

Biblioteka  
Główna  
UMK Toruń

09077/94

ZAKŁAD FIZYCZNY I POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

PUBLIKACJA Nr. 94.

Prof. Dr MIECZYŚLAW WOLFKE

# Zagadnienia naukowe lotów stratosferycznych

Odbitka z czasopisma „Przegląd Mechaniczny” 1938 r., Nr. 7-8

629  
06  
WARSZAWA - 1938



526

ZAKŁAD FIZYCZNY I POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

PUBLIKACJA Nr. 94.

1.07.  
2/5 38

Prof. Dr MIECZYŚLAW WOLFKE

# Zagadnienia naukowe lotów stratosferycznych

Odbitka z czasopisma „Przegląd Mechaniczny” 1938 r., Nr. 7-8



WARSZAWA - 1938

252

№. kł. inwentarza 796  
Dzieln. *Prot.*



09077



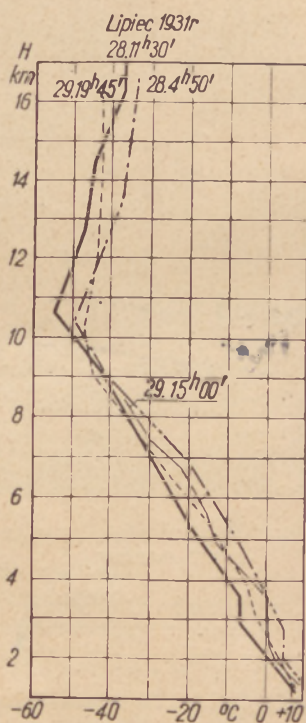
D. 700/63

## Zagadnienia naukowe lotów stratosferycznych \*)

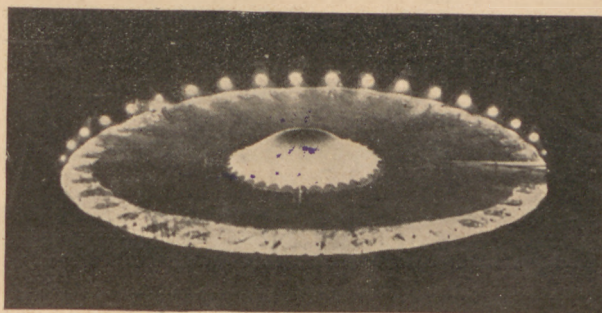
**O**D CZASU słynnych lotów stratosferycznych profesora Piccarda, zagadnienia związane z tymi wyczynami techniki balonowej, wzbudzają niezmiernie żywe zainteresowanie nie tylko wśród naukowców, lecz również w najszerszych sferach społeczeństwa. W Polsce problem wypraw do najwyższych warstw atmosfery stał się zagadnieniem szczególnie aktualnym z chwilą kiedy zapadła uchwała o zorganizowaniu polskiego lotu naukowego do wysokości około 30 kilometrów.

Dopiero względnie niedawno nastąpiło odkrycie stratosfery, to znaczy stwierdzenie faktu, że na podstawie odmiennych stosunków, panujących w powietrzu na większych wysokościach, można odróżnić dwie najbliższe, różne od siebie warstwy otaczającej Ziemi powłoki atmosferycznej. W roku 1899 francuski uczone L. Teisserenc de Bort po raz pierwszy zauważył, że — począwszy od wysokości 10 do 11 kilometrów — przy dalszym wznoszeniu się temperatura atmosfery nie opada — jak to obserwować można na niższych wysokościach, — lecz z pewnymi wahaniami utrzymuje się mniej więcej na tym samym poziomie.

Spostrzeżenia Teisserenc de Borta nie znalazły początkowo uznania w świecie naukowym. Trzy lata później niemiecki uczone R. Assmann potwierdził obserwacje de Borta. Od tego mniej więcej czasu zagadnienie



Rys. 1. Rozkład temperatury na różnych wysokościach



Rys. 2. Pierwsze stadium napełniania stratosfatu Explorer II.

badania stratosfery już nie zeszło z widnokregu badań naukowych.

Rozkład temperatury na różnych poziomach powietrza dostarcza nam bodajże najłatwiejszej cechy odgraniczenia stratosfery od znajdującej się pomiędzy nią a powierzchnią Ziemi troposfery. Oczywiście, nie ma raptownego, nagłego przejścia od jednej warstwy do drugiej; to też zwykle oznaczamy nazwą tropopauza sferę przejściową, grubości około 3 kilometrów.

Opracowano cały szereg metod badań stratosfery. Metody te wzajemnie się uzupełniają i wyrównują wady, jakie cechują każdą z osobna. Wcale liczne obserwacje prowadzić możemy wprost z powierzchni Ziemi. A więc przyrządy optyczne pozwalają nam w pewnej mierze stosować wypróbowane metody widmowe. Obserwując rozchodzenie się fal głosowych w atmosferze, możemy również wysnuwać wnioski o stosunkach panujących w stratosferze. Analogiczne badania dają się przeprowadzić na podstawie obserwacji rozprzestrzeniania się fal radiowych, mówiąc ogólnie, — fal elektromagnetycznych. Dorzucmy jeszcze obserwacje barwy nieba, polaryzacji światła, obserwacje meteorologiczne, które oczywiście również rzucają nieco światła na całokształt problemów stratosferycznych.

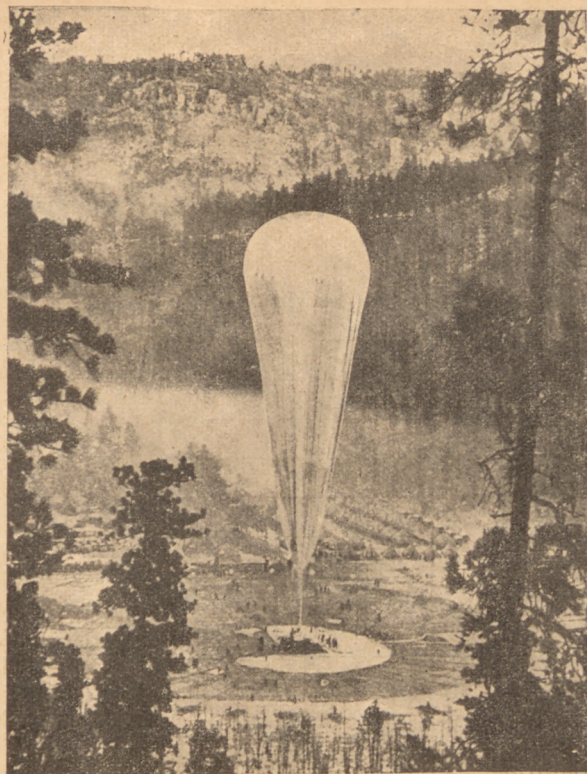
Niezależnie od tych z powierzchni Ziemi dokonanych badań, przystąpiono do nawiązania bliższego, bardziej bezpośredniego kontaktu ze stratosferą za pomocą sond-baloników.

Zamknięte baloniki, napełnione wodorem, uno-

\*) Wykład, wygłoszony dnia 12.II.1938 r. w cyklu wykładów, zorganizowanych w Warszawie przez Stowarzyszenie Elektryków Polskich.

szą do stratosfery samopiszzące aparaty. Zarówno w czasie wzlotu, jak i w czasie opadania, automaty te zapisują to, co nas interesuje. Baloniki docierają do wysokości, na której ciśnienie zewnętrzne jest tak niskie, że pod wpływem nadmiaru ciśnienia gazu, znajdującego się wewnątrz balonu, następuje pęknięcie powłoki gumowej. Wtedy przyrządy samopiszzące opadają przy pomocy spadochronu, otwierającego się automatycznie.

Mimo zalet, baloniki-sondy posiadają cały szereg braków, pozwalających na korzystanie z nich tylko w ograniczonym zakresie. Przede wszystkim wznoszą się zbyt szybko w górę, za szybko przebywają poszczególne warstwy troposfery i stratosfery, wskutek czego aparaty opóźniają się z zapisami. Wynikają stąd trudności ze skoordynowaniem notowań. Cały szereg pomiarów miałyby wartość istotną tylko wtedy, gdyby zostały wykonane na ściśle określonych poziomach, przy dłuższym nieco zatrzymaniu się sondy na miejscu. Jest to na przykład konieczne przy liczeniu impulsów w licznikach promieni kosmicznych. Niestety, baloników-sond nie możemy dowolnie zatrzymywać. Przy wielu wreszcie badaniach obecność żywego obserwatora jest jednak nieodzowna.



