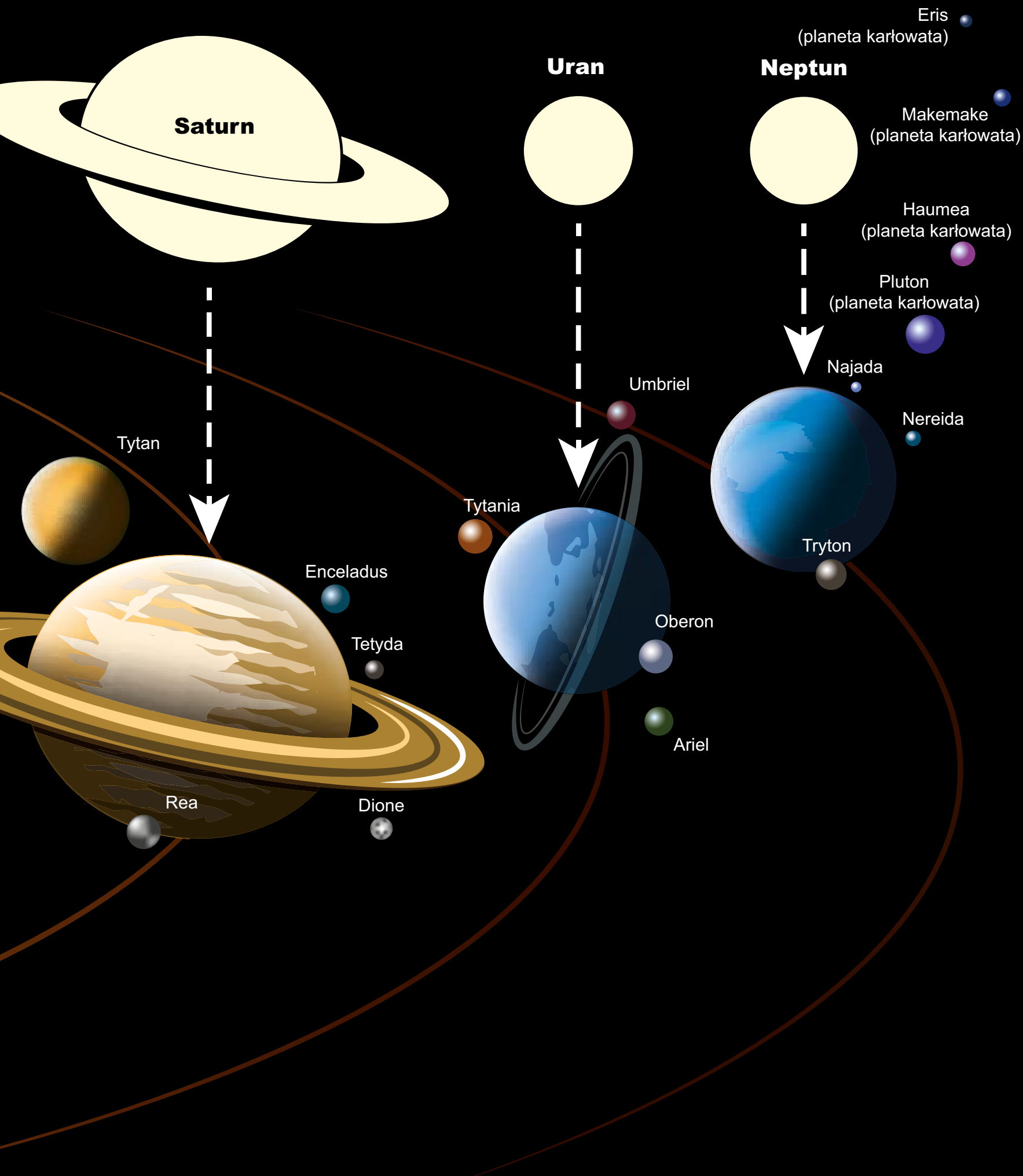
▲ Obłok Oorta rozciąga się daleko w przestrzeń międzygwiazdową. Rozmiary zanurzonego w nim Układu Słonecznego są znikome



PORÓWNANIE ROZMIARÓW PLANET UKŁADU SŁONECZNEGO  
(skala odległości niezachowana)







PLANETY, PLANETY KARŁOWATE I WYBRANE KSIĘŻYCE PLANET  
(skala wielkości i odległości pomiędzy globami niezachowana)



