

O fizyce atmosfery i zmianach klimatu

cz. 1

■ ZBIGNIEW WIŚNIEWSKI

O genezie atmosfery

Jak to zostało powiedziane już w numerze 1/2010 fizyka atmosfery jest obecnie bardzo ważnym działem nauki leżącym na pograniczu wielu dyscyplin. Jej związek z naszym życiem wydaje się obecnie oczywisty w świetle konferencji w Kopenhadze i żywo dyskutowanej kwestii ocieplenia klimatu.

Tematyka ta pojawia się dość szeroko w czasopismach popularnonaukowych m.in. w „Fizyce w Szkole”. Zacznijmy może od początku. Najpierw określmy samo pojęcie atmosfery.

Atmosfera jest gazową powłoką otaczającą Ziemię utrzymywaną przez siłę grawitacji [1]. Z tej prostej definicji wynika, że zasadniczym czynnikiem odpowiedzialnym za utrzymanie atmosfery jest siła grawitacji. Z faktu, że główną siłą odpowiedzialną za istnienie atmosfery jest grawitacja można wysunąć dwa następne wnioski. Właściwości atmosfery są w dużej mierze uwarunkowane siłą pola grawitacyjnego. Jednakże, posiadanie atmosfery nie jest wyłączną cechą Ziemi. Praktycznie wszystkie planety posiadają atmosferę i im bardziej masywne, tym większą. Atmosferę posiadają też księżycy planet. Księżyc Ziemi nie jest pod tym względem wyjątkiem. Oczywiście siła grawitacji nie jest jedynym czynnikiem kształtującym atmosferę. Do innych czynników należą: aktywność geologiczna danego ciała, jego temperatura, pole magnetyczne i wiatr słoneczny.

Najważniejszym czynnikiem obok pola grawitacyjnego kształtującym atmosferę jest temperatura.

Pole grawitacyjne stanowi pewnego rodzaju pułapkę na cząstki znajdującego się w nich gazu. Teoretycy powiedzieliby, że obecność

masy prowadzi do powstania pewnej studni potencjału. Nie jest to jednak studnia bez dna. Jeśli energia kinetyczna cząstki będzie odpowiednio duża, to cząstka może taką jamę opuścić. W praktyce oznacza to, że cząstka musi uzyskać prędkość większą niż tzw. prędkość ucieczki. Cząstki w gazie mają oczywiście różne prędkości, ale ilość cząstek, które osiągną prędkość większą niż prędkość ucieczki v jest zdeterminowana poprzez temperaturę T tego gazu i przez jego masę molową M . Relacja ta może być wyrażona wzorem:

$$v = 0,1455 \sqrt{\frac{T}{M}}. \quad (1)$$

W pracy [3] podano interesującą zależność pomiędzy stosunkiem średniej prędkości i prędkości ucieczki v_e a długością czasu przebywania elementu w atmosferze.

Z powyżej przedstawionych zależności wynikają dwa wnioski. Po pierwsze – ciała o niskiej temperaturze mają większą zdolność zachowywania atmosfery, po drugie – atmosfera ciał o małej masie powinna składać się z pierwiastków o znacznej masie. Tym można wytłumaczyć, np. brak swobodnego wodoru w atmosferze Ziemi, pod-

Tabela 1. Zależność wiążąca średni czas przebywania danego pierwiastka i stosunku jego prędkości średniej do prędkości ucieczki [3]

Wartość ilorazu	Długość przebywania pierwiastka w atmosferze
3,0	połowa cząstek opuści atmosferę w czasie nie dłuższym niż kilka tygodni
4,0	połowa cząstek opuści atmosferę w czasie nie dłuższym niż kilka tysięcy lat
5,0	połowa cząstek opuści atmosferę po czasie 100 mln lat
6,0	gaz stabilny

czas gdy jest go bardzo dużo w atmosferach gazowych olbrzymów.

Co należy rozumieć pod pojęciem grubości atmosfery?