Rys. 3. Amerykański stratostat Explorer II krótko przed startem

pu — wysokości. Ze stratostatu ponadto można wykonać cały szereg badań, wymagających interwencji człowieka, jak: badanie składu chemicznego atmosfery, badanie ciśnienia, ustalenie kierunków i siły wiatrów, obserwacje barwy nieba itd.

Zaznaczamy tu z góry, że koszty wyprawy stratosferycznej nie są tak wielkie, jak skłonna jest sądzić opinia publiczna. Z punktu widzenia naukowego wyprawy takie całkowicie się opłacają. Jeśli chodzi zaś o względy natury technicznej: o problem komunikacji stratosferycznej, i poznanie warunków panujących w stratosferze dla uwzględnienia ich przy konstrukcji odpowiednich silników — to jest faktem już dowiedzionym, że tak, jak zwykły balon wskazał drogę samolotowi, podobnie stratostat wytycza szlaki przyszłym samolotom stratosferycznym. Ostatnie lotnicze rekordy wysokościowe, istotnie nawiązały już kontakt z pierwszymi, historycznymi już rekordami Piccarda.

Nic więc dziwnego, że kraje, których narody odznaczają się wybitnym dynamizmem, od czasu owych pierwszych pionierskich lotów bohaterskiego Piccarda organizują loty stratosferyczne. Poniższe zestawienie odzwierciedla nam krótką, lecz jakże doniosłą historię dotychczasowych wypraw do najwyższych regionów powietrza:

#### Loty stratosferyczne

Data	Członkowie wyprawy	Objętość balonu m <sup>3</sup>	Osiągnięta wysokość m
27.V 1931	A. Piccard i Kipfer (Belgia)	14 300	15 780
5.VIII 1932	A. Piccard i Cosyns (Belgia)	14 300	16 370
30.IX 1933	Prokofief, Godunow, Birnbaum (ZSRR)	25 000	19 000
20.XI 1933	Settle i Forney (USA)	17 000	18 660
30.I 1934	Fiedosienko, Wasienko i Usyskin (ZSRR) — katastrofa	25 000	22 000
28.VII 1934	Kepner, Anderson i Stevens (USA) — rozdarcie powłoki	85 000	18 000
8.VIII 1934	Cosyns i Van der Elst (Belgia)	14 300	16 000
26.VII 1934	Zille, Pryluckij i Wierygo (ZSRR)	25 000	16 200
23.X 1934	J. Piccard z żoną (USA)	17 000	17 670
11.XI 1935	Stevens i Anderson (USA)	105 000	22 066
w przygotowaniu:			przewidywana
1938	kpt Burzyński, kpt Hynek (ewent. kpt Janusz) i dr Narkiewicz-Jodko (Polska)	120 000	30 000

Widzimy więc, że istnieje umotywowana ściśle konieczność organizowania wypraw do stratosfery, to znaczy konieczność budowania tak zwanych stratostatów. Balonik-sonda przebywa zwykle w locie nie dłużej niż trzy godziny. Stratostat może utrzymywać się w powietrzu nawet przez kilkanaście godzin. Balonik-sonda wznosi się przez troposferę i stratosferę z niedającą się ograniczyć, ani unormować szybkością, stratostat można zatrzymać na dowolnej — oczywiście poniżej puła-

Oceniając znaczenie naukowe poszczególnych lotów, obfitość i jakość osiągniętych wyników, stwierdzić należy, że z tego punktu widzenia na czoło wypraw wysuwa się ostatnia amerykańska ekspedycja stratosferyczna na Explorerze II. Wyprawa ta, mimo uszkodzenia powłoki balonu w czasie napełniania gazem, udała się doskonale. Program prac wykonany został w całości. Na wyniki tej wyprawy będę miał okazję powoływać się kilkakrotnie poniżej.

Naukowe zbadanie zjawisk i stosunków, zachodzących w najwyższych regionach powietrza, musi być podstawą wszelkich rozważań, mających związek ze stratosferą. Od tych badań zależy ustalenie warunków i możliwości komunikacji stratosferycznej. Sprawa silnika, mogącego działać w stratosferze, wiąże się ściśle z tym zagadnieniem. A nie ulega wątpliwości, że również najbardziej „teoretyczne” cele lotów stratosferycznych, jak na przykład badanie promieniowania kosmicznego, poprzez zdobycze fizyki, znajdują prędzej czy później doniosłe zastosowanie w technice.

Zagadnienie rozkładu temperatury w stratosferze, jak już wiemy, zapoczątkowało właściwie problem stratosfery. Sam pomiar temperatury w najwyższych warstwach powietrza sprawia jednak dużo trudności. Trudności te wynikają przede wszystkim ze znacznej różnicy absorpcji promieniowania samego termometru oraz powietrza. Warto tu przytoczyć analogiczny objaw, często obserwowany przy doświadczeniach z ciałami, poddanymi niskim temperaturom. Ciekły hel pochłania np. minimalnie promieniowanie cieplne. Świecąca żarówka może się znajdować w pobliżu naczynia z helem, nie wywołując zbyt prędkiego ogrzewania się cieczy. Wystarczy jednak, by w płynnym helu została zanurzona jakaś część metalowa (np. kondensator), a nastąpi wybitny wzrost temperatury helu.

Podobne zjawiska dają się obserwować również w stratosferze. Utrudniają one dokładny pomiar temperatury.

Znamy kilka systemów termometrów, jak termometry rtęciowe, pentanowe, następnie termopary, a wreszcie termometry oporowe, platynowe. Do badań stratosferycznych najlepiej nadają się termometry oporowe, zbudowane na zasadzie nierównoważonego mostku Wheatstone’a. Według tej metody pomiarowej opory mostku Wheatstone’a dobiera się w ten sposób, że przy pewnej przewidywanej niskiej temperaturze galvanometr wskaże zero. Odchylenia wskazówki galvanometru pozwalają nam stwierdzić, o ile temperatura jest wyższa lub niższa od owej z góry przyjętej średniej temperatury.

Dla usunięcia błędów, wynikających z wpływu promieniowania słonecznego, umieszcza się platynowe druciki we wnętrzu niklowanych rurek. Okazało się jednak, że i w tym wypadku zachodzi nieścisłość, nadwyżka temperatury jest mniej więcej wprost proporcjonalna do grubości drucika. Korzystamy wobec tego z dwóch termometrów oporowych, z oporowymi drucikami różnej grubości, celem wyeliminowania błędu. Istotnie, jeśli przez  $d$  oznaczymy średnicę drutu platynowego, przez  $t_0$  prawdziwą temperaturę powietrza stratosferycznego, a przez  $t_1$  względnie  $t_2$  notowania temperatury obu termometrów, to będziemy mieli

$$\begin{aligned} t_1 - t_0 &= \text{const. } d_1, \\ t_2 - t_0 &= \text{const. } d_2, \end{aligned}$$

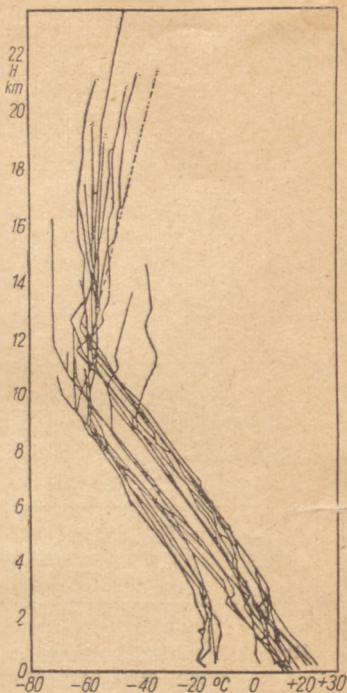
skąd

$$\frac{t_1 - t_0}{t_2 - t_0} = \frac{d_1}{d_2} = k; \quad t_0 = \frac{kt_2 - t_1}{k - 1}.$$

Rys. 4 przedstawia wykresy baloników-sond, pochodzące z pomiarów moskiewskich z lat 1930 —

1933. Wykresy nie wyznaczają oczywiście jednej linii, tworzą one jednak pęk krzywych, wyraźnie ilustrujących fakt zatrzymania się spadku temperatury na wysokości 10 do 12 kilometrów.

