



AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO
im. gen. broni K. Świerczewskiego

ODDZIAŁ Nr 2

13

pplk SŁAWIŃSKI

FIZYCZNA STRUKTURA ATMOSFERY W ŚWIETLE
WSPÓLCZESNYCH POGLĄDÓW

(Skrypt)



4179

REMBERTÓW

PAŹDZIERNIK

1965



AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO
im. gen. broni K. Świerczewskiego

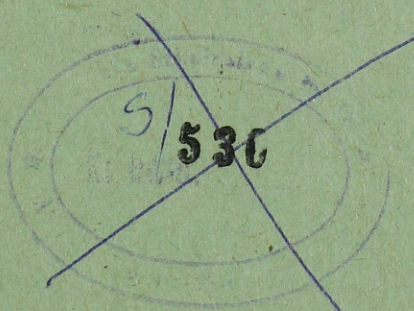
ODDZIAŁ Nr 2

13

ppłk SŁAWIŃSKI

FIZYCZNA STRUKTURA ATMOSFERY W ŚWIETLE
WSPÓŁCZESNYCH POGLĄDÓW

(Skrypt)



4179

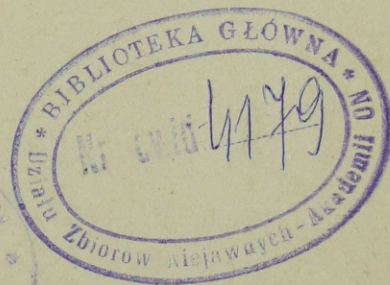
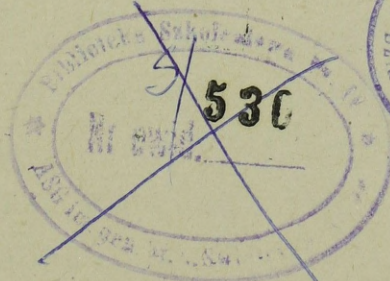
AKADEMIA SZTABU GENEALNEGO
im. gen. broni K. Świerczewskiego

ODDZIAŁ NR 2

ppłk SŁAWIŃSKI

Fizyczna struktura atmosfery w świetle
współczesnych poglądów.

/skrypt/



REMBERTÓW PAŹDZIERNIK 1965r.

Fizyczna struktura atmosfery

w świetle współczesnych poglądów.

Atmosferą nazywamy powłokę gazową otaczającą Ziemię. Nazwa atmosfery pochodzi od słów greckich "atmos" - para, powietrze, oddychanie i "sphaira" - kula, powłoka.

Atmosfera odgrywa bardzo ważną rolę dla życia organicznego na Ziemi. Mianowicie dostarcza niezbędny dla oddychania tlen, chroni nas od szkodliwych promieni kosmicznych i od ultrafioletowego promieniowania słonecznego oraz chroni powierzchnię ziemi od silnego nagrzewania w dzień i silnego ochłodzenia nocą.

Gdyby nie było atmosfery, temperatura powierzchni ziemi w dzień dochodziłaby do 100°C i więcej, a nocą gwałtownie obniżałaby się do -100° . Wszędzie panowałaby zupełna cisza, ponieważ dźwięk nie może rozchodzić się w próżni, dzień i noc nastawałyby momentalnie, a niebo byłoby absolutnie czarnym. Na szczęście jest inaczej, jak wiadomo Ziemia posiada atmosferę, która składa się z mieszaniny gazów, nazywaną powietrzem atmosferycznym.

Skład atmosfery.

W skład suchego powietrza atmosferycznego wchodzi następujące gazy: azot /78,09 % objętości/, tlen /20,95 %/, argon /0,93 %/, dwutlenek węgla /0,03 %/ i grupa gazów szlachetnych, ilość których jest znikoma. Są to: neon, hel, ozon oraz ślady kryptonu i ksenonu.

W atmosferze zawsze znajduje się pewna ilość pary wodnej. Ciągłe dostarczanie pary wodnej do atmosfery odbywa się dzięki parowaniu powierzchni oceanów i mórz oraz łądów, a w szczególności azaty roślinnej. Zawartość pary

wodnej w atmosferze waha się od 0 do 4 % w zależności od temperatury powietrza.

Prócz wyżej wymienionych składników, w atmosferze znajduje się wiele różnego rodzaju zanieczyszczeń pochodzenia mechanicznego i organicznego. Są to między innymi: dymy i gazy z zakładów przemysłowych, pyły /w tej liczbie produkty z rozpadu radioaktywnego/, nasiona i pyły roślinne, drobne cząstki soli morskiej, pyły wulkaniczne, bakterie i inne.

Analiza próbki powietrza wzięte na wysokości około 20 km wykazała, że skład powietrza tego, nieznacznie różni się od składu powietrza przy powierzchni ziemi. Współczesne badania wykazały, że powietrze atmosferyczne jest równomiernie mieszane przez prądy konwekcyjne /wstępujące i zstępujące/ do pewnych wysokości i w związku z tym jego skład prawie nie zmienia się.

Nieco inaczej zachowuje się ozon O_3 . Ozon jest to gaz bezbarwny o charakterystycznym zapachu. Zawartość ozonu przy powierzchni ziemi jest zanikoma. Przedostaje się na powierzchnię ziemi w głównej mierze dzięki prądom zstępującym podczas burzy, gdy występują silne wyładowania elektryczne. Największa koncentracja ozonu występuje na wysokościach rzędu 25-40 km od powierzchni ziemi. Główną przyczyną tworzenia się ozonu na tych wysokościach jest ultrafioletowe promieniowanie słoneczne, pod działaniem którego cząstki tlenu O_2 rozpadają się na atomy "O". Oddzielne atomy tlenu "O" łączą się z cząstkami tlenu O_2 i tworzą ozon O_3 . Należy zaznaczyć, że w atmosferze jest bardzo mało ozonu. Obserwacje wykazały, że gdybyśmy warstwę ozonu sprowadzili do normalnego ciśnienia 760 mm sł. rt. przy temperaturze $0^{\circ}C$, to grubość warstwy ozonu dla umiarkowanych szerokości geograficznych równałaby się ok. 3 mm. W średnich i dużych szerokościach geograficznych maksymalna zawartość ozonu występuje wiosną, minimalna zaś jesienią. Należy podkreślić, że zawartość

ozonu w atmosferze ma bardzo ważne znaczenie dla życia na Ziemi. Gdyby ozon gwałtownie zniknął z atmosfery, to wszelkie życie na Ziemi przestałoby istnieć, a powierzchnia ziemi zostałaby "spalona" promieniami ultrafioletowymi. Ozon ma te właściwości zbawienne dla Ziemi, że pochłania ultrafioletowe promieniowanie słoneczne i ciepłe promieniowanie długofalowe wysyłane przez powierzchnię Ziemi. To pochłanianie przez ozon promieniowania ultrafioletowego wysyłanego przez Słońce i promieniowania długofalowego wysyłanego przez Ziemię powoduje nagrzewanie się powietrza atmosferycznego na wysokościach 30-55 km. Ozon jest rezerwuarem ciepła w atmosferze.

Sfery i warstwy atmosfery.