Atmosfera, wbrew temu co jest przedstawiane na wielu rysunkach dotyczących efektu cieplarnianego, nie ma dokładnie określonej granicy. Liczba cząstek zawartych w jednostce objętości atmosfery maleje stopniowo, tak samo jak ciśnienie. W pierwszym przybliżeniu można powiedzieć, że ciśnienie zależy od wysokości poprzez znaną nam ze szkoły zależność.

$$p = p_0 \exp\left(\frac{-z}{H}\right) \quad (2)$$

gdzie:

- z – wysokość nad poziomem Ziemi, lub innego rozpatrywanego obiektu,
- p_0 – ciśnienie na powierzchni obiektu,
- H – wysokość (lokalna) charakterystyczna atmosfery.

Analizując wzór (1) można dokonać prostej interpretacji parametru H jako takiej wysokości, na której ciśnienie maleje o czynnik e . Wysokość ta odpowiada jednocześnie wysokości, poniżej, której znajduje się dwie trzecie masy atmosfery. Na tej podstawie wartość parametru H można przyjąć jako miarę grubości atmosfery.

W tabeli 2 przedstawiono zestawienie przyspieszenia grawitacyjnego i wysokości charakterystycznych dla Wenus, Ziemi i Marsa. Widać, że nie ma ścisłej korelacji pomiędzy tymi wartościami. Dodatkowo należy stwierdzić, że w każdym przypadku są to wielkości stosunkowo niewielkie, nawet w porównaniu do wysokości nierówności powierzchni tych planet

Bilans energetyczny

Kolejnym bardzo ważnym zagadnieniem, z punktu widzenia atmosfery, jest kwestia jej bilansu energetycznego. Jeśli bilans energetyczny atmosfery jest dodatni to atmosfera się nagrzewa. Jeśli jest ujemny to atmosfera się ochładza. Atmosfera może otrzymywać energię z dwóch źródeł: „od zewnątrz”, jako

Tabela 2. Przyspieszenie grawitacyjne i wysokości charakterystyczne na planetach typu ziemskiego [3]

Planeta	Przyspieszenie grawitacyjne [m/s ²]	Wysokość charakterystyczna [km]
Wenus	8,88	14,9
Ziemia	9,81	8,4
Mars	3,70	10,6

energia promieniowania elektromagnetycznego macierzystej gwiazdy, jak i „od wewnątrz” – czyli od strony planety, na której się znajduje. Głównym źródłem energii atmosfery ciał w układzie słonecznym jest Słońce. Aby obliczyć ile energii otrzymuje planeta od Słońca należy pomnożyć stałą słoneczną dla danej planety przez pole przekroju poprzecznego tej planety.

$$E = \pi R^2 S,$$

gdzie: R – promień planety, S – stała słoneczna dla danej planety.

Aby obliczyć energię padającą na jednostkę powierzchni, należy wartość E podzielić przez powierzchnię planety. Jeśli planeta jest okrągła, to będzie to $4 \pi R^2$. Należy zaznaczyć, że energia jaką otrzymuje jednostka powierzchni nie jest zawsze taka sama ale zależy od położenia, zwłaszcza od odległości od równika. Energia docierająca do planety obdarzonej atmosferą może zostać, po pierwsze – odbita w kosmos, po drugie – może przedostać się do gruntu planety i tam zostać zaabsorbowana lub odbita, po trzecie – może zostać pochłonięta przez atmosferę. Energia, która zostaje odbita nie bierze udziału w dalszych procesach wymiany ciepła przez atmosferę, jest tracona. Procent tych strat jest opisywany przez parametr albedo α . Energia absorbowana wynosi więc:

$$E_a = E(1 - \alpha).$$

Sumując, można stwierdzić, że z punktu widzenia energetyki atmosfery, najważniejsze są: odległość od Słońca i wynikająca stąd ilość energii na jednostkę powierzchni oraz albedo. Wartości wspomnianych parametrów znajdują się w tabeli 3.