# GROMADY I SUPERGROMADY GALAKTYK ORAZ WIELKOSKALOWE STRUKTURY WSZECHŚWIATA

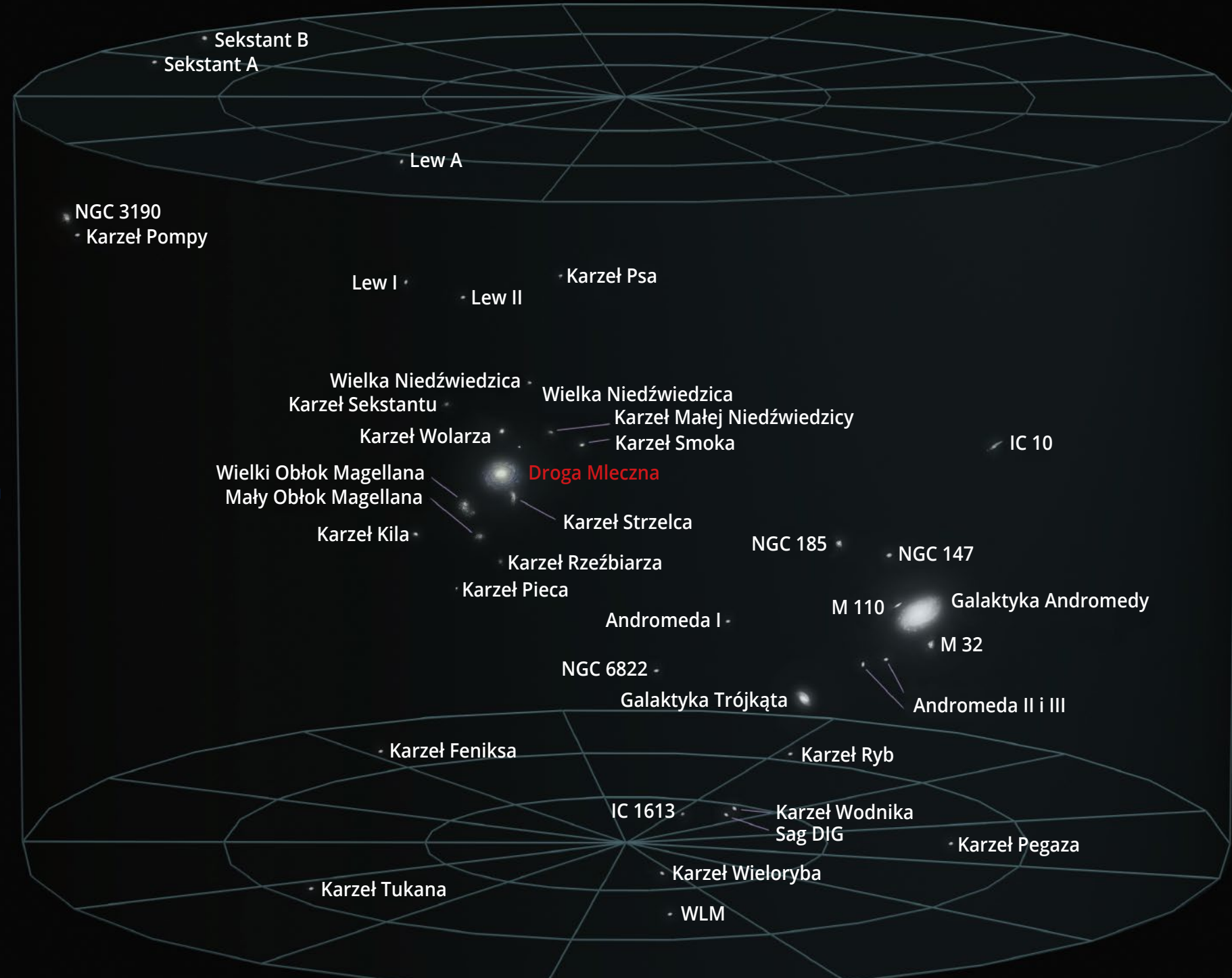
**A**stronomiczne liczby, jakie określają zasobność Wszechświata w planety, gwiazdy i galaktyki, zdumiewają. W mrowiu ciał niebieskich można się jednak doszukać porządku, który pozwala na ogarnięcie rozumem skomplikowanej gwiazdnej układanki. Nie inaczej jest w przypadku obserwacji kosmosu w skalach znacznie wykraczających poza rozmiary pojedynczej galaktyki. Analizując odległości rzędu tysięcy, milionów, a nawet milionów milionów lat świetlnych i większych, człowiek musi się przestawić na abstrakcyjne myślenie przestrzenne, którego w żadnym stopniu nie da się odnieść do życia codziennego. Czymże bowiem jest nawet najdalsza podróż na ziemskie antypody, którą w najgorszym wypadku udaje się pokonać w kilka dni, wobec podróży ku Wielkiej Galaktyce Andromedy, która nawet przy

prędkości światła zajęłaby ponad 2 miliony lat?! A to przecież tylko jeden z najbliższych sąsiadów Drogi Mlecznej. Stąd też optymistyczne wizje komunikacji pomiędzy hipotetycznymi mieszkańcami dwóch odległych galaktyk, które można spotkać w literaturze science fiction, rozbijają się o suche naukowe fakty. Oczywiście, jeśli ludzkość nauczy się wysłać komunikaty, które będą docierać szybciej (co znowu przywołuje z obecnego punktu widzenia nierealne fantastyczne propozycje zaginania przestrzeni, stawiania tuneli czasoprzestrzennych i temu podobne propozycje), to i tak pojawia się problem ich odbioru, zrozumienia i możliwości wysłania odpowiedzi. Przy zachowaniu sceptycznego punktu widzenia już w skali Drogi Mlecznej komunikacja w czasie trwania życia ludzkiego napotyka na poważne wątpliwości. Wybieganie myślami dalej jest czystym szaleństwem, choć

rzecz jasna niepozbawionym swego kolorytu i zapładniającym wyobraźnię.