Atmosfera pod względem własności fizycznych jest niejednorodna zarówno w płaszczyźnie pionowej jak i poziomej. Zmiany fizyczne atmosfery są wywoływane przede wszystkim zmianami charakterystyk fizycznych temperatury powietrza, gęstości, ciśnienia, prądów powietrznych, wilgotności i inne. Najbardziej wyraźne zmiany własności fizycznych atmosfery występują w kierunku pionowym. Na przykład, temperatura przy waroście wysokości o 1 km w dolnej części atmosfery spada średnio 6°C . Natomiast zmiana temperatury o tę samą wielkość i w tym samym czasie w kierunku poziomym może nastąpić na odległości około 500 - 600 km. Ogólnie można powiedzieć, że w kierunku pionowym temperatura powietrza zmienia się około 500 razy szybciej niż w kierunku poziomym. Ciśnienie atmosfery i gęstość powietrza również bardzo szybko zmieniają się wraz ze wzrostem wysokości. Na przykład, na wysokości około 50 km ciśnienie atmosferyczne jest 1000 razy mniejsze jak przy powierzchni ziemi, a na wysokości 100 km zmniejsza się 1 000 000 razy, w porównaniu z ciśnieniem przy powierzchni ziemi. Wilgotność powietrza podobnie jak gęstość powietrza

bardzo szybko maleje wraz ze wzrostem wysokości. Zaś prądy powietrzne /wiatry/ są jednym z najbardziej zmiennych elementów fizycznych atmosfery, bo zmieniają się co do czasu i co do przestrzeni.

Ze względu na swoje fizyczne właściwości atmosfera w kierunku pionowym została podzielona na 5 sfer i 4 warstwy przejściowe. Każda ze sfer odróżnia się swoją zmianą temperatury w kierunku pionowym oraz cechami charakterystycznymi innymi właściwościami fizycznymi, na przykład, składu, budowy i przewodnictwa elektryczności.

Sfery i warstwy przejściowe atmosfery.

Nazwa sfery	Średnia wysokość dolnej i górnej granicy w km.	Warstwa przejściowa
Troposfera	0 - 11	Tropopauza
Stratosfera	11 - 35	Stratopauza
Mezosfera	35 - 80	Mezopauza
Termosfera /jonosfera/	80 - 800	Termopauza
Egzosfera	powyżej - 800	

U w a g a : średnie wysokości poszczególnych sfer podane dla umiarkowanych szerokości geograficznych.

Pionowy przekrój atmosfery rys. 1.

Teraz przystąpimy z kolei do omówienia poszczególnych sfer.

Troposfera.

Troposfera, jest to najniższa sfera Ziemi. Dolną granicę troposfery stanowi powierzchnia ziemi, a górną granicą jest tropopauza. Górna granica troposfery stopniowo

podnosi się od biegunów ku równikowi. W tabeli nr 1 podane są wartości średniej wysokości i temperatury tropopauzy nad różnymi szerokościami geograficznymi. W danym wypadku, podane wysokości tropopauzy są górną granicą troposfery.

Tabela nr 1.

M i e j s c e	Szerokość geograf. w stopn.	Wysokość tropopauzy w km.	Temperatura tropopauzy w C.
Wiktoria	15	18	- 83
Strefa subtropikalna	30	14	- 63
Północne Włochy	45	11,1	- 60
Europa Środkowa	50	10,5	- 56
Północna Skandynawia	62	10,4	- 56

Na biegunach troposfera rozciąga się do wysokości 7-8 km. Z tabeli nr 1 widać, że wyżej położonej tropopauzie odpowiada niższa temperatura tj. w miarę zmniejszania się szerokości geograficznej, temperatura tropopauzy spada. Wysokość troposfery nad równikiem dochodzi do 17-18 km. Wysokość troposfery w umiarkowanych i dużych szerokościach geograficznych zmienia się w zależności od pór roku tj. w chłodnej porze roku jest mniejsza, a w ciepłej - większa. Również układy baryczne przesuwające się nad danym obszarem powodują zmianę wysokości troposfery tj. w niżu wysokość się zmniejsza, a w wyżu warstwa.

Troposfera charakteryzuje się spadkiem temperatury wraz ze wzrostem wysokości. Na rozkład temperatury ze wzrostem wysokości wywierają wpływ następujące czynniki: przewodnictwo cieplne, prądy konwekcyjne i fazowa przemiana wody w atmosferze. Zasadniczym źródłem ciepła dla troposfery jest nagrzana, w wyniku pochłaniania promieniowania słonecznego, powierzchnia ziemi. Ciepło to jest przekazywane atmosferze różnymi drogami.

Powierzchnia ziemi jak każde nagrzane ciało wypromieniowuje ciepło w postaci tak zwanego promieniowania długofalowego. Znaczna część promieniowania długofalowego jest pochłaniana przez parę wodną, dwutlenek węgla i ozon, co przyczynia się do nagrzewania się atmosfery. Ponieważ zawartość pary wodnej ze wzrostem wysokości bardzo szybko maleje, wyższe warstwy atmosfery pochłaniają znacznie mniejszą ilość promieniowania długofalowego niż warstwy atmosfery przylegające do powierzchni ziemi. W związku z tym należy podkreślić, że wraz ze wzrostem wysokości temperatura powietrza w troposferze powinna bardzo szybko spadać. Obliczenia wykazały, że przy uwzględnieniu tylko procesu pochłaniania promieniowania długofalowego w powietrzu nieruchomym, zmiana temperatury z wysokością powinna by wynosić więcej niż 1° na każde 100 m wysokości.

W rzeczywistości w atmosferze zawsze występuje mniejsze lub większe mieszanie się powietrza w kierunku pionowym. W związku z tym zmiana temperatury ze wzrostem wysokości /w kierunku/
pionowym jest zależna od konkretnych warunków atmosferycznych. Na przykład, zmniejszenie spadku temperatury ze wzrostem wysokości mogą wywołać fazowe zmiany stanu wody, a przede wszystkim kondensacja pary wodnej /podczas skraplania się pary wodnej wydzielane jest do otoczenia ciepło utajone, które częściowo ogrzewa powietrze/.

Ciągłe parowanie wilgoci z powierzchni ziemi powoduje częściowe osłabianie przyziemnych warstw atmosfery /na wyparowanie jednego grama wody trzeba około 600 kalorii/. Również prądy pionowe unosząc się do góry powodują spadek temperatury unoszonego powietrza aż do osiągnięcia poziomu kondensacji pary wodnej. W wyniku działania wyżej wymienionych procesów, temperatura powietrza w troposferze wraz ze wzrostem wysokości spada średnio 5°C na 1 km wysokości tj. $/0,6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}/$. Wielkość tę nazywamy pionowym gradientem temperatury. W rzeczywistości nie zawsze temperatura

powietrza w troposferze spada ze wzrostem wysokości. Często występują warstwy powietrza o grubości od kilkuset metrów do 1 km i więcej, w których temperatura ze wzrostem wysokości wzrasta. Takie zjawisko nazywamy inwersją temperatury. Prócz tego w troposferze występują warstwy powietrza o grubości od kilku do kilkudziesięciu metrów, w których temperatura powietrza ze wzrostem wysokości pozostaje bez zmian. Takie zjawisko nazywamy izotermią temperatury.