Należy wspomnieć, że nie są to jedyne czynniki. Pewną rolę może odgrywać ak-

Tabela 3. Najważniejsze parametry decydujące o zdolnościach absorbowania promieniowania słonecznego przez planetę [3]

Planeta	Odległość od słońca [mln km]	Stała słoneczna – strumień promieniowania słonecznego	Albedo
Merkury	58	0,92	0,058
Wenus	108	0,26	0,71
Ziemia	150	0,14	0,33
Mars	228	0,06	0,17
Jowisz	778	0,0049	0,73
Saturn	1430	0,0015	0,76
Uran	2870	0,00037	0,93
Neptun	4500	0,00015	0,84
Pluton (do niedawna planeta)	5900	0,00089	0,14

tywność wulkaniczna ciała, na którym atmosfera występuje, jak również, w przypadku Ziemi, czynniki związane z aktywnością człowieka. Temperatura nad wielkimi miastami nieznacznie się różni od temperatur występujących z daleka od miast.

No dobrze, ale teraz pojawia się pytanie – co się dzieje z tą zaabsorbowaną energią. Otóż jest ona po pewnym czasie reemitowana w kosmos przez atmosferę. Jeśli energia reemitowana jest równa absorbowanej to temperatura atmosfery jest stała. W przeciwnym razie będziemy mieli do czynienia z oziębianiem lub ocieplaniem się klimatu na danej planecie.

W tym miejscu jest pora na wprowadzenie kolejnego, niezwykle istotnego, parametru opisującego atmosferę – temperatury efektywnej T_e . Temperatura efektywna jest to temperatura jaką miałaby planeta, gdyby promieniując jako ciało doskonale czarne emitowała tę samą ilość energii na jednostkę czasu z jednostkowej powierzchni. Tak zdefiniowaną temperaturę efektywną można wyliczyć z prostej zależności:

$$S(1 - \alpha) = T_e^4 4\pi R^2.$$

Lewa strona tego równania przedstawia energię absorbowaną przez planetę, podczas

gdzie prawa przedstawia wyrażenie określające energię emitowaną przez ciało doskonale czarne o szukanej temperaturze T_e .

Należy podkreślić, że strumień energetyczny padający na jednostkę powierzchni nie jest wszędzie jednakowy. Okolice równika danego ciała zazwyczaj otrzymują więcej energii niż bieguny. W związku z tym pojawia się nie tylko pionowy ruch ciepła ale także poziomy, zazwyczaj konwekcyjny jego transport.

W artykule poświęconym atmosferze nie powinno zabraknąć chociażby wzmianki o efekcie cieplarnianym i wyjaśnienia na czym on polega.

W książce [2] można spotkać się z następującą definicją efektu cieplarnianego: *Efekt cieplarniany albo szklarniowym nazywa się mechanizm, którego działanie polega na takiej dystrybucji energii cieplnej, która powoduje, że temperatura w obiekcie sterującym wymianą energii ustala się na poziomie wyższym od wynikającego z prostej równowagi energetycznej obiektu i jego otoczenia.* Można powiedzieć, że definicja ta nie jest precyzyjna, ponieważ odwołuje się do pojęcia prostoty, które to pojęcie jest rzeczą umowną. W przypadku planet z atmosferą polega to na tym, że część promieniowania cieplnego (podczerwonego) zostaje pochłonięta przez atmosferę i powtórnie wyemitowana w kierunku macierzystej planety. Efektem tego jest to, że ilość energii cieplnej jest większa niż gdyby cała energia, bezpośrednio po ogrzaniu podłoża, opuściła planetę. Z powyższej definicji wynika jeden wniosek. Efekt cieplarniany powinny wykazywać wszystkie ciała obdarzone atmosferą, nie tylko Ziemia.