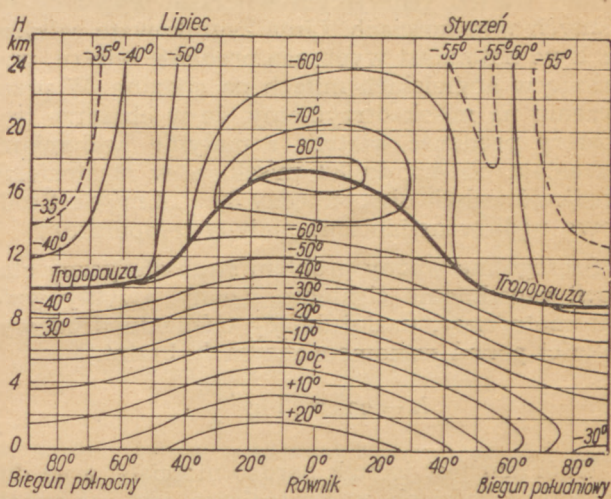
Rozkład rocznych izoterm na różnych wysokościach w zależności od szerokości geograficznej przedstawia nam rys. 5. Widzimy, że tropopauza sięga najwyższej, mianowicie ponad 17 kilometrów nad poziom morza, w pobliżu równika, a najniższej znajduje się na biegunach. Warto również zwrócić uwagę na fakt, że i temperatura tropopauzy zależy od położenia geograficznego. U nas, jak widać, tropopauza znajduje się na wysokości mniej więcej jedenastu kilometrów, a temperatura na tej wysokości jest niższa niż  $-50^\circ\text{C}$ , wynosi około  $-56^\circ\text{C}$ .



Rys. 4. Rozkład temperatury według pomiarów baloników-sondami w Moskwie.

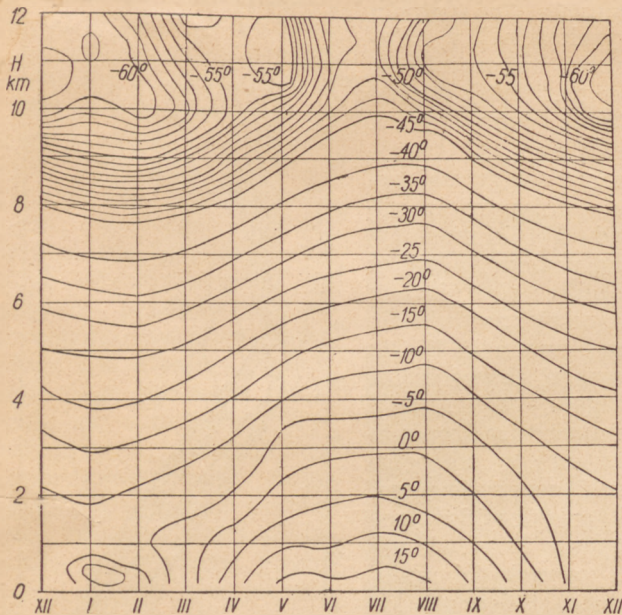
Rys. 6 podaje nam wreszcie rozkład izoterm w różnych porach roku i wysokości tropopauzy w Moskwie.

Zupełnie mylne poglądy panowały początkowo w kwestii wiatrów w stratosferze. Sądono, że w ogóle wiatrów w stratosferze nie ma. Na wielkich wysokościach, jak mniemano, panuje spokój, a składniki gazowe układają się w statycznej równowadze według ich ciężarów drobinowych. Już pierwsze pomiary i badania udowodniły, że ten pogląd jest niesłuszny. W stratosferze panują wiatry, często nawet bardzo silne, zarówno w kierunku pionowym, a szczególnie w kierunku poziomym.



Rys. 5. Rozkład rocznych izoterm na różnych wysokościach, w zależności od szerokości geograficznej.

Często stosowaną przy pomiarach wiatrów stratosferycznych metodą jest śledzenie ruchów baloników za pomocą teodolitów z ziemi. Oczywiście tę samą metodą teodolitową można również stosować do stratostatów.



Rys. 6. Rozkład izoterm w różnych porach roku i wysokość tropopauzy w Moskwie.

Dokładniejsze wyniki uzyskać możemy ze stratostatu, stosując metodę fotograficzną. Kamera fotograficzna skierowana jest pionowo na dół. Poniżej kamery zawieszony jest pierścień, przez który robi się zdjęcia na taśmie filmowej. Im wyżej znajduje się balon, tym większe pole obejmuje pierścień. Zestawienie zdjęć pozwala więc ustalić zarówno ruch pionowy, jak i ruch poziomy stratostatu. A ponieważ równocześnie na zdjęciu widoczny jest również zegar, przeto ze stosunku drogi do czasu otrzymuje się prędkość.

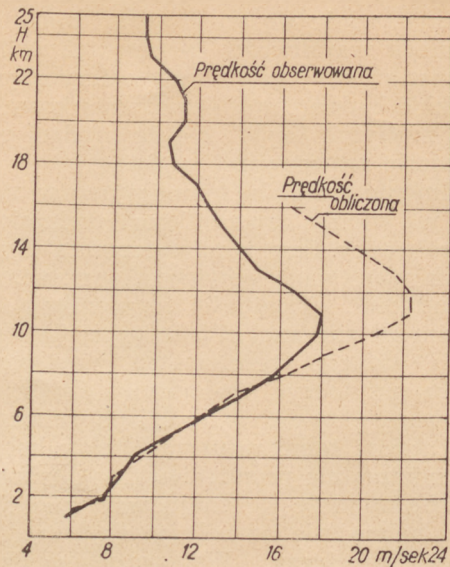
Rys. 7 przedstawia wykres prędkości poziomej, wyznaczony z obserwacji balonów-sond. Na rys. 8 mamy zanotowane wyniki wyprawy Explorera II. Zygzakowata linia na prawo, informuje nas o kierunku wiatru, panującym w czasie wyprawy na różnych wysokościach. Linia zygzakowata całkiem na lewo natomiast wyobraża prędkość wiatru, wyrażoną w angielskich milach na godzinę. W przeliczeniu na m/sek otrzymamy, że w obszarze troposfery prędkość wiatru z małymi wahaniami wzrastała od 4,5 do 32 m/sek, a w stratosferze prędkość wahała się pomiędzy 32 a 14 m/sek. Środkowy wykres uwidocznia zmiany temperatury.

Szczególnie ważny problem stratosferyczny stanowi zagadnienie ciśnienia. Znany, zwykły wzór barometryczny, uzależniający ciśnienie  $p$  od wysokości ponad poziomem morza  $h$ , brzmi:

$$h = \text{const} \cdot \log \frac{760}{p}$$

Wzór ten jest jednak bardzo nieściśły, a na dużych wysokościach, w stratosferze, jest już zupełnie bezużyteczny. Właśnie badania ciśnienia oraz równoczesne ustalenie wysokości możliwe jest z

wielką ścisłością przy pomocy stratostatu. A z drugiej strony dokładna znajomość ciśnienia w wyższych regionach powietrznych jest nieodzowną przy jakimkolwiek planowaniu komunikacji stratosferycznej.



Rys. 7. Wykres prędkości poziomej, wyznaczony z obserwacji balonów-sond.

Piccard korzystał z wzoru R. Soreau, posiadającego następujący kształt:

$$H = 5(3064 + 1,73p - 0,0011p^2) \log \frac{760}{p}$$

Również i ten wzór nie jest dostatecznie ścisły, jak to udowadnia poniższe zestawienie, w którym obok ciśnienia atmosferycznego, wyrażonego w częściach jednej atmosfery, podana jest w drugiej kolumnie wysokość, wyznaczona według wzoru Soreau, a w trzeciej wysokość wyznaczona z dokładniejszych pomiarów i obliczeń:

$p$	Wzór km	Wynik poprawiony km
$\frac{1}{2}$	5,4	5,2
$\frac{1}{5}$	11,6	11,5
$\frac{1}{10}$	15,9	16,6
$\frac{1}{20}$	20,4	21,5
$\frac{1}{50}$	26,2	28,3
$\frac{1}{100}$	30,7	33,5

W czasie wyprawy Explorera II zagadnienie ciśnienia atmosferycznego w zależności od wysokości oraz od innych warunków atmosferycznych było przedmiotem bardzo sumiennych pomiarów, przy czym sprawdzony został nowy, lepszy wzór, opracowany przez Amerykanów. Wzór ten przedstawia się następująco:

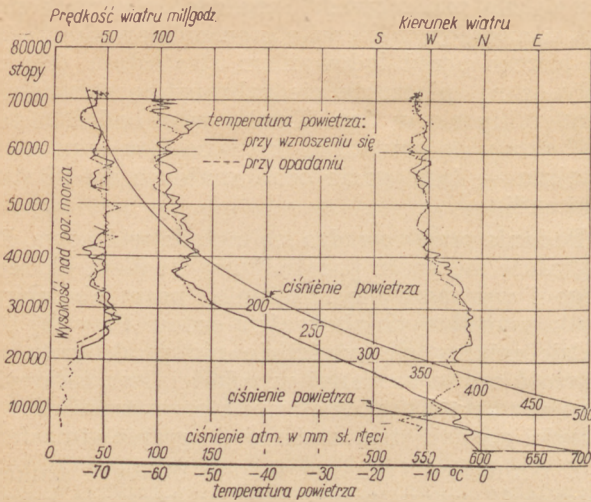
$$H = 221,152 T_m G \log \frac{P_0}{P} + h.$$

$H$  jest tu wysokością, obliczoną w stopach angielskich,  $T_m$  oznacza przypuszczalną średnią temperaturę powietrza poniżej gondoli w stopniach absolutnych,  $P_0$  i  $P$  oznaczają ciśnienie powietrza na poziomie startu i na poziomie gondoli,  $G$  jest w



tym wzorze poprawką, wywołaną różnicą ciężenia ziemskiego, oczywiście malejącego ze wzrostem wysokości. Wartość tego  $G$  określona jest wzorem:

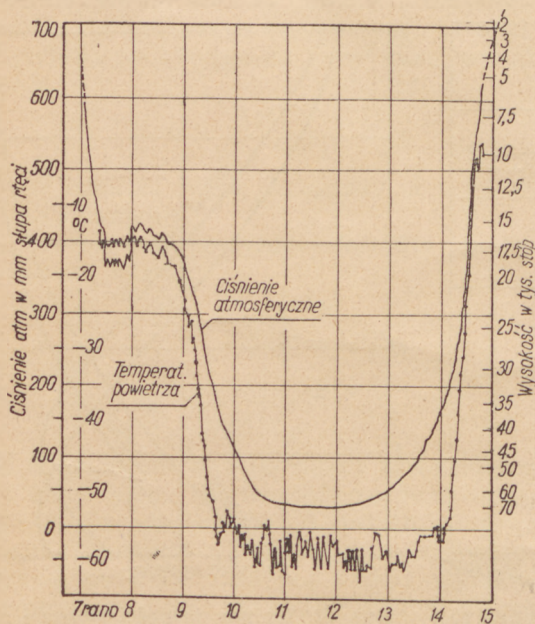
$$G = 1 + 48 \cdot 10^{-9} H.$$



Rys. 8. Wyniki pomiarów na Explorerze II (prędkość wiatru, temperatura powietrza i kierunek wiatru).

Powyższy wzór zdaje się najlepiej odpowiadać panującym w stratosferze stosunkom ciśnieniowym. Oczywiście, wzór ten nie uwzględnia całkiem już chwilowego, przejściowego wpływu pionowej składowej wiatru, wiejącego w danej chwili w stratosferze. Poza tym wspomnijmy, że w użyciu są również dokładne tablice, oparte na wzorach de Quervaina.

Wpływ na ciśnienie barometryczne posiada skład chemiczny atmosfery.



Rys. 9. Wyniki pomiaru ciśnienia i temperatury podczas amerykańskiego lotu stratosferycznego 11.XI.1935 r.

Jak wiadomo, powietrze jest mieszaniną różnych gazów. Gdyby — jak to pierwotnie sądzono — w stratosferze wiatry nie istniały, w tych najwyższych regionach atmosferycznych składniki powietrza układałyby się w warstwach zrównoważo-

nych według ich gęstości cząsteczkowej. Przyrost, a właściwie spadek ciśnienia jakiegoś  $i$ -tego gazu określony będzie podstawowym wzorem

$$dp_i = -g D_i dh;$$

przy czym  $D_i$  jest gęstością gazu.

Dla wszystkich gazów mieć będziemy:

$$dp = -g \sum_i D_i dh.$$

Zważywszy, że

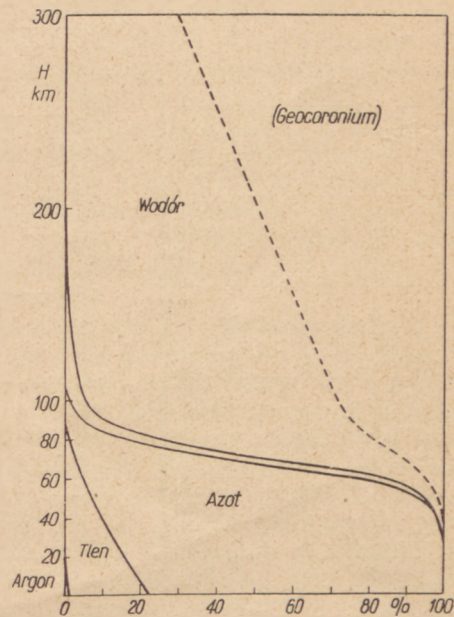
$$D_i = \frac{m_i p_i}{RT},$$

gdzie  $R$  jest stałą gazową, a  $T$  temperaturą, która jest funkcją wysokości  $h$ , otrzymamy

$$dp_i = -g \frac{m_i p_i}{RT} dh \quad \text{czyli} \quad \frac{dp_i}{p_i} = -g \frac{m_i}{RT} dh.$$

Opierając się na tym ostatnim równaniu różniczkowym, Wegener wyznaczył prawdopodobny skład atmosfery na większych wysokościach. Rys. 10 uwidocznia wykres Wegenera. Badania doświadczalne zaprzeczyły jednak temu wynikowi teoretycznemu.

Wyniki analizy powietrza stratosferycznego są bardzo ciekawe. Okazało się, że na wysokości 21,5 kilometrów procentowa ilość tlenu wynosiła  $20,895 \pm 0,003$ , a ilość dwutlenku węgla wynosiła  $0,029 \pm 0,002$ . Otóż przypomnijmy, że na poziomie morza procent  $O_2$  stanowi około 22%, zaś teoretycznie na wysokości 22 km powinno być około 15%  $O_2$ . Ten rezultat, który szczególnie wyraźnie stwierdzony został na podstawie badania próbek z wyprawy Explorera II, nie daje się wyjaśnić zwykłą dyfuzją gazów. Udowadnia on, że zaobserwowane zresztą w stratosferze wiatry, nie są rzad-

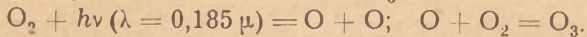


Rys. 10. Prawdopodobny skład atmosfery na większych wysokościach wg Wegenera.

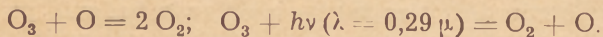
kością i że również w kierunku pionowym istnieją prądy powietrzne, które mieszają troposferę ze stratosferą i które sprawiają, że skład chemiczny stratosfery aż do wysokości ponad 20 km jest mniej więcej taki sam, jak nad ziemią.

Wśród składników atmosfery szczególnie ważną rolę odgrywa w stratosferze ozon, czyli tlen trójatomowy. Wiemy, że na wysokości ponad 20 kilometrów istnieje warstwa stratosfery, szczególnie obfita w ozon. Z różnych względów dokładne wyjaśnienie problemu ozonu jest wyjątkowo doniosłe. Ozon działa intensywnie zarówno pod względem biologicznym, jak i chemicznym. Tlen trójatomowy ochrania nas od szkodliwego działania fal świetlnych pozafioletowych. Ozon obcina widmo Słońca poza długością fali  $0,29 \mu$ . Być może, że owej warstwie ozonu zawdzięczamy, iż w ogóle życie organiczne może się na Ziemi rozwijać. Z drugiej jednak strony, ozon działa niszcząco na gumowe powłoki balonów. Regener zauważył, że większość baloników-sond, których pułap obliczony był na wysokość ponad 30 kilometrów, pękła już na znacznie niższych wysokościach — przypuszczalnie wskutek działania ozonu.