Troposfera w kierunku poziomym dzieli się na oddzielne części, zwane masami powietrza. Każda masa powietrza charakteryzuje się pewnymi określonymi właściwościami fizycznymi tj. reżimem ciepłym, zawartością wilgotności, charakterem produktów kondensacji /obłoki, opady, śnieg/, zjawiskami szczególnymi itd. Masy powietrza znajdują się w ciągłym ruchu tj. przemieszczają się z jednych obszarów kuli ziemskiej w inne. W wyniku tego przemieszczania masy powietrza tracą stopniowo swe pierwotne właściwości fizyczne.

Na pograniczu dwóch różnych mas powietrza przebiegają fronty atmosferyczne. Z frontami atmosferycznymi związane są dobrze rozwinięte strefy zachmurzenia i opadów.

W troposferze tworzą się nisko /cyklony/ i wyże /antycyklony/. Do wysokości 3-4 km występują wszystkie formy rzeźby barycznej. Do tej też wysokości występują bardzo intensywne zmiany pola ciśnienia i wiatru. Natomiast powyżej od wysokości 4-5 km pole baryczne /ciśnienie/ i odpowiednio pole wiatru stają się bardziej stałe. /Polem wiatru nazywamy przestrzenny rozkład wiatru tj. przestrzenny rozkład prędkości ruchu powietrza rozpatrywanej jako wielkość wektorowa.

Polem ciśnienia nazywamy przestrzenny rozkład ciśnienia atmosferycznego/.

Dolną część stratosfery /do 2-2,5 km/ nazywamy graniczną warstwą, bo do tej wysokości nasnaona się jonosfera

wpływ podłoża /powierzchni ziemi/.

Prędkość wiatru w warstwie granicznej warasta wraz ze wzrostem wysokości, a jego kierunek jest odchyłany w prawo na półkuli północnej i w lewo na półkuli południowej do około 30° /działanie siły wskutek obrotu ziemi wokół swej osi/. W granicznej warstwie obserwuje się dobowy przebieg temperatury i wiatru /zmiana wielkości z godziny na dzień/. Ze wzrostem wysokości dobowa amplituda temperatury i wiatru stopniowo zmniejsza się, a na granicy warstwy granicznej /2-2,5 km/ jest tak mała, że można nie brać jej pod uwagę.

Do wysokości około 2-2,5 km występują wszystkie rodzaje mgieł i ochmur niskich. W warstwie tej kształtują się znaczne wahania zawartości pary wodnej.

Powyżej warstwy granicznej prędkość wiatru wraz ze wzrostem wysokości stopniowo warasta, osiągając na wysokości tropopauzy swoje maksimum lub w granicach od 1 do 1,5 km powyżej lub poniżej tropopauzy. Wiatry w tej warstwie wiodą przeważnie z kierunku zachodniego.

Nad różnymi rejonami powierzchni ziemi na wysokości od 7 do 13 km mogą wystąpić tak zwane prądy strumieniowe. Są to stosunkowo wąskie strefy silnych wiatrów o prędkości 100 km/godz, a niekiedy mogą dojść do 600-700 km/godz. Rozciągłość tych stref jest bardzo różna, długość może dochodzić do kilku tysięcy kilometrów, szerokość do 300-400 km i wysokość do 4 kilometrów. Znaczna ilość stref prądów strumieniowych rozciąga się w górnej części troposfery, a maksymalne prędkości prądów występują najczęściej w dolnej części tropopauzy.

Tropopauza.

Tropopauzą nazywamy warstwę przejściową od troposfery do stratosfery. Grubość tej warstwy waha się od kilkuset metrów do 4-6 km. Wysokość tropopauzy określa się na podstawie gwałtownego załamania się krzywej temperatury wy-

kreślonej według danych z radiosondowania atmosfery. W dolnej części tropopauzy występuje zwykle gwałtowne lub stopniowe zahamowanie spadku temperatury i tym samym zmniejszenie wielkości pionowego gradientu temperatury. W zależności od rozkładu temperatury w kierunku pionowym tropopauzę można określić jako warstwę inwersyjną lub jako warstwę izotermiczną. Wysokość tropopauzy jest zależna od szerokości geograficznej, pory roku i panującego na danym obszarze układu barycznego. Mianowicie, jest nachylna od małych szerokości geograficznych do dużych, sięga znacznie wyżej w porze letniej i w czasie panowania wyżu. Niekiedy tropopauza może mieć skomplikowaną strukturę tj. zamiast jednej jednorodnej warstwy może wystąpić dwie lub kilka warstw. W danym wypadku ogólna grubość tropopauzy może dojść do 4-6 km.

Tropopauza jest często górną granicą chmur wysokich, a niekiedy silnie rozbudowanych chmur burzowych.

Stratosfera.

Stratosfera rozciąga się średnio w granicach od 11 do 35 km. Odróżnia się ona od troposfery głównie pionowym rozkładem temperatury /rys.2/. Poczynając od tropopauzy, temperatura wraz ze wzrostem wysokości albo pozostaje bez zmian /stratyfikacja izotermiczna^{x/}/, albo lekko wzrasta /stratyfikacja inwersyjna^{xx/}/. /Stratyfikacja - uwarstwienie/.

x/ Izotermia jest to warstwa powietrza w atmosferze, w której temperatura powietrza ze zmianą wysokości nie zmniejsza się.

xx/ Inwersja jest to warstwa powietrza w atmosferze, w której temperatura powietrza ze wzrostem wysokości wzrasta.

W związku z takim rozkładem temperatury w stratosferze, przez dłuższy czas panowało przekonanie, że stratosfera jest spokojną warstwą /sferą/, w której występują tylko nieznaczne zmiany elementów meteorologicznych. Zwiększone wysokości radiosondowania wykazały, że takie wyobrażenie było błędne, bo w stratosferze, bardzo aktywnie mogą rozwijać się procesy atmosferyczne, z którymi związane jest przemieszczanie się ciepłych i chłodnych mas powietrza na duże odległości.

Na podstawie danych systematycznego sondowania temperatury nad Niemcami, Polską i Krajami Bałtyckimi w okresie od 22.02.1952 r. do 29.02.1952 r. zarejestrowano zmiany temperatury na różnych wysokościach stratosfery od 25 - 30°. W tym samym okresie temperatura nad Grenlandią na wysokości 20 km wzrosła o 47°, na wysokości około 15 km - o 34°, a na wysokości około 10 km - o 17°. W tym samym okresie przy powierzchni Ziemi temperatura spadła tylko 6°. Również w tym okresie nastąpiły znaczne zmiany ciśnienia. Przytoczone liczby wskazują, że rzeczywiste wartości elementów meteorologicznych, a przede wszystkim temperatura, mogą znacznie różnić się od wartości przyjętych w stratosferze standardowej. Dlatego przed wykonaniem lotu w stratosferze niezbędna jest konkretna ocena sytuacji atmosferycznej.