Merkury

Merkury jest planetą o relatywnie małej masie. Jego masa wynosi $3,33 \cdot 10^{23}$ kg. Dla porównania masa Ziemi wynosi $5,97 \cdot 10^{24}$ kg. Jest więc blisko 18 razy większa [4–6]. Co prawda promień też jest mniejszy i wynosi 0,38 promienia Ziemi to jednak przyspieszenie grawitacyjne na powierzchni wynosi $3,7 \text{ m/s}^2$, czyli około jednej trzeciej przyspieszenia grawitacyjnego na powierzchni Ziemi.

Ta mała wartość przyspieszenia grawitacyjnego w połączeniu z ekstremalnie wysoką temperaturą powoduje, że Merkury nie może sam z siebie utrzymać atmosfery.

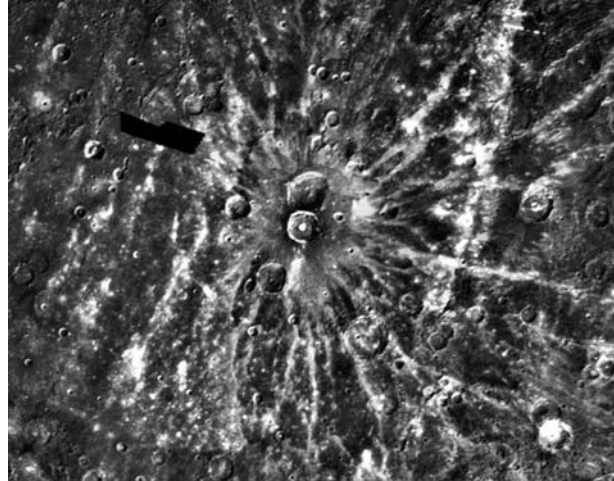
Często spotyka się stwierdzenie, że Merkury nie posiada atmosfery. Nie jest to do końca prawdą. Ciśnienie na powierzchni Merkurego wynosi 10^{-12} hPa. Zgodnie z klasyfikacją ciśnień można powiedzieć, że jest to próżnia ekstremalnie wysoka. Jednakże ciśnienie tzw. próżni kosmicznej jest jeszcze o kilka rzędów wielkości mniejsze.

W skład merkuriańskiej atmosfery wchodzi wodór, hel, tlen, potas i wapń. Skąd się bierze atmosfera na Merkurym? Dawcą wodoru i helu jest najprawdopodobniej Słońce, które emituje te pierwiastki pod postacią wiatru słonecznego. Pozostałe pierwiastki powstają w wyniku uwalniania ze skał tworzących Merkurego.

Oczywiście taka słaba atmosfera nie może pełnić takiej roli jak atmosfera Ziemska, albo atmosfera na innych masywniejszych planetach. Po pierwsze nie może osłaniać planety przed wpływem kosmosu. Meteority uderzające w Merkurego nie mają szans spalić się w jego atmosferze. Tak więc bombardowanie powierzchni Merkurego odłamkami skalnymi trwa w najlepsze. Super rzadka atmosfera Merkurego nie może też brać udziału w konwekcyjnym transporcie ciepła, czyli niwelować olbrzymich różnic temperatur na powierzchni planety. Skutkiem tego są olbrzymie różnice w temperaturze pomiędzy oświetloną i ciemną stroną planety, ale także występowanie rejonów wiecznie chłodnych. Na dnie niektórych kraterów na Merkurym temperatura jest tak niska, że możliwe jest gromadzenie się w nich lodu.

Atmosfera Plutona

Aby zdać sobie sprawę z wpływu temperatury na atmosferę warto porównać atmosfery Merkurego i Plutona. Pluton do niedawna był uważany za planetę jednak 24 sierpnia 2006 roku na spotkaniu w Pradze, grono szukających rozgłosu i marzących o wzroście pensji mędrców, pozbawiło go tego tytułu [8]. W każdym razie jest to bry-



Fot. 1. Powierzchnia Merkurego ze śladami kraterów uderzeniowych (fot. NASA, photo of the day gallery)

