

大氣高層的構造

霍沃斯梯科夫著

梁寶洪譯

商務印書館

525

2

大氣高層的構造

物理—數學科學博士
霍沃斯梯科夫教授著
梁寶洪譯

商務印書館

И. А. ХВОСТИКОВ
СТРОЕНИЕ ВЫСОКИХ СЛОЕВ АТМОСФЕРЫ

大氣高層的構造
梁寶洪譯

★版權所有★

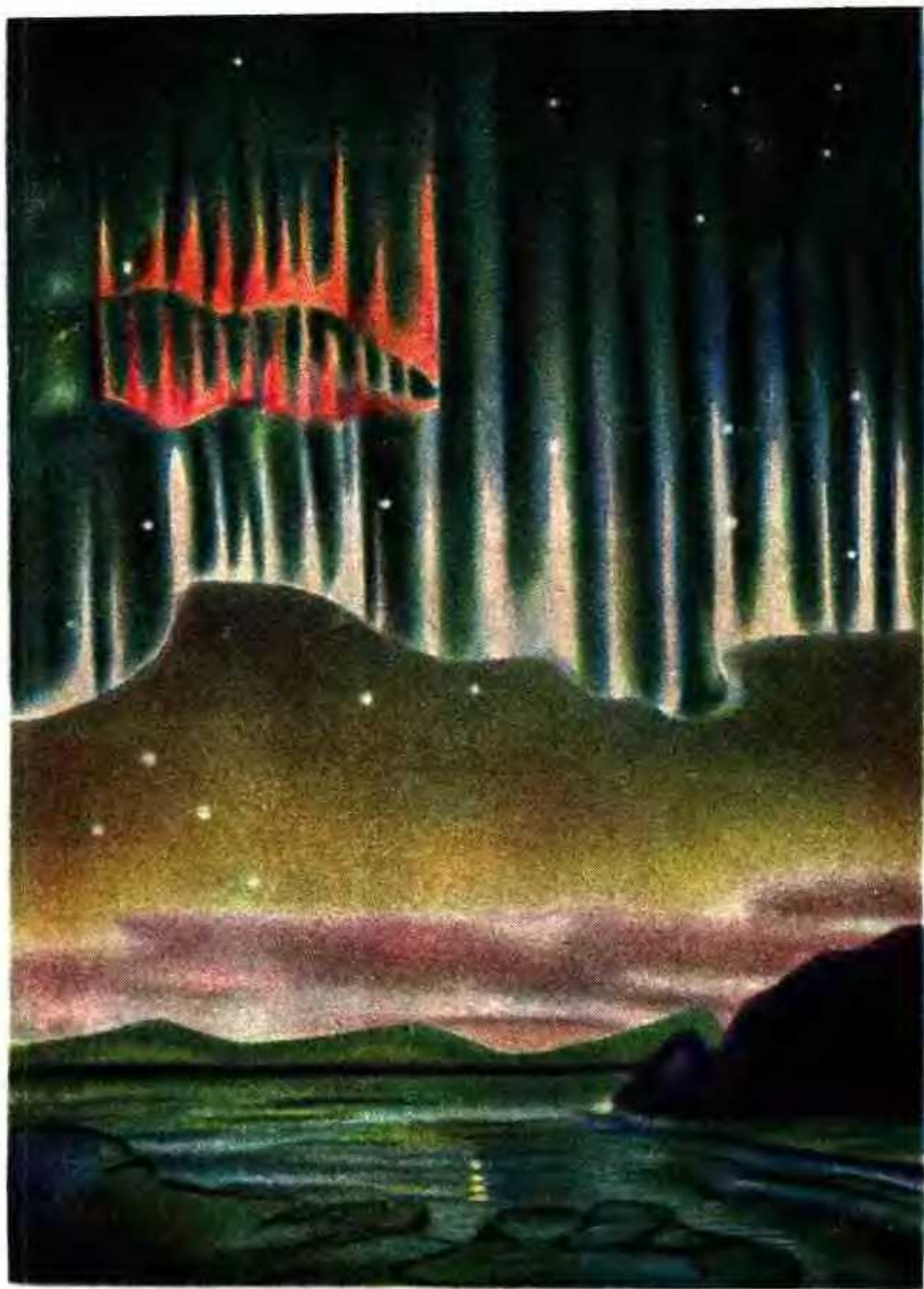
商務印書館出版
上海河南中路二一一號

中國圖書發行公司發行

商務印書館上海廠印刷
(54803)