Rozkład prędkości wiatru w stratosferze jest inny niż w troposferze. Mianowicie, maksymalne prędkości wiatru występują przeważnie w dolnej części stratosfery. Wiatry te przeważają z kierunków zachodnich. Ze wzrostem wysokości, prędkość wiatru zmniejsza się i w umiarkowanych szerokościach na wysokości 20 - 25 km osiąga minimalne prędkości. Powyżej tego poziomu zaczynają przeważać wiatry wschodnie, a ich prędkość wraz ze wzrostem wysokości zaczyna wzrastać. Taki rozkład wiatru jest charakterystyczny dla cieplej pory roku. W chłodnej porze roku poziom przeważających wiatrów wschodnich nieco podnosi się.

W dużych szerokościach geograficznych minimalne prędkości wiatru sięgają niżej niż w umiarkowanych szerokościach, natomiast w małych szerokościach sięgają wyżej.

W rzeczywistości, w zależności od konkretnej sytuacji atmosferycznej, mogą wystąpić znaczne odchylenia wiatru od podanych średnich wartości tak pod względem prędkości, jak i kierunku.

Chmury pierzaste stosunkowo rzadko występują w stratosferze. Według danych A.M. Baranowa, nad obszarem europejskiej części ZSRR górna granica chmur pierzastych, na wysokościach 11 - 12 km występuje w 4,9 %, na wysokościach 12 - 13 km - 1 %, na wysokościach 13 - 14 km tylko 0,1 % wszystkich przypadków. Zdarzają się też sporadyczne przypadki, że chmury pierzaste sięgają do wysokości 15 - 16 km. Ogólnie rzecz biorąc, należy powiedzieć, że loty w stratosferze odbywają się przy dobrej widzialności poziomej. Charakterystycznym zjawiskiem dla stratosfery są tak zwane - chmury iryzujące /brzegi tych chmur mieniają się barwaniami tęczy/. Występują one na wysokościach 22 - 27 km. Budowa ich nie jest jeszcze dokładnie zbadana, ale przypuszcza się, iż składają się one z kryształków lodu.

Ruchy turbulencyjne rozwijają się znacznie słabiej niż w troposferze. Niekiedy jednak w dolnej części stratosfery, zdarzają się przypadki "rzucania" samolotów.

Mezosfera.

Mezosfera rozciąga się w granicach 35 - 80 km. Badanie mezosfery rozpoczęło się z chwilą zastosowania rakiet meteorologicznych i geofizycznych. Ze względu na stosunkowo krótki okres czasu, w jakim dokonywane były badania, mezosfera jest słabiej zbudowana niż stratosfera.

Ze względu na rozkład temperatury ze wzrostem wysokości mezosferę można podzielić na dwie części /warstwy/: na warstwę ciepłą i na warstwę zimną. Warstwa ciepła roz-

ciąga się do wysokości około 50 - 55 km. W warstwie tej temperatura od 30 km wzrasta i na wysokości 50 - 55 km osiąga maksimum /około 0°C , a niekiedy $+40$, $+50^{\circ}\text{C}$ /.

Wzrost temperatury w warstwie cieplej jest związany z istnieniem ozonu na wysokości od 11 - 12 km do 55 - 60 km z maksimum natężenia na wysokości 25 - 27 km.

Warstwa zimna rozciąga się na wysokości 55 - 80 km. Temperatura w tej warstwie ze wzrostem wysokości spada i na wysokości około 80 - 85 km osiąga minimum, tj. około -70°C . Warstwa ta charakteryzuje się wzrostem ruchów turbulencyjnych. Na wysokości około 80 km i wyżej tworzą się niekiedy w okresie letnim cienkie chmury świecące, tak zwane chmury srebrzyste. Pojawiają się one zwykle w północnej części horyzontu w nocy i poruszają się ogólnie ze wschodu na zachód z prędkością 40 - 80 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ więcej. Przyczyny powstawania tych chmur dotychczas nie są wyjaśnione. Początkowo sądzono, że chmury srebrzyste są pochodzenia wulkanicznego, tj. składają się z pyłu wulkanicznego. W ostatnich latach szereg uczonych uważa, że chmury srebrzyste swą budową są podobne do chmur pierzastych.

Pomimo tego, że gęstość powietrza w mezosferze jest nieduża, rzędu 10^{-6} - 10^{-8} $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, ale jest ona jeszcze dostatecznie duża aby mogło występować spalanie się ciał kosmicznych, pochodzenia naturalnego /meteoryty/ i pochodzenia sztucznego /aparaty kosmiczne/. Dlatego też aparaty kosmiczne /sztuczne satelity Ziemi/ muszą mieć specjalną ochronę odporną na wysoką temperaturę.

Termosfera /jonosfera/.

Nad mezosferą rozciąga się do wysokości około 800 km termosfera.

Termosfera charakteryzuje się ciągłym wzrostem temperatury z wysokością. Przypuszcza się, że na wysokościach około 250 km temperatura osiąga $200 - 250^{\circ}$, na wysokości

300 km - 910° , na wysokości 350 km - 935° , na wysokości 400 km - 960° , na wysokości 500 km - 1010° . Taki wzrost temperatury z wysokością tłumaczy się pochłanianiem przez tlen znajdujący się na tych wysokościach ultrafioletowego promieniowania słonecznego.

Gęstość powietrza w termosferze jest znikoma. Na wysokości 500 km wynosi średnio $2,281 \cdot 10^{-15}$ g/cm³, na wysokości 600 km - $3,297 \cdot 10^{-16}$ g/cm³, a na wysokości 800 km - $6,632 \cdot 10^{-17}$ g/cm³. Ale pomimo to, że gęstość powietrza jest tak znikoma, powietrze termosfery działa hamująco na aparaty kosmiczne poruszające się na tych wysokościach.

Termosfera składa się z ogromnej ilości cząsteczek elektrycznie naładowanych, tj. zjonizowanych atomów i elektronów. W związku z tym, że w termosferze tworzą się swobodne jony i elektrony, jest ona dobrym przewodnikiem elektryczności. Stąd też pochodzi nazwa jonosfery. Nazwę "jonosfera" stosuje się jedynie w tych przypadkach, gdy chodzi nam o podkreślenie właściwości elektrycznych atmosfery.

Przewodnictwo elektryczności jonosfery na wysokości 100 km jest kilka milionów razy większe niż przy powierzchni Ziemi. Dzięki temu jonosfera odgrywa ogromną rolę w rozprzestrzenianiu fal radiowych, zwłaszcza krótkich fal radiowych.

Jonizacja górnych warstw atmosfery występuje dzięki oddziaływaniu na atmosferę ultrafioletowego promieniowania słonecznego oraz na jędrzejszych, naładowanych, twardych cząstek - korpusek wyrzucanych przez Słońce.

Badania jonosfery są prowadzone zasadniczo w trzech kierunkach:

- 1/ bada się fale radiowe wysyłane przez źródła naziemne;
- 2/ bada się wysyłanie fal radiowych przez ciała kosmiczne /Słońce, planety, gwiazdy/ poprzez atmosferę do Ziemi;

3/ bada się fale radiowe wysyłane przez rakiety i sztuczne satelity.