ła obiegająca słońce o masie w odległości ok. 40 razy większej niż Ziemia. Jego masa wynosi $1,3 \cdot 10^{22}$ kg jest więc o rząd wielkości mniejsza niż Merkurego. Promień wynosi 1150 km. Natężenie pola grawitacyjnego przy powierzchni jest więc malutkie i wynosi $0,66 \text{ m/s}^2$, czyli około pięć razy mniej niż na powierzchni Merkurego. Mimo to Pluton, w porównaniu z Merkurym, odznacza się wprost imponującą atmosferą. Ciśnienie na powierzchni Plutona waha się pomiędzy $1,5 \cdot 10^{-3}$ hPa a $3 \cdot 10^{-3}$ Pa. Atmosferę posiada też „partner” Plutona Haron. Z cech tej wspaniałej atmosfery wynika, że na powierzchni Plutona jest „pioruńsko zimno”.

Atmosfera Plutona jest tworem bardzo ciekawym. Składa się głównie z azotu, dwutlenku węgla i metanu. Jej właściwości bardzo intensywnie zależą od aktualnej odległości od Słońca. W momencie zbliżania się Plutona do Słońca zachodzi sublimacja azotu i metanu z jego powierzchni. W momencie oddalania składniki atmosfery ponownie osiadają na jego powierzchni. Jednym z ciekawszych efektów związanych z atmosferą Plutona jest tak zwany odwrotny efekt cieplarniany. Ponieważ na sublimację/parowanie azotu zużywana jest energia cieplna, na powierzchni Plutona jest zimniej niż by wynikało to z odległości od Słońca.

Wenus

Skoro na Plutonie występuje ujemny efekt cieplarniany, to można postawić pytanie czy gdzieś w kosmosie da się go jeszcze zaobserwować. Otóż można i to całkiem niedaleko. Miejszem takim jest nasza siostrzana planeta Wenus [9]. W tym przypadku mówi się nie tylko o efekcie cieplarnianym ale nawet o galopującym efekcie cieplarnianym. Temperatura na powierzchni Wenus przekracza 500°C i jest większa niż temperatura topnienia ołowiu. Oczywiście tę wysoką temperaturę Wenus zawdzięcza przede wszystkim swojej zbudowanej z dwutlenku węgla (97%) i azotu (3%) niezwykle gęstej atmosferze.

Ciśnienie na powierzchni Wenus wynosi 90 atm, czyli jest 90 razy większe niż na powierzchni Ziemi. Jednakże nie na każdej wysokości atmosfera jest jednakowo gorąca. Im wyżej, tym zimniej. Temperatura w zewnętrznych warstwach atmosfery Wenus może spadać do ok. 100 K. Ciekawy jest też fakt, że temperatura efektywna atmosfery Wenus wynosi zaledwie 244 K (-29°C). Jest więc niższa niż temperatura efektywna znajdującej się dalej od Słońca Ziemi.

Gęsta atmosfera Wenus jest nieprzepuszczalna dla promieniowania świetlnego, w związku z tym do momentu rozpoczęcia badań za pomocą próbników nie znany był nawet okres obrotu Wenus. Znany był tylko czas obrotu zewnętrznych warstw atmosfery. Tymczasem zewnętrzne partie atmosfery Wenus wirują znacznie szybciej niż jej wnętrze. Okres obiegu zewnętrznych warstw atmosfery to mniej więcej cztery ziemskie dni podczas gdy okres obiegu planety jako takiej wynosi 243 ziemskie dni.

Jak już wspomniano, atmosferę Wenus stanowią nie tylko przezroczyste gazy ale też nieprzezroczyste chmury. Warstwa chmur rozciąga się pomiędzy 50 a 70 kilometrem od powierzchni planety. Wyróżnia się zazwyczaj trzy warstwy chmur, każda z nich zbudowana jest z kropeł roztworu kwasu siarkowego w wodzie.

Powyżej i poniżej warstwy chmur znajduje się mgła zawierająca głównie krople roztworu kwasu siarkowego w wodzie.