Galaktyki skupiają się w grupy, liczące przeważnie od kilkunastu do kilkudziesięciu członków. Przykładem może być Grupa Lokalna, w skład której wchodzi m.in. Droga Mleczna i wspomniane wcześniej galaktyki w konstelacji Andromedy i Trójkąta, a także ich galaktyki satelitarne. Sąsiadujące grupy mogą z kolei tworzyć rozleglejsze systemy zwane gromadami galaktyk. Te mogą zawierać już setki, a nawet tysiące galaktyk różnych typów. W ramach gromad galaktyk jej członkowie poruszają się wokół wspólnego środka masy, który często jest zlokalizowany w pobliżu największej, najmaszywniejszej galaktyki, lub przy braku takiej gdzieś w wyimaginowanym punkcie przestrzeni. W jeszcze większej skali gromady galaktyk tworzą supergromady. Te jedne z najbardziej charakterystycznych





#### ▲ Przestrzenna struktura Grupy Lokalnej Galaktyk

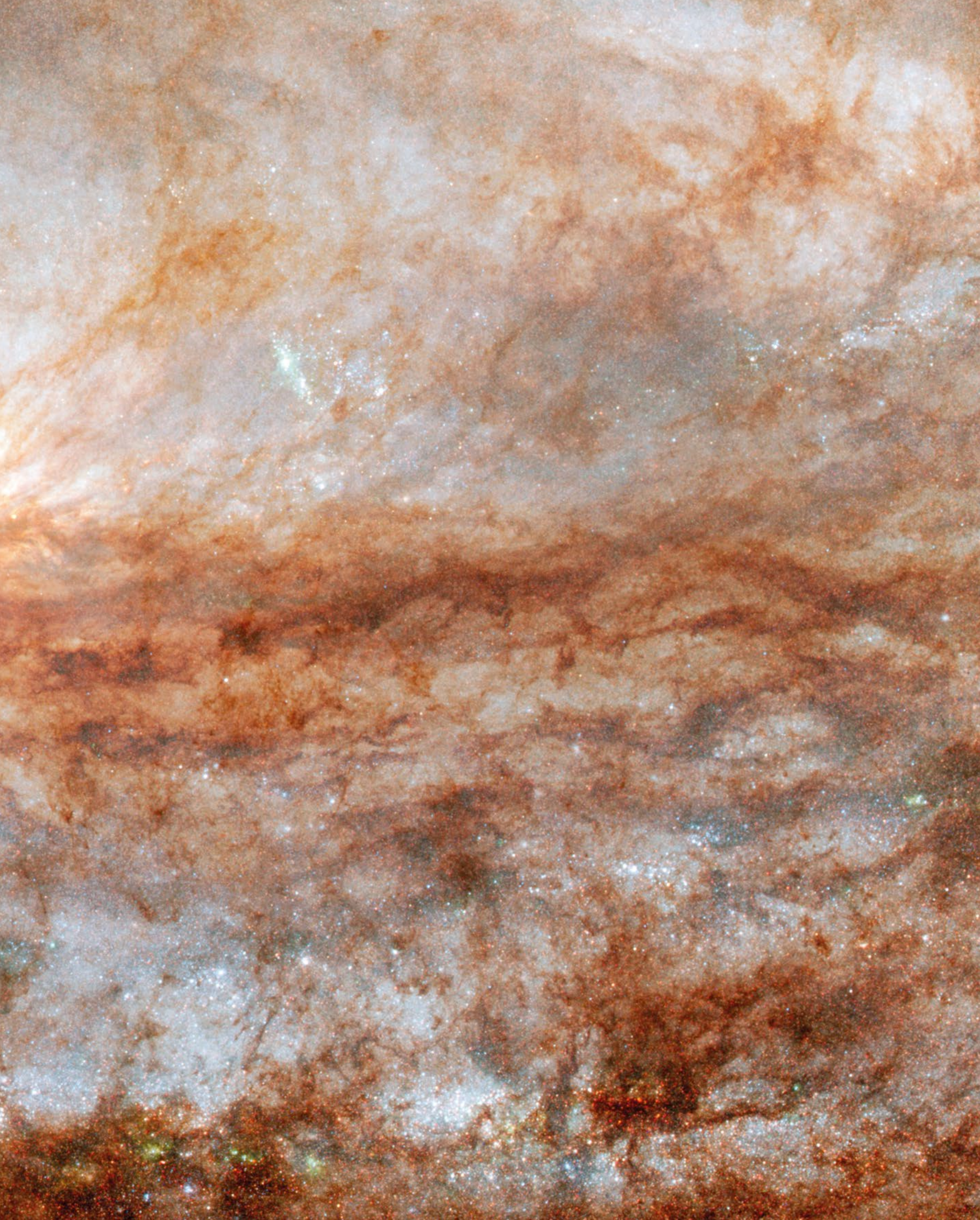
wielkoskalowych struktur Wszechświata z odległej perspektywy wyglądają jak włókna, które w trójwymiarowej przestrzeni tworzą z innymi supergromadami skomplikowaną sieć przypominającą do złudzenia neuronalną budowę ludzkiego mózgu. Ogromne wrzeciona supergromad galaktyk są przedzielone obszarami zupełnej pustki, w których tylko sporadycznie spotyka się galaktyki. Takim pustym obszarem o średnicy ponad miliard lat świetlnych jest tzw. Wielka Pustka, zlokalizowana na tle konstelacji Psów Gończych. Ze skupisk materii jednym z największych do tej pory odkrytych jest Wielka Ściana Sloan. Ogromne włókno

tej struktury, zbudowane z szeregu supergromad galaktyk, znajduje się na tle gwiazdozbioru Panny, a jej rozmiary zbliżają się do 1,5 miliarda lat świetlnych. Inną strukturą, aż ośmiokrotnie większą, jest Wielka Ściana Herkulesa-Korony Północnej, w rzeczywistości rozciąga się ona na tle aż 16 konstelacji. W Herkulesie i Koronie Północnej znajduje się jej centrum, stąd też wzięła swoją nazwę.