Stopień jonizacji atmosfery w granicach dowolnej warstwy atmosfery określa się na podstawie koncentracji elektronów tj. zawartości elektronów w jednostce objętości, zwykle w 1 cm^3 .

Badania wykazały, że koncentracja elektronów i stopień jonizacji w granicach jonosfery szybko wzrasta do wysokości 250 - 300 km, poczym stopniowo maleje.

W jonosferze jest kilka warstw z maksimum koncentracji elektronów związanych z istnieniem oddzielnych silnie zjonizowanych warstw. Według współczesnych danych wyróżnia się 4 warstwy. Mianowicie, warstwa D, E, F i G.

Warstwa D istnieje tylko w czasie dnia w granicach 40 - 80 km. Nocą zaś zanika wskutek łączenia się jonów z elektronami. Jonizacja tej warstwy określa się w zasadzie stopniem koncentracji elektronów, która osiąga tu $1 \cdot 10^3 \text{ el/cm}^3$ /el - elektronów/. W warstwie D obserwuje się pochłanianie fal radiowych. Dzięki czemu nocą zwiększa się zasięg i siła odbioru na falach średnich i długich.

Warstwa E rozciąga się na wysokości około 100 km. Ta warstwa jest znacznie silniej zjonizowana niż warstwa D. Koncentracja elektronów dochodzi do $2 \cdot 10^5 \text{ el/cm}^3$ w dzień i nieco mniej w nocy.

Warstwa F jest podzielona na dwie części tj. - warstwę F_1 i F_2 . Warstwa F_1 jest silnie zjonizowana. Rozciąga się ona na wysokości około 200 km. Koncentracja elektronów w dzień dochodzi do $5 \cdot 10^5 \text{ el/cm}^3$, a w nocy warstwa ta zanika. W związku z tym odbiór w dzień na fali o długości 10 - 50 m jest bardziej trwały niż nocą. Warstwa F_2 istnieje przez cały czas. W dzień maksymalna koncentracja dochodzi do $5 \cdot 10^6 \text{ el/cm}^3$, a nocą do $3 \cdot 10^4 \text{ el/cm}^3$. Warstwa ta rozciąga się w granicach od 500 - 600 km w dzień, do 200 km w nocy. Niekiedy wysokość tej warstwy zwiększa się do kilkuset kilometrów.

Powyżej warstwy F nieregularnie pojawia się warstwa G. Stąd wniosek, że koncentracja jonów powyżej warstwy F maleje, a powyżej 1000 km jest nieznaczna.

Dowolna zmiana stanu jonosfery /dzień, noc, zaburzenia magnetyczne i inne/ powodują zakłócenia w rozchodzeniu się fal radiowych i warunków łączności radiowej na różnych zakresach. Stan jonosfery jest zależny w głównej mierze od aktywności Słońca. Dlatego też na podstawie danych o aktywności Słońca opracowuje się prognozy rozchodzenia się fal radiowych w atmosferze. Systematyczne badania jonosfery przeprowadza się przy pomocy stacji jonosferycznych. Dzięki tym badaniom stwierdzono, że stan jonosfery w głównej mierze jest zależny od aktywności Słońca.

W jonosferze występują zorze polarne. Zjawisko zórz polarnych wywołwane jest przez strumienie elektronów i protonów niskoenergetycznych, przenikających do górnej atmosfery. Rzecz polega na tym, że gazy na skutek działania na nie osłonek elektrycznych świecą. Jest to zjawisko identyczne ze świeceniem rozrzedzonych gazów w rurce Geisslera. Jony i elektrony biegnące z dużą prędkością z przestrzeni kosmicznej /nawet nie znamy dokładnie źródła pochodzenia tych niskoenergetycznych osłonek/ pod wpływem pola magnetycznego Ziemi odchylają się ku biegunom ziemskim. Dlatego też zorze polarne występują w okolicach podbiegunowych. Zorze polarne najczęściej są obserwowane na wysokościach 80 - 140 km. Kształty zórz polarnych i ich barwy są bardzo różnorodne. Czas trwania zorzy polarnej trwa zaledwie kilka minut, w wyjątkowych wypadkach, zwłaszcza po silnych zaburzeniach magnetycznych na Słońcu, może trwać nieco dłużej.

Na zakończenie tego zagadnienia należy podkreślić, że z punktu widzenia współczesnych poglądów, jonosfera jest zjonizowaną sferą atmosfery, rozciągającą się w granicach od 60 - 20 000 km nad powierzchnią Ziemi. Poglądy te są oparte tylko na procesach natury elektrycznej /jonizacja powietrza, rozchodzenie się fal radiowych/ i w związku

z tym zakres rozprzestrzeniania się jonosfery w kierunku pionowym jest inny od podanego w tabeli na str. 5 oraz na str. (rys. 1)

Egzosfera.

Egzosferą nazywamy zewnętrzną sferę atmosfery rozciągającej się na wysokości powyżej 800 - 1000 km.

W egzosferze, w warunkach silnego rozrzedzenia atmosfery cząstki gazów posiadają bardzo duże prędkości /ponad 11 km/sek/. W związku z tym cząstki mają takie duże prędkości, pokonują siłę ciężkości ziemskiego i ułatwiają się w przestrzeń międzyplanetarną.

Na podstawie teoretycznych rozważań przyjęto hipotezę, że na granicy górnej atmosfery, siła odśrodkowa obrotu Ziemi powinna równoważyć się z siłą przyciągania ziemskiego. Z obliczeń wynika, że taka teoretyczna granica atmosfery ziemskiej nad biegunami leży na wysokości 28 000 km, a nad równikiem - na wysokości 42 000 km. Ale dane te, jak dotąd, mają tylko teoretyczne znaczenie. Przypuszcza się, że na tych wysokościach mogą występować tylko pojedyncze cząstki gazu, oddalone od siebie o tysiące kilometrów.

Praktycznie rzeczą bixną, nas interesują wysokości takich warstw, których gęstość powietrza może być jeszcze zmierzona i te zjawiska fizyczne, które możemy obserwować. Między innymi, do takich zjawisk, które występują na dużych wysokościach należą zorze polarne. Te optyczne zjawisko jest ściśle związane z jonosferycznymi burzami magnetycznymi. Świecenie zórze polarnych występuje na skutek bombardowania cząstek rozrzedzonego powietrza jonosfery przez elektrycznie naładowane cząstki wysyłane przez Słońce. Ustalono, że górna granica świecenia polarnego może znajdować się na wysokości 1000 - 1200 km, co do niedawna uważano za górną granicę atmosfery.

Na podstawie danych o hamowaniu sztucznych satelitów Ziemi przyjęto, że górna granica atmosfery rozciąga się do wysokości 20 000 km. Przyпуска się, że gęstość atmosfery na tych wysokościach jest równa gęstości w przestrzeni międzyplanetarnej.