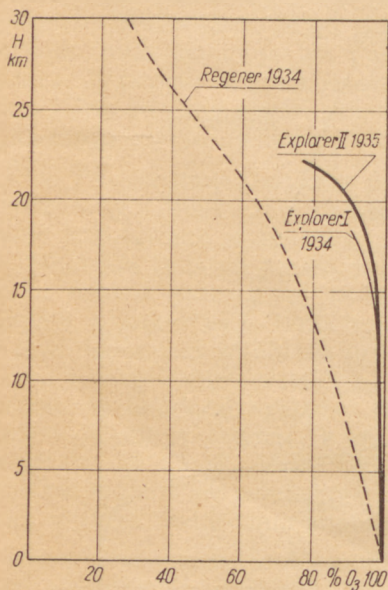
Mechanizm powstawania i rozpadania się ozonu w stratosferze związany jest z promieniowaniem słonecznym. Gdy foton o krótkiej fali świetlnej ( $\lambda = 0,185 \mu$ ) natrafia na odrobinę tlenu, drobina ulega rozkładowi na  $O + O$ . Wolne zaś atomy tlenu łączą się z drobinami tlenu na  $O_3$ . Zatem



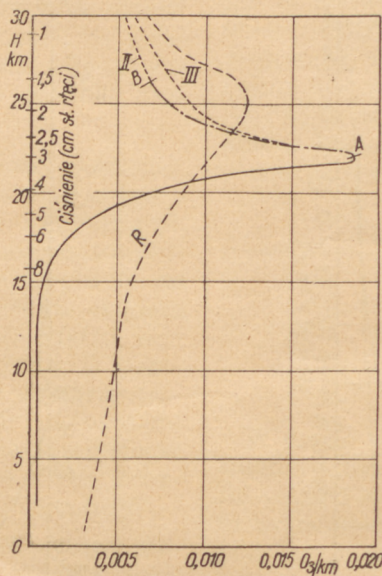
Ozon nie jest jednak trwałym związkiem, łatwo ulega rozkładowi, a ten rozkład przyspiesza jeszcze działanie fotonów o długości fali  $\lambda = 0,29 \mu$ . Proces rozpadania się ozonu możemy więc napisać w postaci:



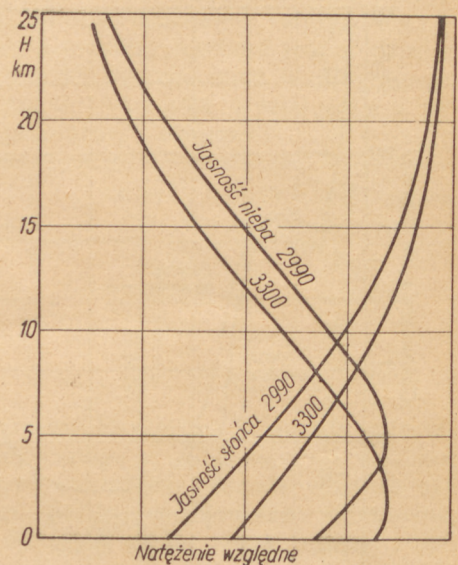
W widmie ozon zaznacza się pasmami absorbcyjnymi w części ultrafioletowej.



Rys. 11. Procentowa zawartość ozonu (w stos. do całkowitej jego zawartości w atmosferze) powyżej wysokości  $H$ .



Rys. 12. Koncentracja ozonu na różnych wysokościach: A — według pomiarów amerykańskich, R — wg Regenera.



Rys. 13. Zmiany jasności słońca i nieba w miarę wzrostu wysokości (efekt rozpraszania światła).

ście istniała pewna wysokość, na której procentowa ilość ustawicznie tworzącego się i rozpadającego się ozonu, będzie maksymalna.

Badania zawartości ozonu w powietrzu niestety nie da się przeprowadzić metodą zabierania próbek atmosfery. Nietrwałość ozonu powodowałaby, że jeszcze przed lądowaniem stratostatu prawie cały ozon, pieczołowicie zabrany ze stratosfery, zamieniłby się w tlen. Trzeba więc badać zawartość ozonu w powietrzu w czasie lotu, wprost na miejscu — tam, gdzie ozon znajduje się in statu nascendi.

Badanie przeprowadza się metodą widmową. Fotografuje się część pozafioletową widma słonecznego i wyznacza się natężenie pasm absorbcyjnych, wywołanych obecnością ozonu. Przy tej metodzie mierzy się właściwie nie procentową zawartość ozonu na danej wysokości, lecz całkowitą jego zawartość w powietrzu na przestrzeni od wysokości gondoli stratostatu aż do granic atmosfery.

Z pomiarów tych nie trudno obliczyć szukaną zawartość ozonu, powiedzmy w warstwie powietrza grubości jednego kilometra. Jeśli bowiem tę szukaną koncentrację ozonu w kilometrowej grubości warstwie oznaczmy przez  $C$ , to ilość ozonu mierzona z intensywności pasm absorbcyjnych, dająca się napisać jako funkcja wysokości, czyli jako  $f(H)$ , będzie się nam przedstawiała w postaci całki od wysokości  $H$  do nieskończoności — całki, wziętej z koncentracji  $C$ , mnożonej przez przyrost wysokości  $dH$ . A zatem:

$$f(H) = \int_H^{\infty} C dH = - \int_{\infty}^H C dH;$$

po zróżniczkowaniu mamy stąd od razu

$$C = - \frac{df}{dH}.$$

Wyniki pomiarów zawartości ozonu szczególnie wybitnie ilustrują konieczność sprawdzania po-

miarów, osiągniętych za pomocą balonów-sond. Rys. 11 przedstawia wykresy procentu ozonu, znajdującego się powyżej danej wysokości, od całkowitej zawartości ozonu w atmosferze. Linia przerywana ilustruje pomiary sondowe Regenera z roku 1934, a linie ciągłe — pomiary amerykańskie Explorera I z roku 1934 i Explorera II z roku 1935.

Widoczna jest znaczna różnica między Regenerem a Explorera. Okazuje się, że wskutek przedkłego wznoszenia się baloników, spektrografy dawały błędne notowania. Synchronizacja pomiarów, przydzielenie ich do odpowiedniej wysokości jest więc przy doświadczeniach z balonikami-sondami bardzo utrudnione.

Rys. 12 daje wynik przeliczenia pomiarów na koncentrację ozonu w warstwach grubości jednego kilometra. Według Regenera (R) wypada błędnie maksimum koncentracji na wysokości około 25 kilometrów. Według amerykańskich pomiarów (A) to maksimum znajduje się już niżej, mniej więcej na wysokości 22 km, a ponadto jest ono o wiele wyraźniejsze, niżby to wynikało z zapisów sond balonowych Regenera.

Na podstawie dotychczasowych badań można więc już stwierdzić, że do wysokości 20 kilometrów mało jest w powietrzu ozonu. Powyżej tej wysokości istnieje warstwa dużej koncentracji ozonu, a jeszcze wyżej — na wysokości ponad 27 kilometrów — trójatomowy tlen występuje znów w nikomej koncentracji.

Bardzo interesująco przedstawia się problem rozpraszania światła słonecznego w stratosferze. Zagadnienie to było już przedmiotem rozważań teoretycznych. W tej dziedzinie pracowali Rayleigh i Smoluchowski, dochodząc do tych samych wyników. Według teorii współczynnik rozpraszania światła, czyli rozproszony na boki ułamek światła padającego na 1 cm<sup>3</sup> gazu, wyraża się formułą:

$$k = \frac{8 \pi^3 (n^2 - 1)}{3 N \lambda^4}$$

gdzie  $N$  oznacza liczbę Avogardy, a  $n$  — współczynnik załamania.

Dla powietrza powyższa formuła przyjmuje przybliżony kształt:

$$k = \frac{8 \pi^2 a^2}{3 N (\lambda^2 - \lambda_0^2)^2}$$

przy czym

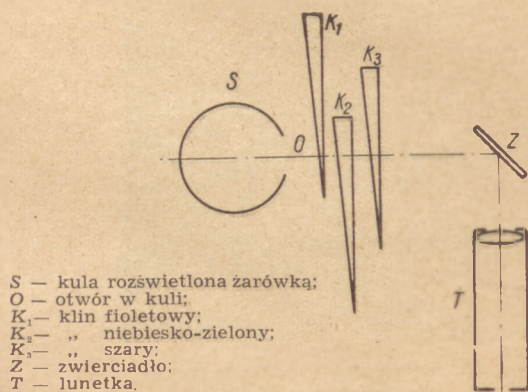
$$a = 5,7642 \cdot 10^{-4}$$

$$\lambda_0 = 0,0737 \mu$$

Od rozpraszania światła zależy zarówno jasność, jak i kolor nieba. W troposferze duża zawartość pyłu i innych zanieczyszczeń stałych lub przypadkowych całkowicie zasłania efekt właściwego rozpraszania światła. Widoczne to jest wyraźnie na załączonym rysunku 13, sporządzonym na podstawie badań Explorera II. Krzywa jasności Słońca wykazuje ze wzrostem wysokości stałą tendencję zbliżania się do pewnej asymptotycznej wartości, odpowiadającej oczywiście jasności słońca w pustej przestrzeni wszechświata. Symetrycznie do tej krzywej jasności nieba powinna stać maleć. Tymczasem widzimy, że do wysokości 5 km następuje wzrost jasności, wywołany właśnie powolnym

zanikiem wpływu kurzu i zanieczyszczeń w niższych strefach atmosfery. Zaznaczmy jeszcze, że na rysunku zastosowano różne skale dla wykresów jasności Słońca i nieba; w tej samej bowiem skali krzywa słoneczna znalazłaby się oczywiście bardzo daleko na prawo.