Atmosfera Marsa

Jeśli przeniesiemy się na zewnętrzną stronę orbity Ziemi to możemy spotkać naszego mniejszego sąsiada Marsa. Masa Marsa, która stanowi zasadniczy parametr w rozważaniach dotyczących stabilności i składu atmosfery, stanowi zaledwie jedną dziesiątą masy Ziemi. Promień zaś to około połowy promienia Ziemi. Przyspieszenie grawitacyjne wynosi $3,69\text{ m/s}^2$, czyli niewiele więcej niż jedna trzecia przyspieszenia ziemskiego. Wszystkie te cechy nie sprzyjają posiadaniu dużej i ciężkiej atmosfery, i rzeczywiście tak jest. Ciśnienie atmosferyczne na Marsie wynosi ok. 610 hPa. Najważniejszym składnikiem atmosfery jest dwutlenek węgla (95%). Drugi z kolei jest azot (2,7%). Atmosfera Marsa jest dość burzliwa. Występują w niej liczne burze piaskowe i silne wiatry.

Spotyka się w niej również rzadkie chmury. Na niższych wysokościach znajdują się chmury z kryształków lodu a na wyższej chmury utworzone z wody i skroplonego dwutlenku węgla. Taka cienka atmosfera nie utrudnia obserwacji powierzchni planety. Na marsie występuje jednak, wywołany obecnością dwutlenku węgla w atmosferze efekt cieplarniany. Szacuje się, że obecność atmosfery wpływa na wzrost temperatury powierzchni Marsa o 5 K.

Atmosfera gazowych olbrzymów

Dalej od Słońca znajdują się trzy planety określane mianem gazowych olbrzymów, są to: Jowisz, Saturn, Uran i Neptun [4]. Już sama nazwa wskazuje, że powinny one wyróżniać się dużą ilością gazu, czyli rozbudowaną atmosferą. I tak jest w istocie.

Olbrzymia masa gazowych olbrzymów zmieniła zasadniczo warunki stabilności atmosfery. Duża prędkość ucieczki sprawia, że gazowe olbrzymy są w stanie zatrzymać wodór i hel. Właśnie te dwa pierwiastki stanowią główny składnik gazowych olbrzymów. Większą część objętości tych planet stanowią ich atmosfery. Za pomocą ziemskich teleskopów czy sond przelatujących w sąsiedztwie tych planet nie można obserwować powierzchni ich wnętrza, np. ich oceanów

a jedynie zewnętrzne warstwy ich atmosfer. Często w przypadku gazowych olbrzymów ciężko jest mówić o przysieszeniu grawitacyjnym na ich powierzchni, a to z tej przyczyny, że twory te nie posiadają powierzchni w znaczeniu takim jak Merkury czy Ziemia.

Jowisz

Jowisz jest największą planetą Układu słonecznego i, jak to zostało powiedziane uprzednio, największą jego część stanowi atmosfera. Tak na dobrą sprawę Jowisz nie ma powierzchni. Zagłębiając się w atmosferę Jowisza obserwować będziemy wzrost ciśnienia, aż do przejścia do stanu ciekłego, a potem metalicznego wodoru.

Atmosfera zewnętrzna, tak jak w przypadku innych gazowych olbrzymów, składa się głównie z wodoru (86%) i helu (14%). Skład ten jest zbliżony do składu chemicznego dysku, z którego uformował się układ słoneczny. Poza tymi dwoma zasadniczymi składnikami, w atmosferze Jowisza spotkać można metan, amoniak, związki siarki i wodę. Chociaż ilość wody jest zaskakująco niska.