Loty sztucznych satelitów oraz rakiet kosmicznych zapoczątkowały okres bezpośrednich badań wysokich warstw atmosfery i przestrzeni kosmicznej. Dzięki tym badaniom zdołano już wyjaśnić wiele zagadnień związanych z fizyką górnych warstw atmosfery. A oto niektóre z nich. Średnie wartości gęstości atmosfery na wysokościach perigeum rzadzieckich sztucznych satelitów /spatników/ 225 - 228 km, obliczone na podstawie hamowania, wynoszą trzy dziesięcio-milionowe części grama na 1 m³ powietrza /0,0000003 g/m³/. Wartość ta jest w przybliżeniu 5-10 razy większa od tej wielkości, jaką dotychczas przyjmowano na podstawie danych z obserwacji rakiet. Obecnie wyjaśniono, że gęstość atmosfery na tej samej wysokości jest zmienna co do czasu. Szczególnie gwałtownie zmniejsza się wtedy, gdy na Ziemi występują burze magnetyczne, spowodowane wybuchami na Słońcu. Okazało się też, że gęstość górnych warstw atmosfery jest zależna od pory doby. Mianowicie nad oświetloną stroną Ziemi gęstość jest znacznie większa niż gęstość na tej samej wysokości nad nieoświetloną stroną. Gęstość powietrza atmosfery na tej samej wysokości nad równikiem jest mniejsza od gęstości w umiarkowanych szerokościach geograficznych.

Badania jonosfery drogą "prześwietlania" jej od góry przy pomocy fal radiowych wysyłanych przez nadajniki sztucznych satelitów pozwoliły ustalić, że strefy o dużej koncentracji jonów zaczynają się znacznie wyżej niż przypuszczano poprzednio.

Okołoziemskie pasy promieniowania.

Badania wysokich warstw atmosfery za pomocą rakiet kosmicznych i sztucznych satelitów Ziemi wykazały, że przestrzeń kosmiczna, otaczająca kulę ziemską jest wypeł-

niona cząstkami, lecącymi z dużymi prędkościami, zbliżonymi do prędkości światła. Takie strefy, gdzie występuje duże nagromadzenie i intensywne promieniowanie tych cząstek zostały nazwane okołoziemskimi pasami promieniowania /radiacji/. Pasy te posiadają skomplikowaną strukturę. Dotychczas stwierdzono trzy takie pasy o dużym skupieniu /nagromadzeniu/ elektronów i protonów poruszających się z ogromną prędkością. Kształtowanie się tych cząstek tłumaczy się istnieniem pola magnetycznego Ziemi. Otóż naładowane elektrycznie cząstki wysyłane przez Słońce w przestrzeń kosmiczną, przelatując w pobliżu Ziemi są porywane i utrzymywane przez magnetyczne pola Ziemi. W związku z tym, że cząstki poruszają się z różnymi prędkościami, strumienie rozciągają się na różnych wysokościach do Ziemi, tworząc pasy naładowanych cząstek lub pasy radiacji.

Ustalono, że zewnętrzny pas promieniowania rozciąga się w płaszczyźnie równika geomagnetycznego od 14 tys. km do 50 - 55 tys. km, od powierzchni Ziemi, a w strefie od 55 - 70° szerokości geograficznych obniża się do 270 - 300 km. Intensywność promieniowania w tym pasie zmienia się w czasie.

Wewnętrzny pas promieniowania rozciąga się od 600 do 5000 km od powierzchni Ziemi /maksimum promieniowania znajduje się na wysokości od 2500 - 3000 km/. W odróżnieniu od pasa zewnętrznego, pas wewnętrzny jest bardziej trwały, a promieniowanie jest bardziej intensywne i tym samym bardziej niebezpieczne dla długotrwałych lotów kosmicznych z załogą ludzką niż w zewnętrznym pasie promieniowania.

Jednym z ważnych zadań w obecnym czasie jest rozwiązanie zagadnienia, czy pasy promieniowania mają wpływ na temperaturę warstw górnej atmosfery, rozciągających się powyżej 1000 km. Przypuszcza się, że zasadniczym źródłem energii górnej atmosfery /powyżej 1000 km/ jest energia strumieni korpuskularnych wysyłanych przez Słońce. Górna

atmosfera jest jakby rezerwuarem energii strumieni korpuskularnych, z którego czerpie część swej energii górna troposfera.

W czasie lotu rakiet kosmicznych poza granicami zewnętrznej pasa promieniowania, stwierdzono dużą ilość cząstek o małej energii. Cząstki te stanowią trzeci pas promieniowania. Pas ten opasuje strefę graniczną między magnetycznym polem ziemskim i przestrzenią międzyplanetarną.

Okołoziemskie pasy promieniowania są poważnym niebezpieczeństwem dla kosmonautów podczas wykonywania lotów kosmicznych i międzyplanetarnych.

Tabela nr 2.

Rozkład zasadniczych elementów fizycznych atmosfery.

Wysokość w km	Temperatura w °C	Ciśnienie w mm sł.rt.	Gęstość g/cm ³
0	15,0	$7,6 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^{-3}$
10	- 42,0	$2,1 \cdot 10^2$	$4,2 \cdot 10^{-4}$
20	- 60,0	$4,2 \cdot 10$	$9,3 \cdot 10^{-5}$
30	- 42,0	$9,5 \cdot 10^0$	$1,9 \cdot 10^{-5}$
40	- 10,0	$2,4 \cdot 10^0$	$4,2 \cdot 10^{-6}$
50	- 2,0	$7,6 \cdot 10^{-1}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$
60	- 20,0	$2,2 \cdot 10^{-1}$	$3,5 \cdot 10^{-7}$
70	- 55,0	$5,5 \cdot 10^{-2}$	$9,7 \cdot 10^{-8}$
80	- 68,0	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$2,1 \cdot 10^{-8}$
90	- 56,0	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$4,1 \cdot 10^{-9}$
100	- 33,0	$4,4 \cdot 10^{-4}$	$8,6 \cdot 10^{-10}$
110	- 3,0	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-10}$
120	57,0	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$5,6 \cdot 10^{-11}$
130	117,0	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$1,9 \cdot 10^{-11}$
140	174,0	$7,4 \cdot 10^{-6}$	$7,6 \cdot 10^{-12}$
150	230,0	$3,0 \cdot 10^{-6}$	$3,4 \cdot 10^{-12}$
160	287,0	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-12}$
180	404,0	$6,8 \cdot 10^{-7}$	$4,8 \cdot 10^{-13}$
200	520,5	$2,9 \cdot 10^{-7}$	$1,7 \cdot 10^{-13}$
220	634,6	$1,4 \cdot 10^{-7}$	$7,0 \cdot 10^{-14}$

L i t e r a t u r a :

- I.G. Pezečko - Awiacyjnaja metieorologija 1963 r.
Zespól autorów - Awiacyjnaja metieorologija 1964 r.
N.B. Dynowicz - Jerosfera i jajo isleđowanie 1964 r.
A.F. Baklakow
B.S. Chachalin - Sowremennaja tehnika isleđowania atmosfery 1964 r.

Wielka Encyklopedia

Powszechna T 1 str....., T 2 str....., T 3 str.....

- K.J. Kondratiew - Metieorologičeskoje isleđowanie s pomoszczu rakiet i spatnikow 1962 r.
L.T. Matwiejew - Osnowy awiacyjnoj metieorologii 1955 r.
P.N. Twierskoj - Kurs metieorologii 1962 r.
S.P. Chrowow
A.J. Kamentowa - Metieorologičeskijsłownik 1963 r.
Ch.S. Messai
R.L. Bojč - Wierchniaja atmosfera 1962 r.