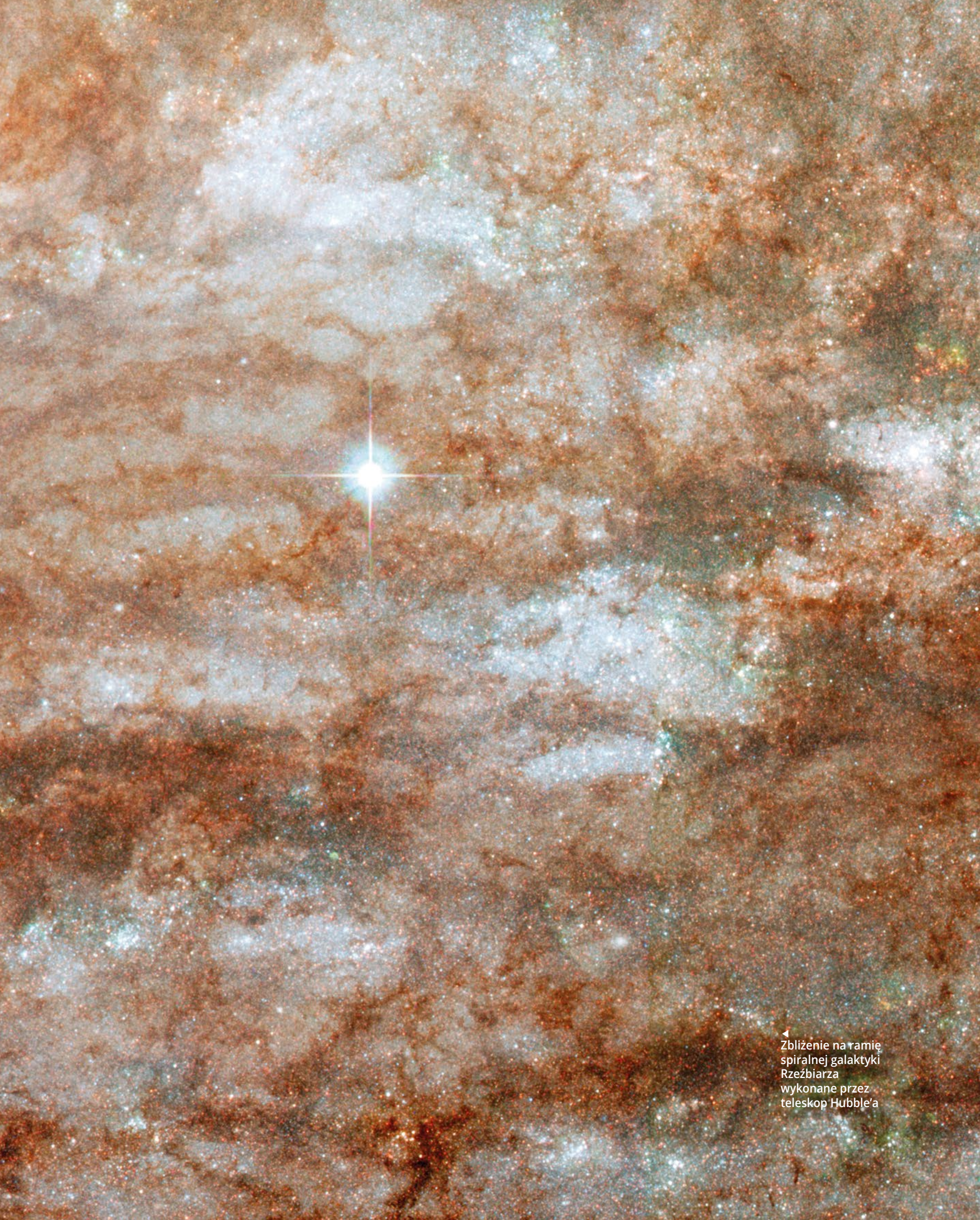
Gdyby hipotetyczny obserwator miał możliwość spojrzenia na cały Wszechświat z zewnątrz, zauważyłby jego jednorodność, to znaczy, że z każdego kierunku wyglądałby tak samo. Można porównać to do waty cukrowej, której

skomplikowana struktura cienkich włókien z każdej strony wygląda niemal identycznie, a ewentualne niejednorodności stałyby się oczywiste dopiero po obejrzeniu jej pod mikroskopem. Wszechświat nie jest jednorodny w skali odległości rzędu 200–300 milionów lat świetlnych i mniejszych. Poszerzając perspektywę, obraz staje się jednak regularniejszy. Jednorodność kosmosu w najrozleglejszej z możliwych skal jest świadectwem lub tropem wiodącym ku warunkom początkowym, jakie istniały tuż po Wielkim Wybuchu, zanim wykształciły się bardziej skomplikowane struktury Wszechświata.









◀ Zbliżenie na ramię  
spiralnej galaktyki  
Rzeźbiarza  
wykonane przez  
teleskop Hubble'a