1951年11月初版 1953年9月3版
印數5,001—7,500 定價¥4,500

上海市書刊出版業營業許可證出○二五號



雙重垂幕狀極光



輻射狀極光



輻射弧狀極光



垂 幕 狀 極 光

譯者的話

這本小書是 И. А. 霍沃斯梯科夫教授在莫斯科中央社會講演組織局的公開講演的講稿。全蘇政治與科學知識普及協會出版，真理報出版局印刷。

因爲一般人對於同溫層這名詞較熟習些，所以我把 Стратосфера（平流層）譯作同溫層。與此相對應，我把 тропосфера（對流層）譯作變溫層，而把 тропопауза（對流上限）譯作變溫中止層。

目 次

引言.....	1
同溫層.....	3
同溫層的理論.....	5
同溫層內的水蒸氣.....	9
同溫層內的臭氧.....	11
大氣高層的溫度.....	18
游離層.....	23
游離層內空氣的組成及垂直混合問題.....	26
游離層與太陽.....	29
同溫層內的風.....	31
大氣的上限.....	33

大氣高層的構造

引 言

科學史上有許多的例子，某一知識領域的發展，很長一個時期是純理論的，離開重要的實際問題很遠，但在一適當時刻，這門學問「突然地」獲得很重要的意義。研究這門學問的學者的著作得到社會的公認：他所積累的結果，從小屋的寧靜中，從狹窄的專家的小圈子中走出，登上廣大的舞臺而得到各種不同的應用。

關於地球大氣高層的知識也是這樣的。現代地球物理學的這個重要部門歷史中，就有許多重要發現，有許多被證實的大膽的假說，其中的一部份我們在下面講演的陳述中就會知道。

很長一個時期，「超越高度」，「同溫層的遼遠」的知識是令人迷惑的，但離開人類的直接實際需要很遠，乃是一個抽象的科學問題。如果大氣是那樣的——一種自然力，它「作成」天氣的雷雨，亢旱，注定飢荒，或者相反地，以充沛的雨水灌溉大地並保證了好收成，則我們總認為那是空氣的下層作成天氣，而同溫層是沒有份的。如果大氣之對於飛行，猶如海洋之對於航海的船隊，則很長的一個時期，飛機（甚至高空飛機）不能夠在很大的高

度飛行。

然而，情況逐漸地從根本上起了變化。要求地球物理學家回答大氣上層構造問題的時刻來到了，不久以前，人們還認為大氣的上層構造是「離生活很遠」的，而現在卻是實際上非常迫切的了。

蘇聯的地球物理學並沒有受到這種『突然的』需要所襲擊。遠在十五年前，關於這門學問，在我們的科學中就開始了一個有力的運動，並且蘇聯的科學家們確實很快地就佔有了第一流的，同溫層的研究者的位置。我國的科學家們發明並且應用了無線電探空儀，這種探空儀，在今天，在一切國家中，都是很重要的研究同溫層的工具。一九三三年，『蘇聯』號同溫層氣球創飛入同溫層的高度的世界紀錄（十九公里）。當作此飛行時，完成了重要的科學研究。一九三四年，蘇聯人以『國防航空及化學工業促進會』號同溫層氣球達到二十二公里的高度。能夠如此深遠的透入同溫層的深處，是由於蘇聯在技術上的卓越成就，這種可能性給同溫層的科學研究創造了很好的條件。同時於一九三四年，蘇聯科學院附設的同溫層研究委員會也開始了自己的有效的活動。在院士 C. H. 瓦維洛夫的領導之下，這委員會進行了很重要的工作，準備了有很高能力的同溫層研究幹部，保證了科學研究工作的有計劃的發展。今天，蘇聯的地球物理學，關於同溫層及游離層物理學的許多基本部份，有頗等重要性的結果，常常地走在外國的科學成就的前面。