Rys. 14 przedstawia schemat kolorymetru nieba, czyli specjalnego fotometru klinowego, służącego do dokładnego ustalania barwy nieba. Wnętrze kuli  $S$  rozświetla mała żarówka. Przed otworem kuli  $O$  znajdują się trzy wąskie, barwne kliny  $K_1$ , fioletowy,  $K_2$ , niebiesko-zielony i  $K_3$ , szary. Światło z wnętrza kuli zostaje w ten sposób zabarwione. Położenie klinów można odpowiednio regulować i osiągnąć taki wynik, że przy obserwacji nieba przez małą lunetkę  $T$  barwa nieba odpowiada dokładnie barwie wnętrza kuli  $S$ .



Rys. 14. Schemat kolorymetru nieba.

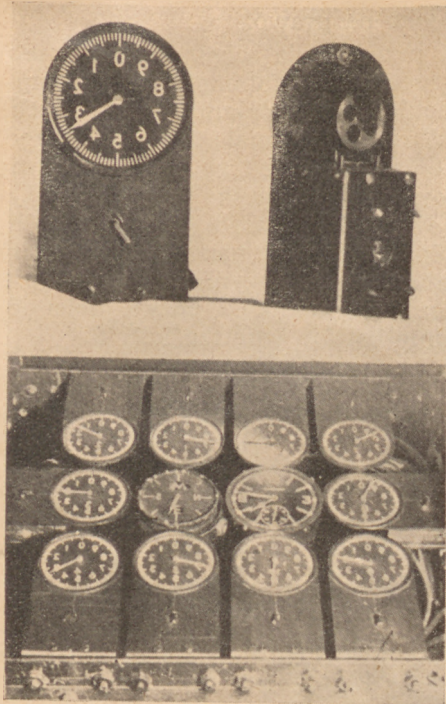
Wyniki badań nie zgadzają się z teorią Rayleigha i Smoluchowskiego. Stwierdzono wyraźne odchylenia zarówno w kolorze, jak i jasności nieba. Odchylenia te należy przypuszczalnie tłumaczyć fluorescencją najwyższych warstw stratosfery, tak zwanej hiperstratosfery, fluorescencją wywołaną działaniem promieni ultrafioletowych oraz snopów elektronów, wyrzuconych przez Słońce. W związku z tymi przypuszczeniami profesor Végard badał fluorescencję kryształków azotu, przy czym znalazł w widmie zielone prążki, podobne do tych, które dają się obserwować w widmie zorzy polarnej.

Z zagadnieniem rozpraszania światła w troposferze łączy się pośrednio technika zdjęć fotograficznych ze stratostatu. Fotografia z wielkich wysokości posiada ogromne znaczenie z różnych powodów. Już powierzchnia normalnych zdjęć obejmuje z wysokości 20 kilometrów około 2700 kilometrów kwadratowych przestrzeni. Przez stosowanie specjalnych obiektywów można jeszcze powiększyć zasięg normalnej fotografii. Przecież widnokąg teoretyczny na tej wysokości obejmuje powierzchnię około 800 000 kilometrów kwadratowych, to jest więcej niż dwa razy powierzchnia Polski!

Przy zdjęciach fotograficznych powierzchni Ziemi ze stratosfery należy jednak pokonać trudność, wynikającą właśnie z rozpraszania światła w powietrzu. Dla lotnika stratosferycznego ziemia zakryta jest welonem mgieł, zacierającym wszelkie kontury. Problem przedstawiałby się beznadziej-

nie, gdyby nie zrobiono doniosłego odkrycia, że promienie podczerwone odznaczają się zadziwiająco przenikliwością gazów, zarówno rozpraszających innego rodzaju światło, jak i zanieczyszczonych

Niesłychanie doniosłym zespołem zagadnień stratosferycznych jest problem zjawisk elektrycznych, odbywających się w stratosferze. Samo ustalenie struktury pola elektrycznego, czyli zmiany



Rys. 15. Zespół liczników z zegarem w Explorerze II.



Rys. 16. Fotografia wykonana z najwyższej dotąd wysokości: 21 km (w promieniach podczerwonych).

nych cząsteczkami pyłu. Pod tym względem przenikliwość podczerwonych promieni jest mniej więcej 40 razy większa niż przenikliwość promieni widzialnych. A z drugiej strony występowanie promieniowania podczerwonego na powierzchni ziemi jest bardziej obfite, aniżeli można by sądzić bez sprawdzenia doświadczalnego. Według amerykańskich badaczy średni skład promieniowania na powierzchni Ziemi, analizowany pod względem długości fal, przedstawia się następująco:

podczerwień . . . . .	55,7%	( $\lambda > 0,8 \mu$ ),
widzialny obszar widma . . . . .	44,0%	( $0,8 > \lambda > 0,4 \mu$ )
nadfiolet . . . . .	0,3%	( $0,4 > \lambda > 0,3 \mu$ )

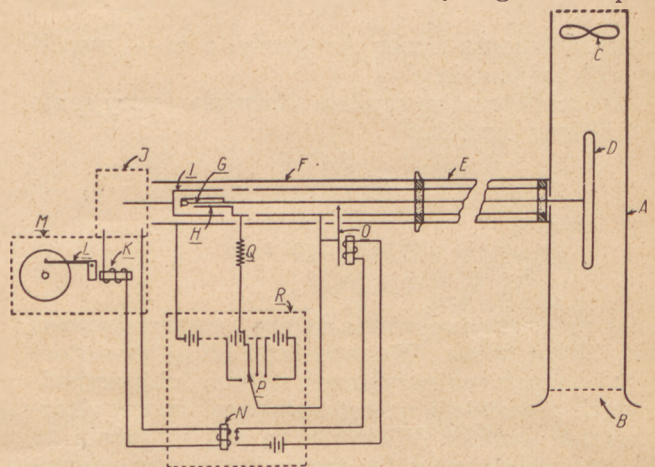
Można więc z powodzeniem korzystać z filtrów, nie przepuszczających światła widzialnego i nadfioletowego, natomiast przezroczystych dla podczerwieni. Nawet zwyczajne błony fotograficzne reagują na podczerwień, a mamy już do dyspozycji specjalne błony, szczególnie uczulone na światło podczerwone.

Zdjęcia fotograficzne, wykonane w promieniach podczerwonych, odznaczają się wielką kontrastowością; nawet najmniejsze szczegóły występują z zadziwiającą ostrością. Stosowanie tej metody przy zdjęciach stratosferycznych daje doskonałe wyniki. Załączona fotografia (rys. 16), wykonana z Explorera II, jest reprodukcją swobodnego rodzaju rekordu fotograficznego: wykonana została z wysokości 21 km!

Mimochodem wspomnijmy jeszcze, że wykonanie zdjęć fotograficznych ze znacznych wysokości przy pomocy klisz czułych na światło podczerwone znajdzie niewątpliwie duże zastosowanie w technice wojennej.

gradientu potencjału, ma znaczenie podstawowe dla dokładnego poznania przebiegu elektrycznych zjawisk atmosferycznych.

Obecność stratostatu w dużym stopniu zniekształca rozkład pola. Okoliczność ta oczywiście bardzo utrudnia pomiar gradientu potencjału elektrycznego. Ogólne nasze dotychczasowe wiadomości dają się streścić w zdaniu, że pole elektryczne ma kierunek ku dołowi, przy czym gradient po-



Rys. 17. Schemat aparatury do pomiaru jonizacji powietrza.