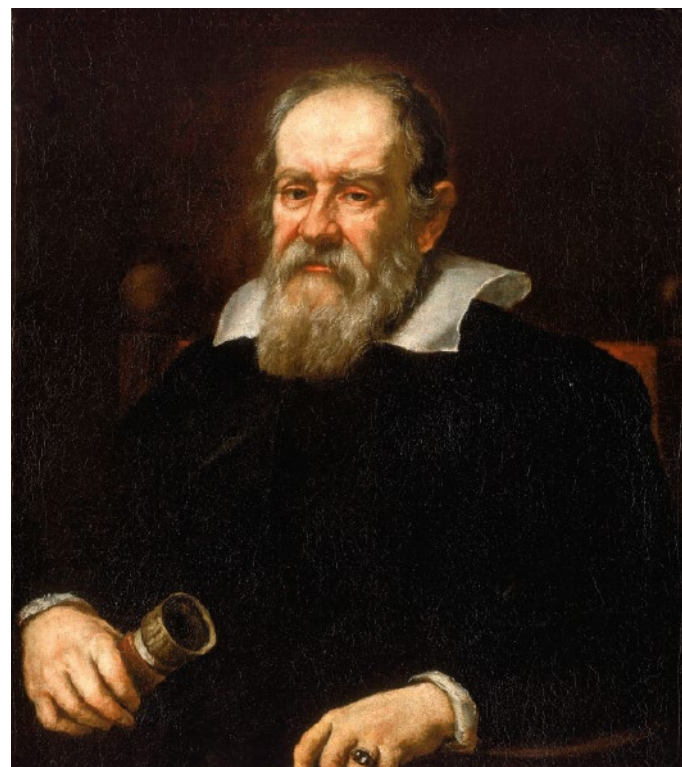


# UKŁAD SŁONECZNY

## Z PERSPEKTYWY 400 LAT BADAŃ ZA POMOCĄ TELESKOPÓW

**W** 1609 roku Galileo Galilei, zwany po prostu Galileuszem, usłyszał o niderlandzkim wynalazku, jakim była luneta. Pierwszy egzemplarz, jak twierdzi pierwszy biograf Galileusza, a zarazem jego ostatni uczeń Vincenzo Viviani, Galileusz miał okazję podziwiać u jednego z bogatych kupców weneckich. Wszystko wskazuje, że przywieziona do Republiki Weneckiej na wiosnę 1609 roku luneta rozbudziła wyobraźnię Galileusza na tyle, że postanowił skonstruować własną. Pierwsza luneta Galileusza powstała najprawdopodobniej z pomocą rzemieślnika, który produkował cyrkle artyleryjskie projektu uczonego. W ten sposób w czerwcu Galileusz trzymał w ręku swój pierwszy refraktor o trzykrotnym powiększeniu. Podczas gdy dokonywał pierwszych obserwacji nieba refraktorem

i udoskonaliał swój instrument, w okolicy Londynu Thomas Harriot wykonał pierwsze szkice Księżyca. Był sierpień 1609 roku. Dzięki znajomości z Paolem Sarpim Galileusz zaprezentował teleskop (już o ośmiokrotnym powiększeniu) senatorom Republiki Weneckiej. To wydarzenie, datowane między 15 a 19 sierpnia, możemy uznać za pierwszy publiczny pokaz nieba przez teleskop. Dalszy rozwój technik wykonywania lunet doprowadził Galileusza do jednej z najważniejszych jego publikacji – *Sidereus Nuncius* (*Gwiezdny posłaniec*), wydanej w marcu 1610 roku. Odkrycia i obserwacje włoskiego uczonego położyły podwaliny pod rozwój współczesnej astronomii. Wymieńmy tu tylko najważniejsze z nich: plamy słoneczne, fazy planety Wenus, księżyc Jowisza, pierścienie Saturna, góry i kratery na Księżycu.



▲ Galileusz (1564–1642)





▲ Johannes Kepler (1571–1630)

Galileusz, który skierował teleskop na niebo, był gorącym zwolennikiem teorii heliocentrycznej Kopernika. Jego odkrycia wspierały ją, choć nie były popularne i powszechnie akceptowane. Władze kościelne zakazały Galileuszowi publicznego głoszenia swoich tez, skazując go na dożywotni areszt domowy. Na szczęście późniejsze lata wykazały, że uczonego miał rację, a co najważniejsze – znalazł genialnych naśladowców. W tym samym czasie działał niemiecki astronom Johannes Kepler, uczeń słyn-

nego Tychona Brahe. W 1618 roku opublikował on swoje prawa ruchu planet, które modyfikowały system kopernikański, usuwając z niego kołowe orbity na rzecz eliptycznych. Dodatkowe zależności odkryte przez Keplera spowodowały, że nagle obserwacje zaczęły doskonale zgadzać się z teorią, co uchyliło furtkę do matematycznego opisu ruchu planet, pierwszych rzetelnych efemeryd i przewidywania przyszłych wydarzeń na niebie. W 1687 roku Isaak Newton, jeden z największych uczonych wszech czasów, opublikował słynne dzieło *Philosophiae naturalis principia mathematica* (*Matematyczne zasady filozofii naturalnej*). Zawarł w nim fundamentalne prawo powszechnego ciążenia, które stało się prawdziwym przełomem i skierowało astronomię na zupełnie nowe tory. Okazało się, że łącząc ze sobą prawa Keplera i nowo odkryte przez Newtona zależności pomiędzy przyciągającymi się masami w polu grawitacyjnym, można na podstawie kilku obserwacji astrometrycznych wyznaczać orbity ciał niebieskich z niespotykaną dokładnością.