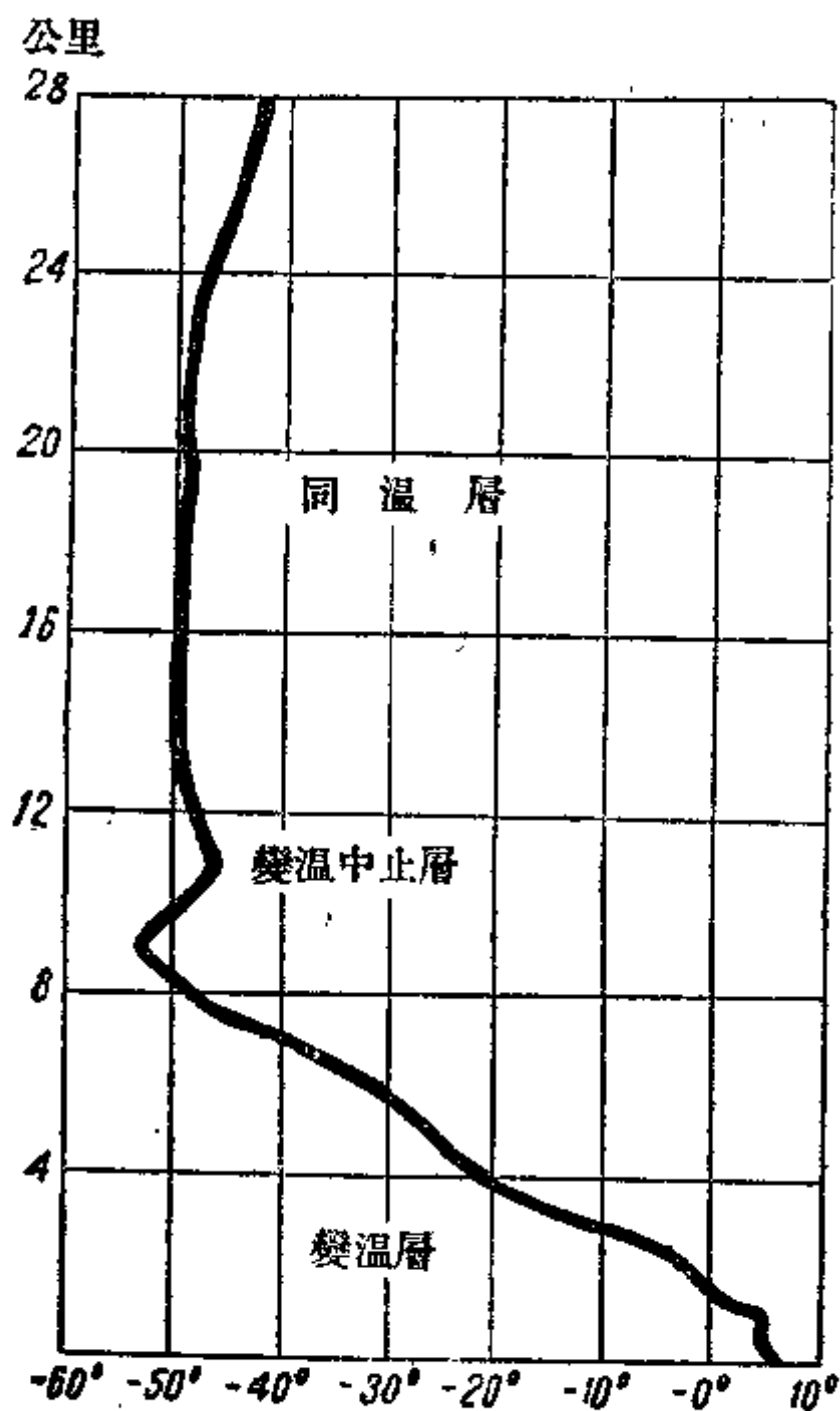
同溫層

同溫層的發現約在半世紀之前。遠在十七至十九世紀這一時期內，確定了空氣的溫度隨高度而降低。在高山上或在氣球上測定空氣溫度的結果表示：『愈高愈冷』。空氣的溫度每升高一公里減小 4° — 8° （攝氏）。如果夏天地面的溫度是正 20° — 30° ，則在3—5公里的高度處溫度等於零，而在海拔9—11公里的高度處，溫度等於負 40° — 50° 。一切根據都是假定在很大的高度處溫度更低，並且『愈高愈冷』這規則適用於一切的高度。