A — cylinder na zewnątrz gondoli; C — smigielko; D — elektroda zbiorcza; G — elektrometr nitkowy; J — amplifikator; K — urządzenie rejestrujące; L — wskazówka.

tencjału maleje prędko wraz z wysokością. Wartość jego wynosi tuż ponad ziemią około 120 V/m, a w dolnych regionach stratosfery już tylko kilka V/m.

Przewodność elektryczna atmosfery zależy od stopnia jej jonizacji. Na stan jonizacji powietrza oddziałują głównie dwa czynniki: promienie nadfioletowe Słońca oraz promienie kosmiczne, przy czym w niższych warstwach, to znaczy poniżej warstwy ozonowej, przeważa wpływ promieni kosmicznych, zaś powyżej warstwy ozonowej działają przede wszystkim krótkie fale promieniowania nadfioletowego.

Poniższa tabelka daje nam zestawienie potencjałów jonizacyjnych  $V$  tlenu, wodoru, azotu i helu. W trzeciej kolumnie podana jest maksymalna długość fali świetlnej, której kwant świetlny  $h\nu$ , wystarczy na zjonizowanie cząsteczek według znanego wzoru  $Ve=h\nu$ , gdzie  $e$  oznacza ładunek elektronu.

Składniki	Potencjał jonizacyjny	Długość fali w $\mu$
O	16,6	0,091
O <sub>2</sub>	16,1	0,077
H <sub>2</sub>	16,1	0,077
N <sub>2</sub>	16,9	0,073
He	25,3	0,049
Granica widma Słońca poniżej sfery ozonu	4,25	0,3

Działanie jonizacyjne promieni nadfioletowych Słońca na atmosferę wywołuje według Gilberta w słupie o przekroju 1 m<sup>2</sup>, sięgającym wzdłuż od wysokości 60 kilometrów aż do granic atmosfery, jonizację około 2.10<sup>8</sup> drobin na sekundę. A ponieważ w takim samym słupie hiperstratosferycznym promienie kosmiczne powodują według przybliżonych obliczeń jonizację tylko 1,28.10<sup>4</sup> drobin na sekundę; wynika stąd, że na tych wysokościach wpływ Słońca więcej niż 10 000 razy przewyższa wpływy kosmicznego promieniowania.

Jonizacyjne działanie promieni kosmicznych przeważa natomiast w troposferze, gdzie odpowiada ono dość dobrze empirycznej formule Bennetta:

$$\gamma = \gamma_0 C^{-3,8} \quad H - \text{w km,} \\ \gamma - \text{w jedn. ES.}$$

Rys. 17 przedstawia schemat aparatury Gerdienera, która służy do pomiaru jonizacji powietrza. Na prawo widzimy podłużny cylinder, długości 75 cm, który znajduje się zewnątrz gondoli.

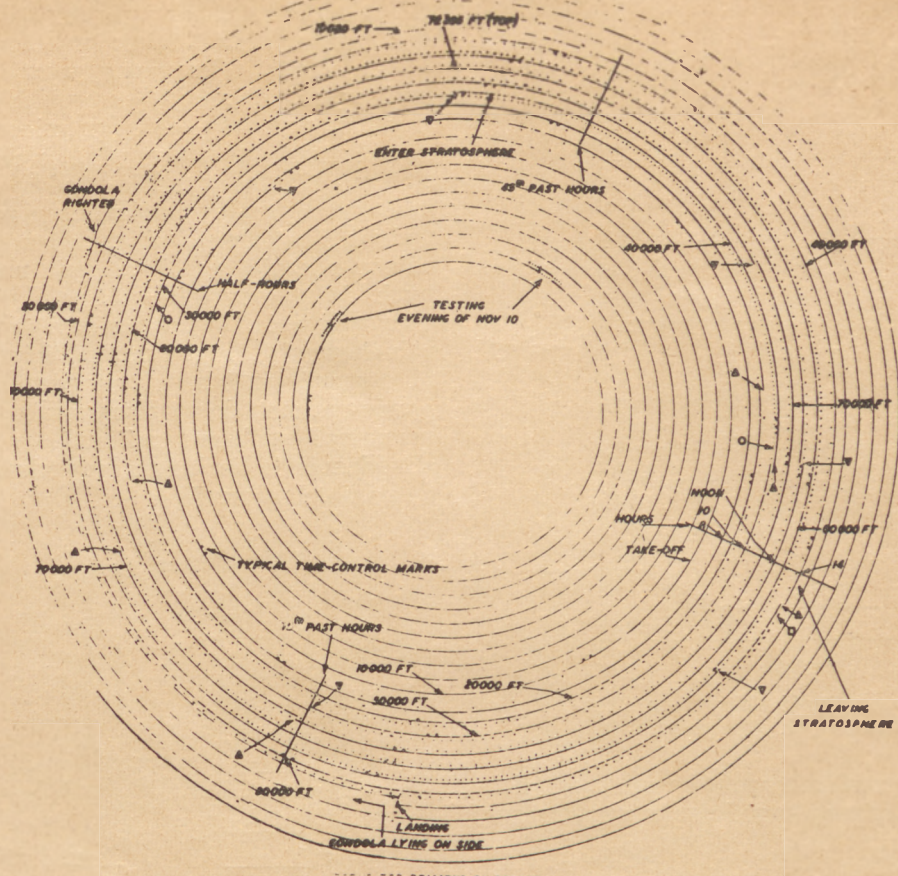
Małe śmigło wprowadza do wnętrza walca powietrze stratosferyczne, którego jony zbierają się na pręcie D. Nabój pręta dostaje się do elektrometru nitkowego G, gdzie przez influencję elektryzuje pewnego rodzaju puszkę Faradaya, otaczającą elektrometr. Ta puszka poprzez amplifikator J połączona jest z właściwym urządzeniem rejestrującym LK. Przy pewnym naboju elektrometru rozładowuje się i wtedy właściwie na obracającej się

się tarczy wskazówka L czyni zapis w postaci kropki. Rys. 18 przedstawia właśnie taki dokument stratosferyczny. Wzdłuż spiralnej linii widoczne są kropeczki notowań, przy czym położenie tych kropeczek na prawo lub na lewo linii ciągłej informuje nas o znaku naboju.

Na rys. 19 opracowane wyniki Explorera II zestawione są z krzywą teoretyczną (linie ciągłe) przewodności elektrycznej atmosfery.

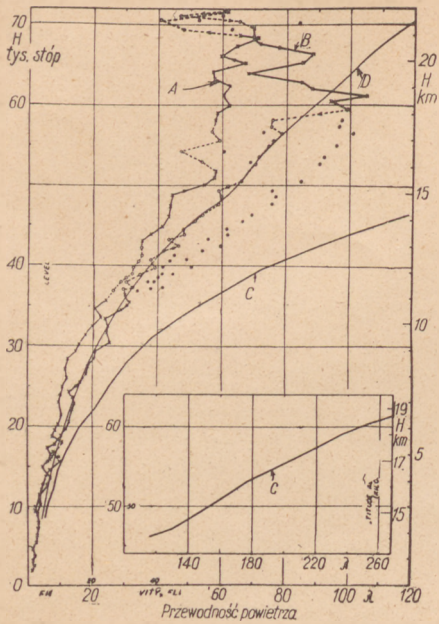
Promienie kosmiczne stanowią już osobny, potężny rozdział badań stratosferycznych. Natura tego niezwykłego promieniowania dotąd nie jest nam bliżej znana. Przekonaliśmy się o tym, że ten rodzaj promieniowania skupia w sobie zawrotne ilości energii, dochodzące do 10<sup>10</sup> eV! Te potężne koncentracje energetyczne powodują rozpad atomów, na które natrafiają promienie kosmiczne i wywołują różnorodnego rodzaju wtórne promieniowania.