W 1705 roku angielski astronom Edmond Halley, korzystając z aparatu mate-

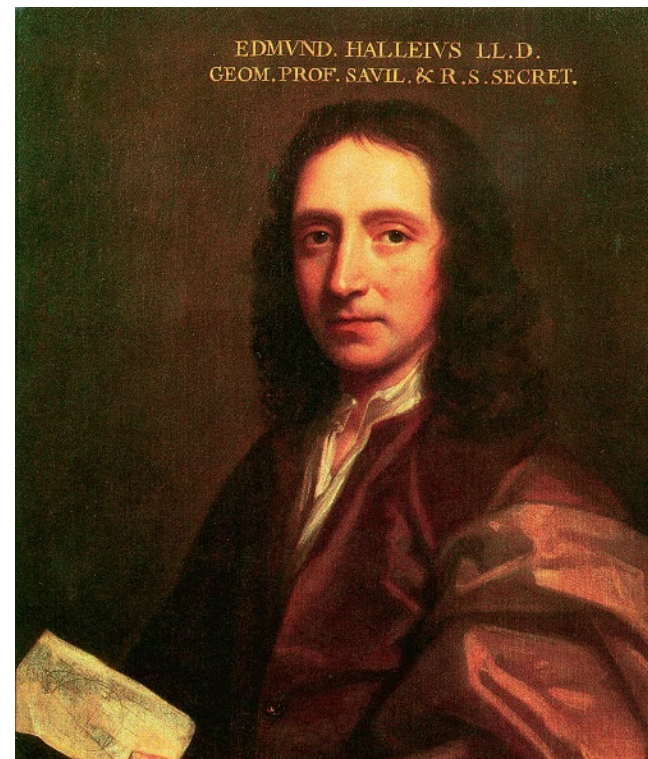


▲ Isaak Newton (1642–1727)

matycznego Newtona, opublikował pracę o kometach obserwowanych w latach 1337–1698. Doszedł w niej do wniosku, że komety z lat 1531, 1607 i 1682 mają bardzo podobne orbity, i wyciągnął z tego konkluzję, że to jeden i ten sam obiekt, który musiał się pojawiać na ziemskim niebie kilkakrotnie w przeszłości. Przenosząc tę prawidłowość w przyszłość, wskazał też poprawnie rok, kiedy powinna pojawić się znowu. W 1758 roku, zgodnie z przewidywaniami Halleya, kometa została dostrzeżona, co było

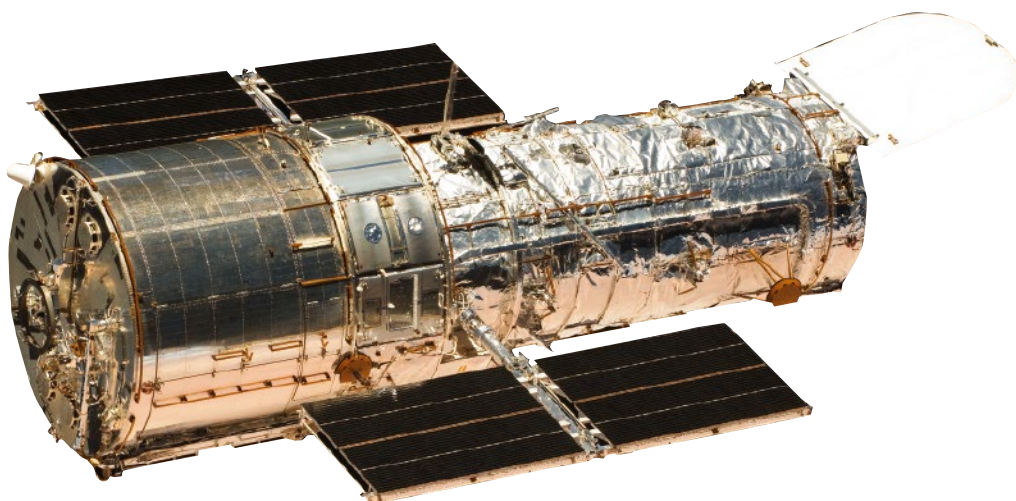


▲ Joseph von Fraunhofer (1787–1826) – niemiecki optyk, demonstruje swój spektroskop



▲ Edmond Halley (1656–1742)





▲ Kosmiczny Teleskop Hubble'a (HST)

nadzwyczajnym osiągnięciem. Na cześć uczonego, który przewidział powrót komety w pobliże Słońca, nazwano ją jego nazwiskiem. Dwadzieścia trzy lata po przewidzianym pojawieniu się komety odkryto planetę Uran. Dokonał tego słynny obserwator i konstruktor teleskopów William Herschel, który początkowo

wziął odkrycie za kometę. Natychmiast przeprowadzone obliczenia wykazały, że porusza się po niemal kołowej orbicie w sposób podobny do innych znanych planet. Mechanika newtonowska znów zatriumfowała, a Układ Słoneczny powiększył się o nowy obiekt. W 1801 roku odkryto pierwszą planetoidę, której

orbitę umiejscowiono pomiędzy orbitami Marsa i Jowisza. Ceres, bo o niej mowa, została odkryta przez włoskiego astronoma Giuseppe Piazzię, na długi czas stała się głównym obiektem lawinowo powiększającej się rodziny małych ciał niebieskich. Dziś znamy ponad pół miliona planetoid o wyznaczonych orbitach, a Ceres tymczasem zdążyła zostać zaliczona do grona planet karłowatych.