在45—50年前，完成了在海拔9—11公里以上處空氣溫度的測定。這是用自記溫度計來完成的，這自記溫度計是繫於一充滿氫氣的輕的橡皮袋上，並放出這橡皮袋使其自由飛行。事實是這樣：剛剛高於9—11公里時，有一新的大氣區域開始，在這區域裏溫度並不隨高度的增加而降低，而是在一切高度處都保持一定的溫度。這個區域稱為同溫層。大氣的下部，離地約9—11公里之內，在這一部份中溫度隨高度而減少，稱為變溫層。

蘇聯的無線電探空儀能夠測量空氣的溫度到25—30公里高。結果證實，大氣的溫度甚至（雖然很小）隨高度而稍有增加（第一圖）。又發現了變溫中止層：這是在變溫層與同溫層之間的一個過渡的區域，寬1—3公里，也是以溫度的特殊情況而被注意（例如溫度的逆轉）。變溫中止層（亦即同溫層的開始）的高度，係與地理的緯度有關係：在赤道處變溫中止層升高至

16—18 公里，就各個緯度平均而言，構成上述的 9—11 公里。在赤道之上的同溫層（溫度為負 70° — 80° ）比平均緯度的同溫層



第一圖

(溫度爲負 45° — 50°) 要冷些,而在兩極地區的同溫層則較暖些。變溫中止層的高度顯示出有規律的,季節性的變化:春天最小,而秋天最大。大概的輪廓就是這樣。然而實際上,許多現象把這輪廓歪曲了。

很長一個時期,同溫層的存在是一個神祕的,無法說明的事實。許多有名的科學家都努力於同溫層的說明。雖然現在關於產生同溫層的原因,有許多材料是無可爭辯的,但就整體來說,問題仍未解決。

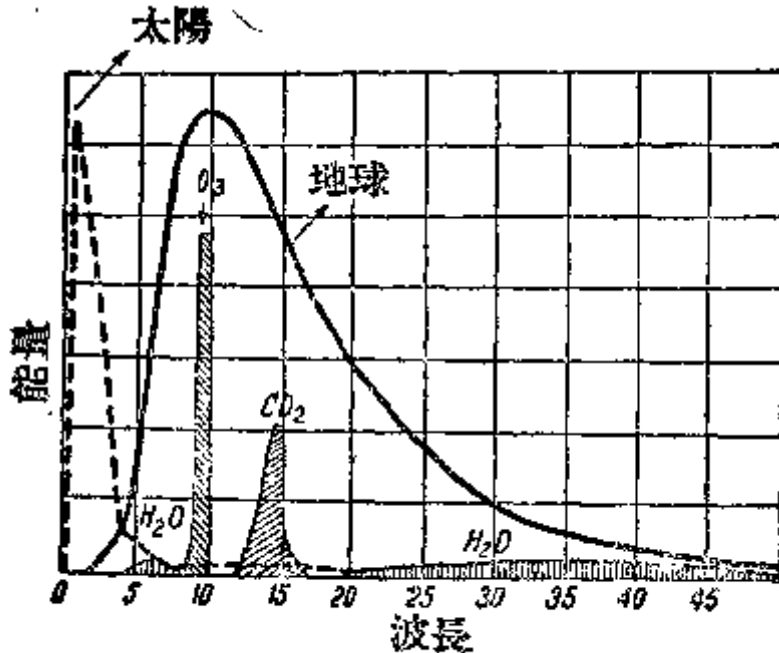
爲了說明同溫層,說明同溫層內的溫度情況,曾將許多能夠影響高處或低處空氣溫度的各種因子,加以研究。研究了太陽的紫外光線,可見光線及紅外光線被大氣吸收的情況。在實驗室中研究了氮氣,氧氣,二氧化碳氣,水蒸氣,臭氧及其他存在於空氣中的氣體的吸收光譜。這些光譜常常是極複雜地與氣體的壓力及溫度有關係。因此,這些光譜在不同的大氣層處應當有不同的形式。在理論上,已完成了輻射平衡及其他關於大氣的熱過程的數學理論。這樣一個緊張的工作廣泛地已經繼續了四十年。這工作產生了各種各樣的結果,有時是極重要的結果,這工作建立起同溫層的諧整的理論。然而,在以下的說明中我們將指出,這個理論需要進一步的改進。