Ze względu na dużą masę planety należy się też spodziewać dużej rozciągłości atmosfery. Rzeczywiście grubość atmosfery Jowisza ocenia się na 1000 km. Jak każda planeta o rozbudowanej atmosferze posiada też chmury. Rozróżnia się przynajmniej trzy warstwy chmur. Każda z tych warstw zbudowana jest z innego typu związków. Najniżej położone są chmury wodne. Wyżej znajdują się chmury zbudowane z amoniaku i związków siarki. Na samej górze z kolei znajdują się chmury z samego amoniaku. Chmury Jowisza tworzą bardzo dziwną strukturę, której pochodzenie nie jest do końca jasne. Struktura ta składa się z ułożonych równoległe do równika ciemnych i jasnych pasów. Inną cechą struktury Jowisza jest występowanie cyklonów i antycyklonów widocznych z zewnątrz jako olbrzymie wiry. Największym cyklonem jest tak zwana wielka czerwona plama, która nie zanikła w atmosferze Jowisza przynajmniej przez kilka ostatnich stuleci, a jej średnica jest większa od średnicy Ziemi.

Saturn

Kolejnym gazowym olbrzymem jest Saturn. Saturn jest słynny ze swoich pierścieni, ale nie jest to jedyna wyróżniająca go cecha. Charakteryzuje się on niezwykle małą gęstością – mniejszą niż gęstość wody, ekstremalnie dużym spłaszczeniem i bardzo wysoką szybkością wirowania. Skład atmosfery (tak jak w przypadku Jowisza) jest zbliżony, zarówno do składu Słońca, jak i dysku, z którego wyłoniły się planety. Można założyć, że posiada skaliste jądro, ale nie ma bezpośrednich dowodów to potwierdzających. W atmosferze Saturna wieją niezwykle silne wiatry. Ich prędkość może dochodzić do 1800 km/h. Atmosfera Saturna bardzo szybko wiruje. Ale szybkość wirowania zależy od odległości od równika. Również w tym przypadku zaobserwować można trzy rodzaje chmur: siarkowe, wodne i zbudowane z amoniaku.

Uran

Uran jest kolejnym z gazowych olbrzymów i pierwszą planetą odkrytą w czasach nowożytnych. Mimo że został on odkryty ponad 200 lat temu nie został dokładnie zbadany. Poza obserwacjami z Ziemi i za pomocą teleskopu Hubble'a praktycznie nie prowadzono zakrojonych na szerszą skalę badań tej planety. Jedyna sonda kosmiczna, która zbliżyła się do niego, w 1986 roku, to Voyager 2.

Tak jak w przypadku Jowisza, wierzy się, że na Uranie nie ma wyraźnej granicy pomiędzy płynnym oceanem (tym razem zbudowanym z wody, amoniaku i metanu) a atmosferą. Skład atmosfery jest typowy dla gazowych olbrzymów, czyli dużo wodoru (83%), trochę mniej helu (15%). Nowością jest występowanie stosunkowo dużej ilości (ok. 2%) metanu i amoniaku. Obecność metanu i tworzonych przez niego chmur decyduje o niebieskawej (turkusowej) barwie globu. Obserwacje wykonane przez Voyagera wskazują na występowanie w atmosferze Urana również bardziej złożonych związków organicznych, takich jak etan, acetylen, metaacetylen i diacetylen. W troposferze (najniższa warstwa atmosfery Urana) znajdują się trzy rodzaje chmur. Najbliżej powierzchni oceanu

znajdują się chmury wodne, powyżej amoniakalne, a jeszcze wyżej widoczne z kosmosu chmury zbudowane z metanu. Atmosfera Urana jest bardzo dynamiczna, występują w niej prądy konwekcyjne i silne wiatry. Obserwuje się również dużą zmienność sezonową. Na samej górze termosfery istnieje stosunkowo silnie rozwinięta warstwa jonosfery złożona głównie z warstwy w jonów H^{3+} . Inne bardziej rozrzedzone warstwy atmosfery Urana to stratosfera i termosfera.