OPRACOWAŁ:

ppłk J. SŁAWIŃSKI

Wykonano w 20 egz.

Exempl. Nr. 1-20 - Bibl. szkol. jawna

Wyk. ppłk Sławiński

Druk. 18 dn. 20.10.1963 r.

Nr. ka. masa. 366/WL. Nr Książki 2904/ww

SPIS TREŚCI

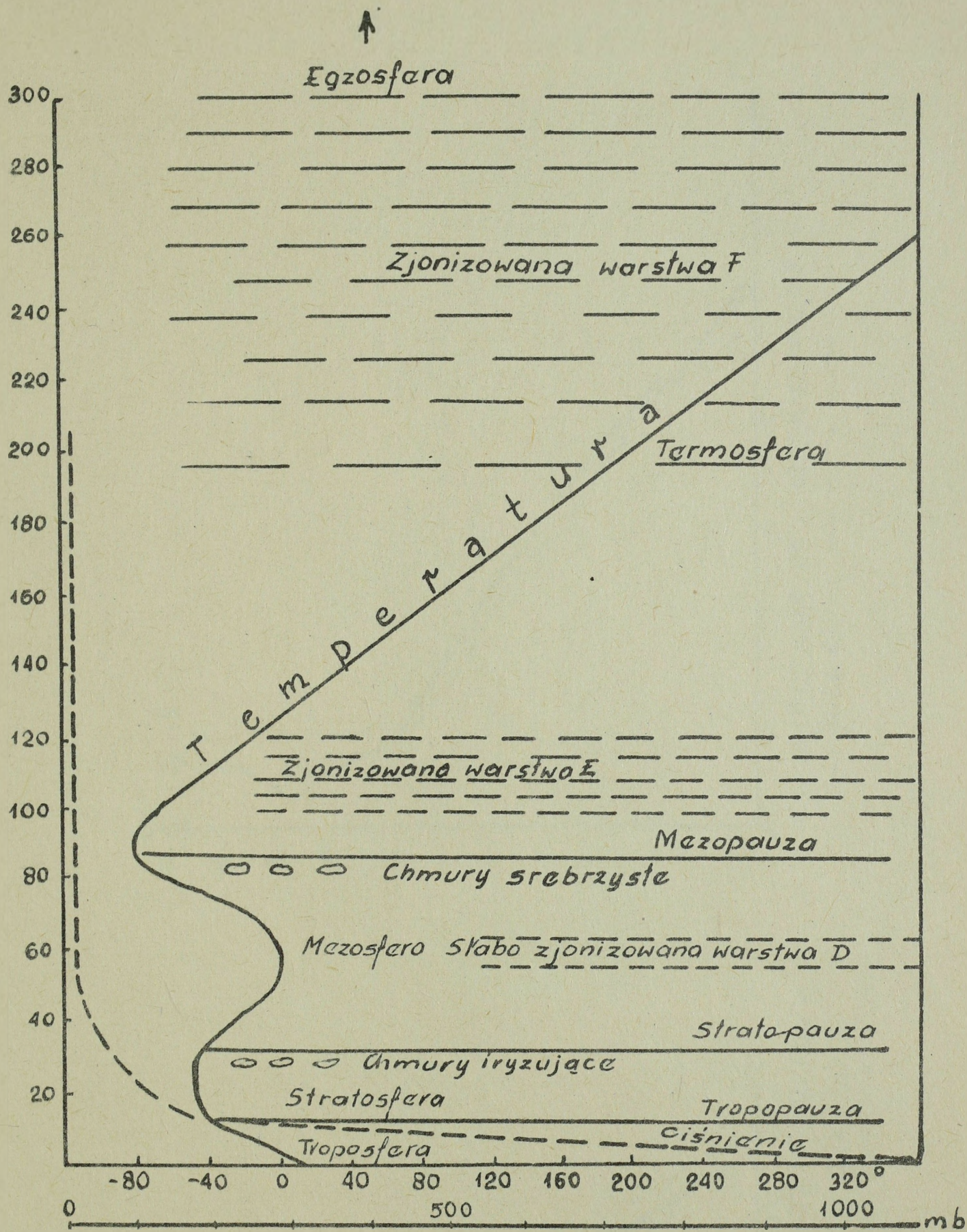
	str.
Skład atmosfery	2
Strefy i warstwy atmosfery	4
Troposfera	5
Tropopauza	9
Stratosfera	10
Mezosfera	12
Termosfera /jonosfera/	13
Ekzosfera	17
Okolozbienskie pasy promieniowania	18
Rozkład zasadniczych elementów fizycznych atmosfery	20
L i t e r a t u r a	21

Załączniki :

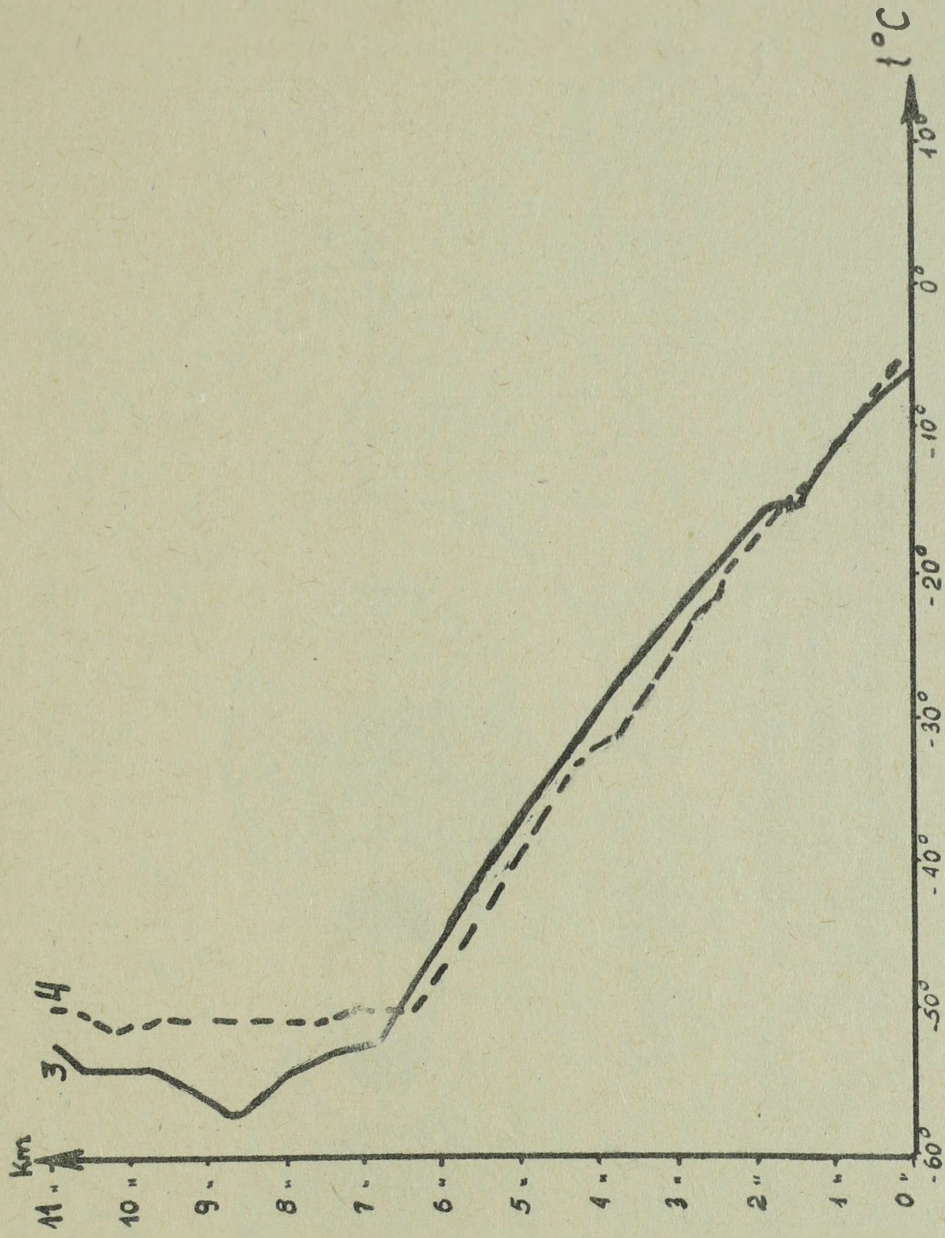
Rys. 1 -- Pionowy przekrój atmosfery.