同溫層的理論

現代的理論認爲變溫層是這樣的一個區域,在此區域內,溫

度的調節，主要地是由於空氣的渦漩混合；而認為同溫層是這樣的一個區域，在此區域內，溫度情況的調節是由於輻射的熱交換（輻射的平衡）。

太陽是進入大氣的熱量的主要來源。但是這種熱量時常以迂迴的路程進入大氣。太陽表面的溫度約為 6000° ，太陽的輻射含有光譜的可見部份的能量的最大部份：能量按光譜的分佈曲線的最大值係在綠色部份，而在紫外部份及紅外部份，曲線急劇地下降（第二圖）。但是地球大氣對於光譜的可見輻射是透明的，因此，這些輻射幾乎不減弱地達到地球表面或海面。僅僅一小部份被反射（海約將射來的光線反射 10%，地球的山水部份約反射 3% 至 25%，祇有雪反射 50% 至 70%），其餘的都被吸收。太陽的輻射幾乎不使空氣變熱，幾乎所有的熱都給了地



第 二 圖

球。空氣的主要熱源是太陽的輻射所加熱的地面而來。

地球，像任意一被加熱的物體一樣，發射出輻射能量。但因為地球的溫度很低，所以地球的逆輻射幾乎完全是紅外線（第二圖）。這輻射強烈地被空氣吸收，空氣在紅外部內佔有很強的吸收帶。因此，對於大氣來說，地球的表面有着灼熱的火爐的作用。顯然，我們離開火爐愈遠，則火爐所產生的加熱作用愈小。因此，靠近地球的表面，在變溫層中，空氣的溫度隨高度而降低。

計算結果表示，空氣的溫度（此溫度係由地球的逆輻射所決定）的減低，應該比每公里 10° 還要大些。因此就發生了有力的，垂直的，渦漩的空氣混合作用，這混合過程負擔起主要的溫度調節的任務。

我們稍為詳細地研究一下這個問題。試想像一個帶有氣體的氣球在大氣中上昇。由於大氣壓力隨高度而減小，氣球將膨脹，並將因此而在上昇運動中冷卻。我們想像着使氣球在某一高度處停止。如果在此高度處，周圍的空氣比氣球熱些，則氣球因為較冷些，亦即較緊密些，必將向下方急進。相反地，如果周圍的空氣較冷些，則氣球將急趨向上，而當溫度相等時，則得到隨遇平衡的情形。因此，空氣溫度隨高度而迅速降低這一存在事實，將產生在垂直方向大氣的不穩定性，亦即將促進垂直方向運動的發展，因為一旦起始的向上運動將伴隨着上昇力的增加，則運動也將因此而加強。

溫度傾度（這傾度是與地球的吸收相反的吸收所產生）是

如此之大，以致由於熱空氣的由下方流進較冷的高氣層而發生強有力的垂直運動，這運動使溫度均衡。當向上運動時，由於膨脹而發生的空氣冷卻，產生溫度傾度，每公里 6° ，這溫度傾度，平均而言，表示變溫層的特性。

空氣的垂直運動係以渦旋的運動形式發生，即以互相混合的，小的及大的空氣團的運動形式發生。大氣中空氣的渦旋運動是複雜的，但對於大氣的物質生活卻是一個特殊重要的過程。大氣渦旋的研究達到很大的進步，這是由於蘇聯科學院院士 A. H. 柯爾莫哥洛夫及其學生 A. M. 歐布霍夫教授的研究。這些研究是集中在蘇聯科學院的地球物理研究所中，這些研究把外國著作家的一切作品都拋在後面，並且在一系列的地球物理的基本問題（雨雪等的形成理論以及其他）中，發現了新的遠景。

如我們所知，在同溫層中沒有溫度隨高度而降低的現象。因此，在同溫層中也沒有空氣的垂直運動（無論如何，就其勢力及性質與變溫層相比較而言）。在同溫層中，空氣的溫度與空氣的混合無關，而是由輻射平衡決定。有某一定溫度的，任意體積的空氣，向各方面放出輻射能，空氣的溫度愈高，則放出的輻射能愈多。但這氣體也同時吸收一部份輻射能，這部份輻射能係以地球表面的逆輻射的形式及一切包圍它的空氣的輻射的形式穿過它。如果被輻射的能量比被吸收的能量多，則這一部份空氣一直在失去自己的內能而冷卻；在相反的情形下，這部份空氣將變