W 1814 roku teleskopy wyposażone w spektrografy zostały skierowane ku naszej Gwiazdzie Dziejnej. Joseph von Fraunhofer, który był pionierem heliofizyki, odkrył linie absorpcyjne w świetle Słońca, a także stwierdził, że widma gwiazd różnią się od siebie. Był to wstęp do fundamentalnej metody badania odległych ciał niebieskich dzięki analizie dochodzącego od nich światła. Nie sposób wyobrazić sobie współczesnej astronomii bez potężnego narzędzia badawczego, jakim jest spektroskopia. W 1838 roku dokonano pierwszego pomiaru odległości

▼ Kosmiczny Teleskop Hubble'a na orbicie wokółziemskiej





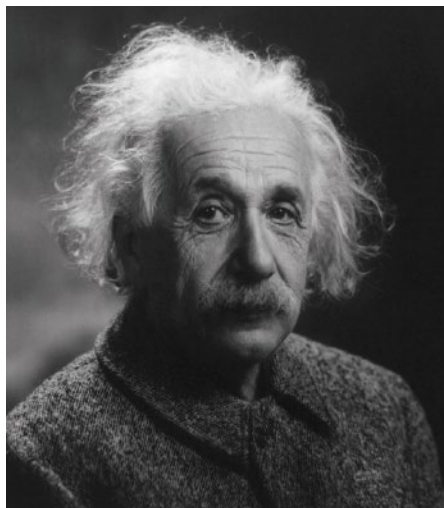


▲ Otwarta ładownia wahadłowca Discovery podczas umieszczania HST na orbicie

do gwiazdy innej niż Słońce z zastosowaniem metody paralaksy heliocentrycznej. Niemiecki matematyk i astronom Friedrich Wilhelm Bessel wziął za cel gwiazdę 61 Cygni. Stwierdził, że w ciągu roku zakreśla ona na niebie niewielką elipsę, będącą najprawdopodobniej odbiciem ruchu Ziemi wokół Słońca. Jego pomiary wykazały odległość około 10 lat świetlnych, co zgadza się z wynikami współczesnymi. Ten sam uczony wskazywał również na nieregularności ruchu Urana, które być może są skutkiem oddziaływania nieznannej odległej planety. Istotnie, w 1846 roku Johann Gottfried Galle odkrył planetę Neptun. Było to ogromne osiągnięcie ówczesnej astronomii i mechaniki nieba, ponieważ odkrycia dokonano najpierw na drodze rachunkowej, dzięki której dokładnie wskazano położenie hipotetycznej planety.

W 1912 roku astronomia zyskała kolejną świetną metodę pomiaru odległości we Wszechświecie. Amerykańska astro-

nom Henrietta Leavitt określiła zależność pomiędzy okresem zmian blasku pewnego typu gwiazd zmiennych, zwanych cefeidami, a ich jasnością absolutną. Pozwoliło to na wyznaczanie z dużą dokładnością odległości między galaktykami, co utorowało drogę do

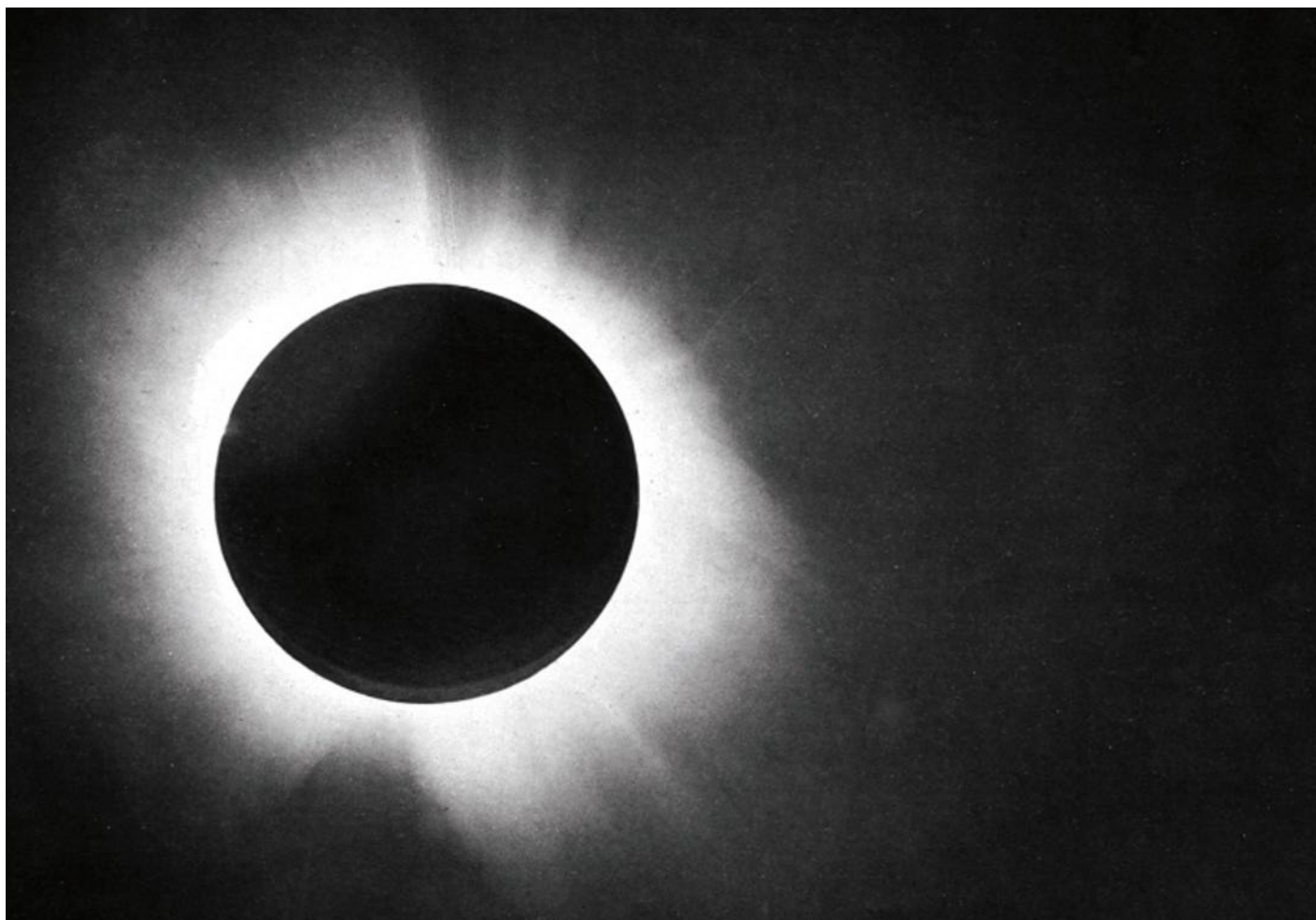


▲ Albert Einstein (1879–1955)