Kilka interesujących zjawisk związanych jest z działaniem tych promieni. Za pomocą tak zwanych liczników Geigera mierzymy tak zwane ulewy, które polegają na występowaniu pęków promieni kosmicznych. Jak stwierdzono, na wysokości 20 km występują te ulewy około 100 do 150 razy częściej niż na powierzchni ziemi. Być może z tymi ulewami łączy się zjawisko wybuchów Hoffmanna, które polega na nagłym występowaniu kolosalnych



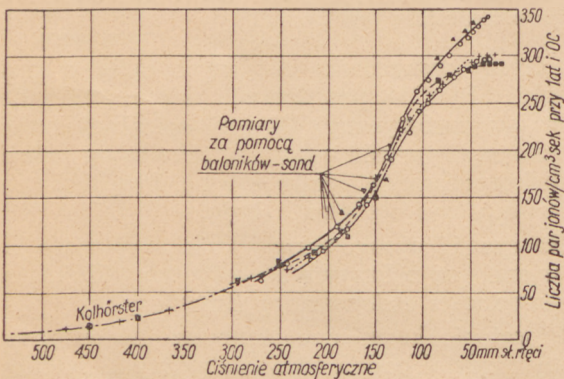
Rys. 18. Wykres jonizacji wykonany przez aparaturę wg rys. 17.

ilości jonów, wytwarzających prąd o charakterze krótkiego spięcia w komórce jonizacyjnej. Warto wspomnieć, że badanie wybuchów Hoffmanna ze względu na wielki ciężar aparatury (pancerz ołowiu) daje się uskuteczyć tylko przy pomocy stratostatów.



Rys. 19. Przewodność elektryczna atmosfery na różnych wysokościach.

W problemie promieniowania kosmicznego skupiają się najciekawsze zagadnienia współczesnej atomistyki.

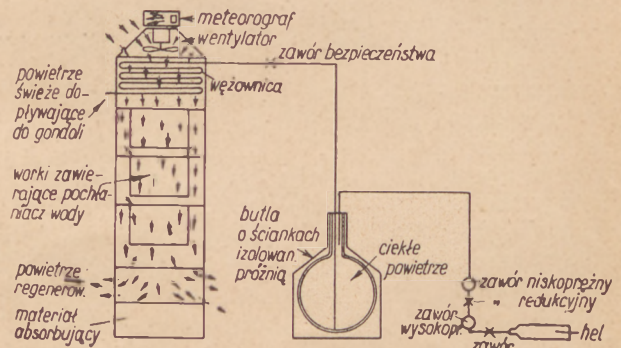


Rys. 20. Wykresy jonizacyjnego działania promieniowania kosmicznego.

Rys. 20 przedstawia wykresy działania jonizacyjnego promieniowania kosmicznego, otrzymane na podstawie notowań baloników-sond, wypusz-

czonych w latach 1932 i 1933 przez Regenera i Kolhörstera. Jak widać, wykresy przy większych wysokościach, począwszy mniej więcej od ciśnienia słupka rtęci 130 mm, wyraźnie się rozchodzą. Znaczący to, że wyniki nie są zgodne i że dalsze badania, właśnie za pomocą stratostatów, są nieodzowne dla ustalenia istotnego przebiegu zjawiska.

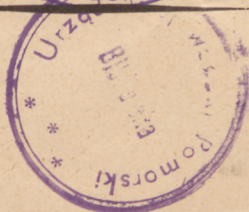
Ten krótki, niepełny zresztą spis zagadnień naukowych, związanych z problemami stratosfery, daje nam wyobrażenie o ogromie zadań, jakie opłacać musi naukowy członek ekspedycji stratostatem. Ciasna gondola ledwo może pomieścić mnóstwo aparatów, których celem jest naukowy podbój stratosfery. A przecież pamiętać jeszcze należy o konieczności zabrania urządzeń, potrzebnych do pilotowania balonu i nieodzownych do utrzymywania przy życiu i w pełni sił fizycznych i duchowych samych uczestników wyprawy. Rys. 21 przedstawia schemat urządzenia do regeneracji powietrza oraz do zaopatrywania gondoli w świeże powietrze, zabrane z Ziemi w formie płynnej. Urządzenie takie było z powodzeniem zastosowane na Explorerze II.

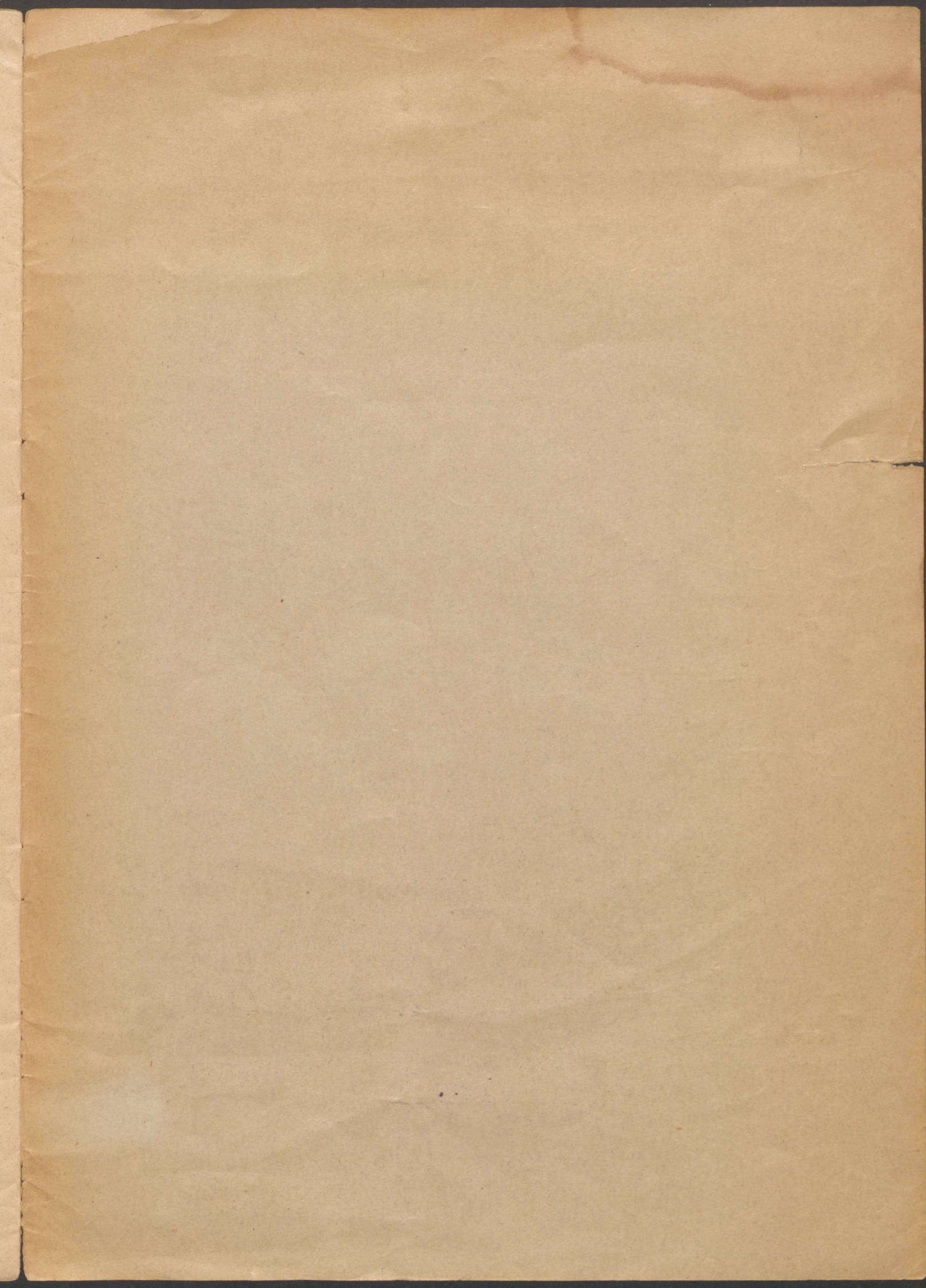


Rys. 21. Schemat urządzenia do zaopatrywania gondoli w świeże powietrze i regeneracji powietrza.

Przygotowania do pierwszego lotu stratosferycznego u nas w Polsce daleko się już posunęły. Wre praca zarówno nad budową gondoli jak i samej powłoki balonu, która będzie sporządzona z materiału, ważącego zaledwie 80 gramów na każdy metr kwadratowy powierzchni! Cała powłoka ważyć będzie tylko 1300 kg. Objętość balonu wynosić będzie 124 788 m<sup>3</sup>. Takie wymiary balonu umożliwiają zabranie użytecznego balastu około 2000 kg na wysokość ponad 30 kilometrów. Warto jeszcze zaznaczyć, że kształt balonu nie będzie kulisty, lecz nieco wydłużony w dół, co umożliwi lepszy rozkład ciśnień na powłokę stratostatu. Proponowane przez prof. Piccarda innowacje nie znajdują zastosowania.

Sądzić należy, że staranne i fachowe przygotowanie lotu zapewni mu zasłużone powodzenie.





Biblioteka Główna UMK



300020501889

7