熱。穩定的（平衡的）溫度是：在此溫度下，由於輻射而輸出的能量等於由於吸收而輸入的能量。

蘇聯科學院地球物理研究所裏的И. С. 庫茲涅索夫教授的數學著作，對於控制同溫層溫度的輻射平衡理論的發展，有很大的貢獻。在有分散性及吸收性的介質中，輻射能的流逸方程式的解法是最有希望的；這解法是阿爾明尼亞蘇維埃社會主義共和國科學院的院長，有名的天文物理學家，B. A. 安巴爾楚米安研究出來的。這些著作曾得到斯大林獎金。天文物理學家參加地球物理的工作並非偶然的：以這同樣的輻射平衡的理論可以研究星球大氣內的，能量的及光的情形。

因此，變溫層是這樣的一個區域，在此區域內，溫度的控制機構乃是渦旋的，垂直的，空氣底混合；而同溫層的溫度則係由輻射平衡來控制。

但是，爲什麼在一定的高度——變溫中止層——控制溫度的機構發生變化呢？以輻射平衡的理論能夠說明在同溫層內溫度隨高度而上昇的現象，在兩極處變溫中止層的高度減低的現象以及在赤道處變溫中止層昇高的現象嗎？爲什麼在赤道處的同溫層特別冷呢？我們以下將會看到，這些問題迫使我們尋求現存理論的根本改進。

同溫層內的水蒸氣

組成空氣的各種氣體，對於輻射能的吸收，顯示出重要的特

徵：一種氣體在大氣中的含量愈少，則它所產生的吸收作用常常是愈大，愈重要。我們取常存在於空氣中的五種氣體：氮氣（78%），氧氣（20%），水蒸氣（2%），二氧化碳氣（0.02%）及臭氧（0.00003%）。括弧中所表示的乃是此種氣體在空氣中的大約含量（按體積計）。

氮氣的含量比其餘所有的氣體的總和要大四倍。但是氮氣不產生任何的吸收，不論是在紅外部份，在可見部份或在紫外部份。因此，氮氣對於大氣中的能量過程並無影響。氧氣吸收輻射能，但是很微弱。水蒸氣對於輻射能的吸收作用很強。二氧化碳也有極強大的吸收力。臭氧有非常活動的吸收作用。

臭氧是一種令人驚異的氣體，關於它在同溫層的過程中的作用，應當特別討論。但必須立即指出，臭氧性質的研究乃是不久以前的事，而差不多同溫層理論發展的整個過程都是着重在水蒸氣方面。過去產生了一種對於水蒸氣的『習慣』，按照我們的意見，在此後的幾年內地球物理學家應當克服這種『習慣』。但是無疑地，水蒸氣的作用是很大的。

水蒸氣在光譜的紅外區域內佔有很強的吸收帶。水蒸氣吸收了地球的逆輻射能的最大部份。這樣就決定了水蒸氣對於變溫層內熱平衡的巨大影響。同溫層內輻射平衡理論的創始者所從出發的假設是：在同溫層中水蒸氣的作用也是很大的，在同溫層中，主要的吸收物質也是水蒸氣。現在證明這是不完全正確的，水蒸氣的作用被估計得太高，而把其他氣體的作用估計得太

低。

變溫層的高層中及同溫層中，水蒸氣含量的測定是如此困難，以致在一九四六年之前尙未完成可靠的測定。測定的困難有兩個原因。在溫度很低的同溫層中，水蒸氣之量，甚至在水蒸氣飽和的空氣中，也是很微小的（每一立方米的空氣中不到一毫克）；而在如此低的溫度下，水蒸氣的本身又得到很複雜的性質，這複雜的性質使水蒸氣的量的測定發生很大的困難。過去曾假定，在變溫層的高層處水蒸氣近於飽和。因為沒有確定的數據，並且爲了同溫層溫度計算的一致，理論家們也假定，在同溫層中水蒸氣是如此之多，以致近於飽和。

應用充分可靠的方法來測定同溫層內的水蒸氣，僅在一九四五至一九四六年間，方才首次完成。結果表示，同溫層內的水蒸氣比所假定的數值要小幾十倍。由變溫層過渡到同溫層的特徵，是水蒸氣含量的顯著降低。同溫層內水蒸氣的含量，完全不足以使它所吸收的輻射能能夠維持我們所觀察到的溫度。