przyszłych odkryć Edwina Hubble'a. Najpierw jednak Albert Einstein, który zrewolucjonizował fizykę i astronomię w sposób niespotykany od czasów Isaaka Newtona. Jego ogólna teoria względności opublikowana w 1915 roku zmieniała spojrzenie na grawitację, traktując ją jako przejaw i efekt lokalnego zakrzywienia czasoprzestrzeni wokół wielkiej masy. Cała lista efektów opisanych przez teorię Einsteina szybko znalazła potwierdzenie (m.in. ugięcie promieni świetlnych w pobliżu Słońca, wyjaśnienie nieregularności orbity Merkurego), a prawo ciążenia Newtona stało się tylko szczególnym przypadkiem ogólniejszego opisu świata. Dziś nie można wyobrazić sobie obliczeń wzajemnych oddziaływań ciał niebieskich bez uwzględnienia teorii względności.

Edwin Hubble w 1923 roku stwierdził, że poza Drogą Mleczną istnieje niezliczona ilość innych galaktyk, będących niezależnymi skupiskami gwiazd.

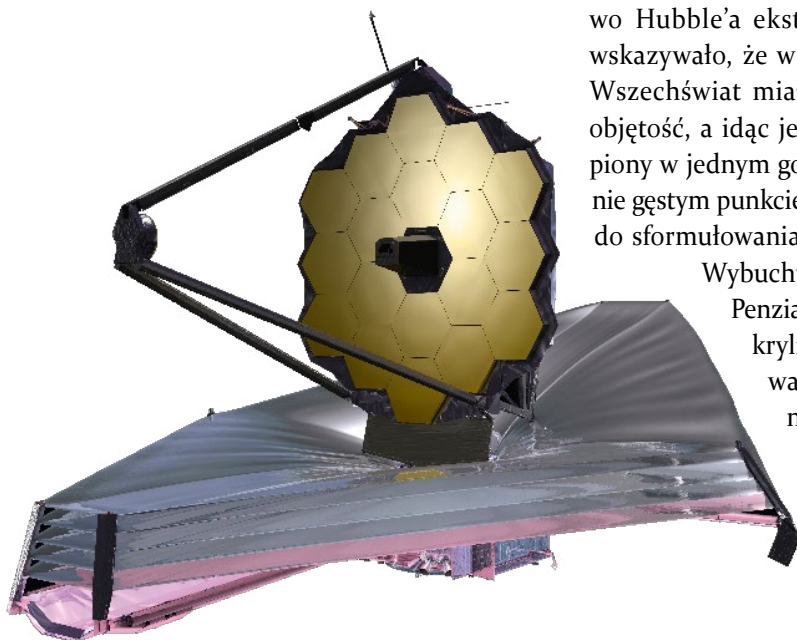




▲ Zaćmienie w 1919 roku. Ugięcie promieni odległych gwiazd w pobliżu tarczy słonecznej było potwierdzeniem słuszności ogólnej teorii względności

Sześć lat później ten sam uczyony sformułował fundamentalne prawo zależności prędkości ucieczki galaktyk od ich odległości, wskazujące, że Wszechświat się

#### ▼ Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba



rozszerza. Były to pionierskie momenty rodzącej się nowej dziedziny nauki zwanej kosmologią. Nauka ta skupia się na dociekaniu, skąd wziął się Wszechświat, dlaczego wygląda tak, a nie inaczej, jaka czeka go przyszłość, a także jaką rolę odgrywają w nim istoty rozumne. Prawo Hubble'a ekstrapolowane wstecz wskazywało, że w odległej przeszłości Wszechświat miał znacznie mniejszą objętość, a idąc jeszcze dalej, był skupiony w jednym gorącym i nieskończenie gęstym punkcie. Stąd blisko już było do sformułowania hipotezy Wielkiego Wybuchu. W 1965 roku Arno Penzias i Robert Wilson odkryli radiowe promieniowanie tła, będące jednym z najsilniejszych dowodów, że coś takiego jak Wielki Wybuch miało miejsce.

W drugiej połowie XX wieku doszło do intensywnego rozwoju astronautyki, która otworzyła przed ludźmi fascynujące tajemnice Układu Słonecznego. Kolejne udane misje sond kosmicznych, takich jak Pioneer, Viking, Wenera, Voyager, Galileo, Ulysses, Cassini, a także załogowe misje na Księżyc w ramach projektu Apollo, spowodowały, że astronomowie wyszli o wiele dalej poza obserwatoria i zainstalowane tam teleskopy. Wielkie instrumenty optyczne są regularnie wynoszone na orbitę, gdzie niezakłócone ziemską atmosferą obrazy ciał niebieskich są przetwarzane i przesyłane na Ziemię. Niebawem swoją długą misję zakończy Kosmiczny Teleskop Hubble'a. Trudno sobie wyobrazić aktualny stan wiedzy o Wszechświecie bez osiągnięć tego wspaniałego instrumentu. Już przygotowuje się jednak jego następca. Będzie nim Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba, którego trzykrotnie