Rys. 2 -- Rozkład temperatury w kierunku pionowym.

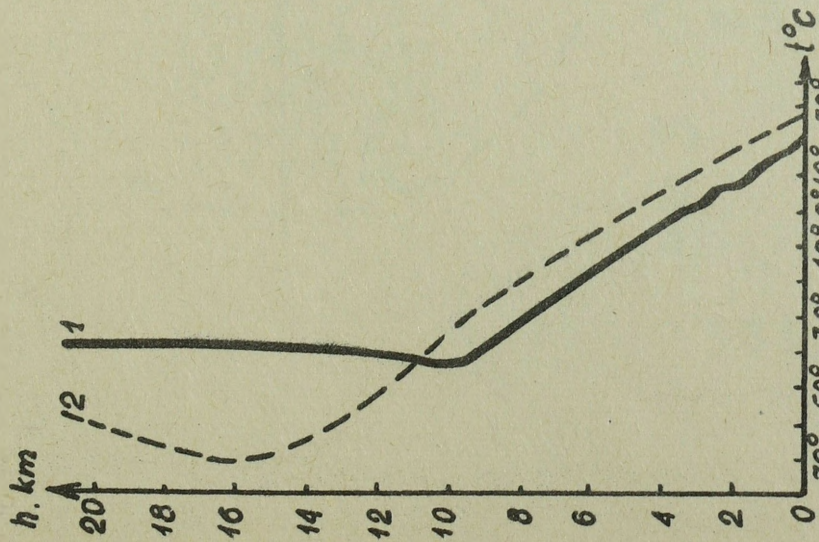
Rys. 3 -- Okolozbienskie pasy promieniowania.



Rys. 1 PIONOWY PRZEKRÓJ ATMOSFERY DO 300 km

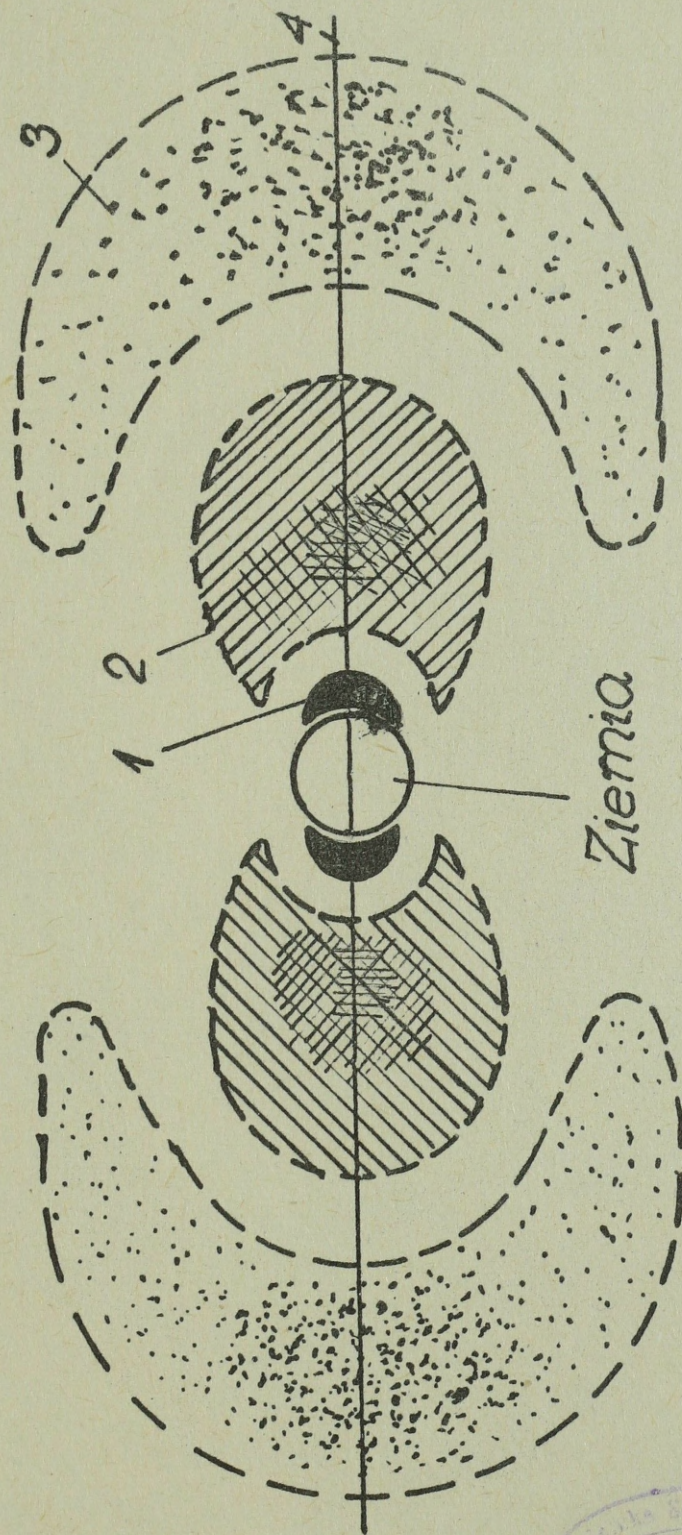


b.) 3. WARSZAWA 29. I. 1962 r 12⁰⁰ CMT
 4. WROCŁAW ~ " ~ ~ " ~



Rys. 2 ROZKŁAD TEMPERATURY

W KIERUNKU PIONOWYM
 α 1 BUCHTA TICHAJA ; 2 MIAMI / FLORYDAJ



Rys. 3 Okoziemskie pasy promieniowania
 1. pas wewnętrzny I; 2. pas zewnętrzny I; 3. pas
 zewnętrzny II; 4. równik geomagnetyczny