這表示輻射平衡的理論，作爲同溫層內溫度控制的機構，是不正確的嗎？

不，並非如此。但是，在某種程度內，應該把水蒸氣的特殊作用交給空氣的另一組成部份——臭氧。

同溫層內的臭氧

很早以前就已注意到，在紫外區域的一端，太陽及任意星球

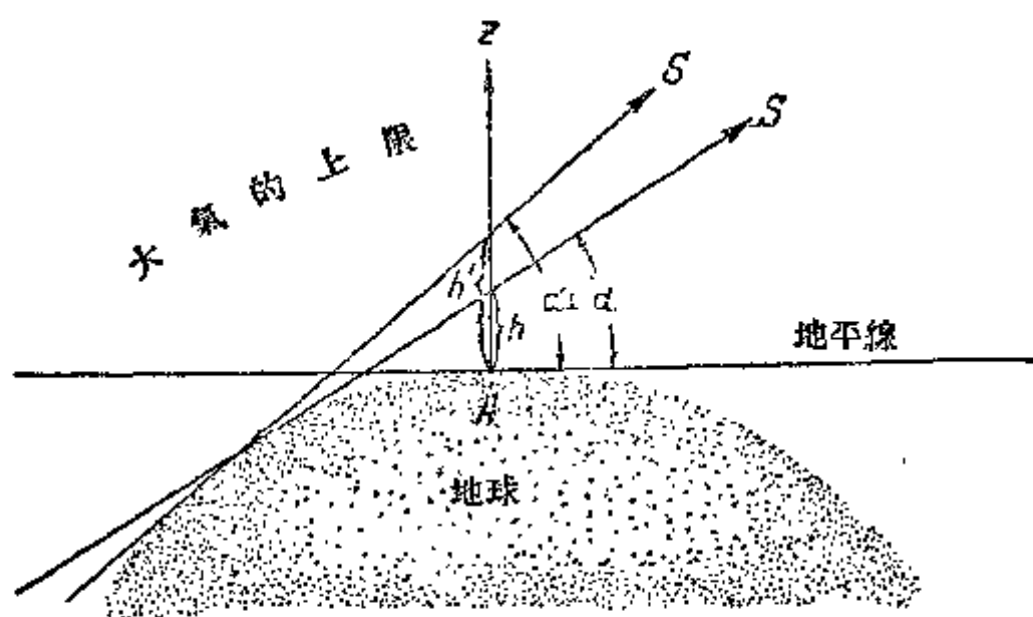
的光譜突然終止於某一定的地方——約在波長 0.3 微米處（ 1 微米 $= 1\mu = 10^{-6}$ 米——譯者註）。那時覺得，無疑地，太陽及星球的光譜應該伸入短波方面更遠些。那時的一切都表示，地球的大氣對於這些輻射是不透明的。然而問題變得複雜了，因為沒有一種已知的大氣的氣體吸收上述的輻射（即比 0.3μ 更短的波長——譯者註），大氣對於這些輻射應該是透明的。

以後的實驗室內的研究發現，臭氧有很強的吸收作用，並且恰好從波長 0.3μ 開始。但是，在地球表面附近的空氣內，臭氧的含量是微乎其小的（ 0.000001% ）。因此，由於光線被大氣臭氧的吸收，似乎不能夠在上述的波長附近將太陽的光譜截斷。

但是，也許可能，在大氣的高層內存在着大量的臭氧嗎？

在那時，當這想法發生的時候（二十五年之前），還沒有飛機或氣球能夠上昇高於 $8-10$ 公里。也就是說，在那時候，直接測定在很大高度處的臭氧是不可能的。但在 $25-30$ 年前，研究大氣高層的間接方法開始了。首先是用光學的方法，以後又與無線電波及聲學的方法相結合。用間接的方法來研究大氣的高層，構成了現代地球物理學的顯著成就。在這方面的先鋒，乃是蘇聯的科學家，院士 B. Г. 費辛科夫（Фесенков）。

在一九一五年，B. Г. 費辛科夫發表了一著作，在此著作中指出，用測定黃昏時天空亮度的方法，可以研究高達一百至二百公里的空氣密度的分佈。在以後的幾年內，黃昏法在蘇聯被廣泛地應用，並及於國外。這方法的基本要點如下（第三圖）。假定