Neptun

Ostatnim z wielkich gazowych olbrzymów jest Neptun. Historię odkrycia Neptuna zna każdy, szanujący się i dbający o autopromocje, fizyk teoretyk. Zanim odkryto położenie Neptuna, najpierw wyliczono je dokładnie, analizując matematycznie zaburzenia ruchu Urana. Znalezienie Neptuna stanowiło jeden z ważniejszych dowodów na słuszność mechaniki Newtona. Oczywiście i w tym przypadku atmosfera złożona jest głównie z wodoru, helu i nadającym mu niebieski kolor metanu. Zaznaczyć należy, że rozmieszczenie metanu w atmosferze Neptuna nie jest równomierne i w okolicach równika jest go ok. dziesięć razy więcej niż w okolicach biegunów. Energia do atmosfery Neptuna jest dostarczana z dwóch źródeł. Z jednej strony od Słońca a z drugiej od wewnętrznego źródła ciepła, znajdującego się wewnątrz planety, a którego natura nie jest wystarczająco poznana.

To co wyróżnia atmosferę Neptuna to najsilniejsze w całym Układzie Słonecznym wiatry, których prędkość dochodzi do 2500 km/h. Inną cechą atmosfery Neptuna jest obecność długo-życiowego wiru zwanego Wielką Ciemną Plamą.

A Księżyc?

Posługując się wspomnianą na początku, niezwykle rozciągliwą, definicją atmosfery, można postawić pytanie czy nasz największy naturalny satelita Księżyc będzie miał atmosferę. Nie trudno się domyśleć, że i w tym wypadku odpowiedź będzie twierdząca. Potwierdzenia jej istnienia dostarczyły mające

miejsce w latach 70. XX wieku misje Apollo. Ciśnienie atmosferyczne na Księżycu to zaledwie 10^{-7} Pa [10]. Jej całkowita masa jest stosunkowo „niewielka” i wynosi 10^4 kg. Oczywiście, ze względu na stosunkowo małą masę Księżyca, jest to atmosfera niestabilna, nieustannie wymieniająca cząstki gazu z przestrzenią kosmiczną.

Dzięki wiatrowi słonecznemu można zaobserwować obecność wodoru i helu, ale oczywiście nie przebywają one w niej stale. Innym źródłem atmosfery Księżyca są uderzenia mikrometeorów i reakcje rozszczepiania zachodzące w skałach księżycowych. Tym procesom atmosfera Księżyca zawdzięcza obecność takich pierwiastków jak radon, polon, sód czy potas. Oczywiście taka symboliczna atmosfera nie może w stanowić „izolacji cieplnej” dla księżycowego globu, ani nawet zmieniać warunków rozchodzenia się światła, co powoduje, że na Księżycu cienie są zawsze ostre i nie ma zjawiska rozpraszania się światła.

Dokończenie w numerze 4.

ZBIGNIEW WIŚNIEWSKI

Instytut Energii Atomowej – Polatom Otwock, Świerk.

LITERATURA

- [1] J. V. Ibarne, *Fizyka Atmosfery*, PWN 1988.
- [2] K. Koźuchowski, R. Przybylak, *Efekt cieplarniany*, Wiedza Powszechna Warszawa 1995
- [3] M. C. Denlinger, *The origin and evolution of the atmospheres of venus earth and Mars*, Earth Moon and Planets, 2005, vol. 96, p. 59
- [4] M. Abramowicz, J. Gadowski, S. Grzędzielski, M. Kubiak, J. P. Lasota, J. Mergentaler, K. Stępień, O. Włczek, *Astronomia popularna*, Wiedza Powszechna Warszawa 1990
- [5] <http://pl.wikipedia.org/wiki/Merkury>
- [6] [http://en.wikipedia.org/wiki/Mercury_\(planet\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Mercury_(planet))
- [7] S. C. Solomon, *Mercury: the enigmatic innermost planet*, Earth and Planetary Science Letters, 2003, vol. 216, p. 441
- [8] http://pl.wikipedia.org/wiki/134340_Pluton
- [9] <http://pl.wikipedia.org/wiki/Wenus>
- [10] M. Mendillo, *The atmosphere of the Moon*, Earth Moon and Planet, 2001, 86–87, p. 271
- [11] K. Haman, *Fizyka atmosfery*, (w:) *Encyklopedia Fizyki Współczesnej*, PWN Warszawa 1983