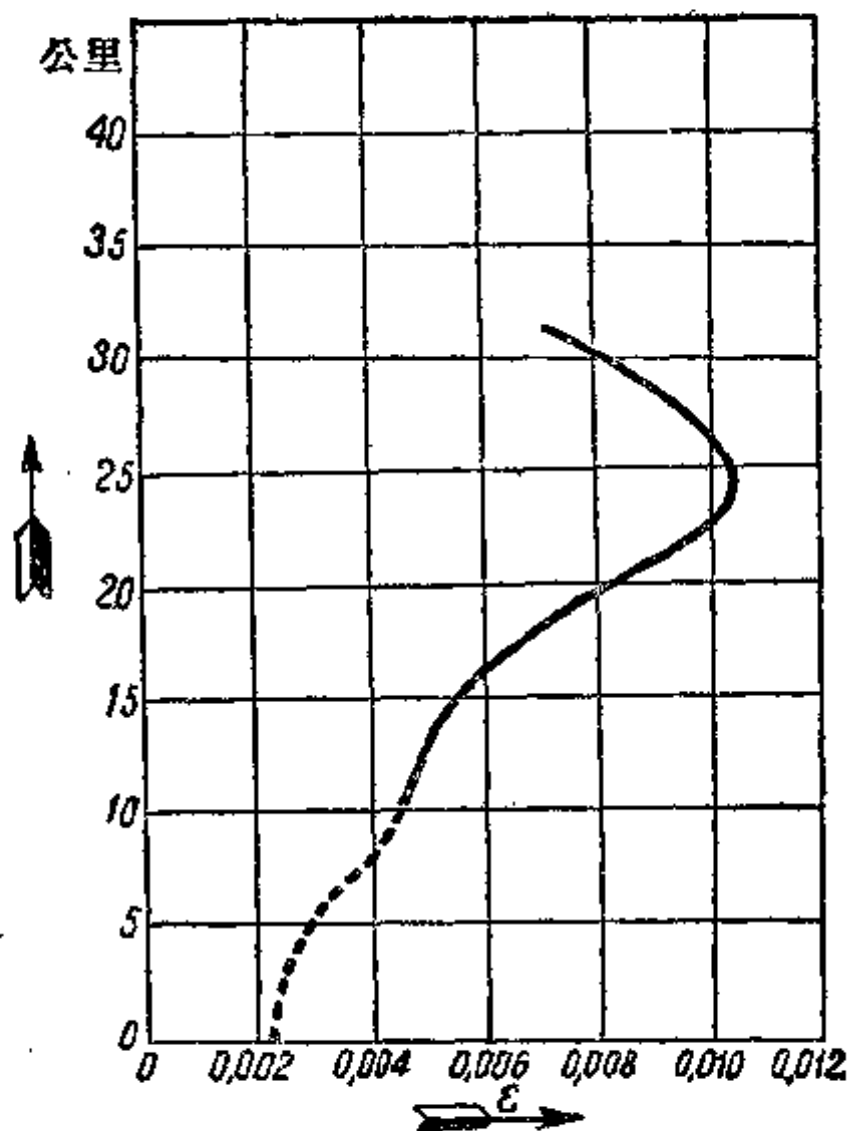


第 三 圖

太陽落後，光線由地平線下成角 α 進行。這時在天頂處地球的影子等於 h 。經過若干時間之後，太陽沈下地平線的角度增加為 α_1 ，而地球的影子昇至 h' 。這樣一來，在此時間內，大氣層 $h'-h$ 失去太陽光線的照射，結果天空的亮度減小。院士 B. Г. 費辛科 夫的理論能夠按照黃昏時天空亮度的變化，計算出在不同高度處（直至二百公里）空氣的密度。

緊接着黃昏法的研究之後，出現了研究大氣高層的光學方法：觀察隕星，觀察夜間天氣之光等方法，以後我們將要談到這些。那時，在 15—20 年前，產生了光學的方法，這方法使我們能夠在地球上觀察，測定高達幾十公里處的臭氧的含量。

結果表示，實際上臭氧主要地分佈在大氣的高層中。最大的含量是在高度 22—25 公里。由這一層往上去或者往下來，臭氧

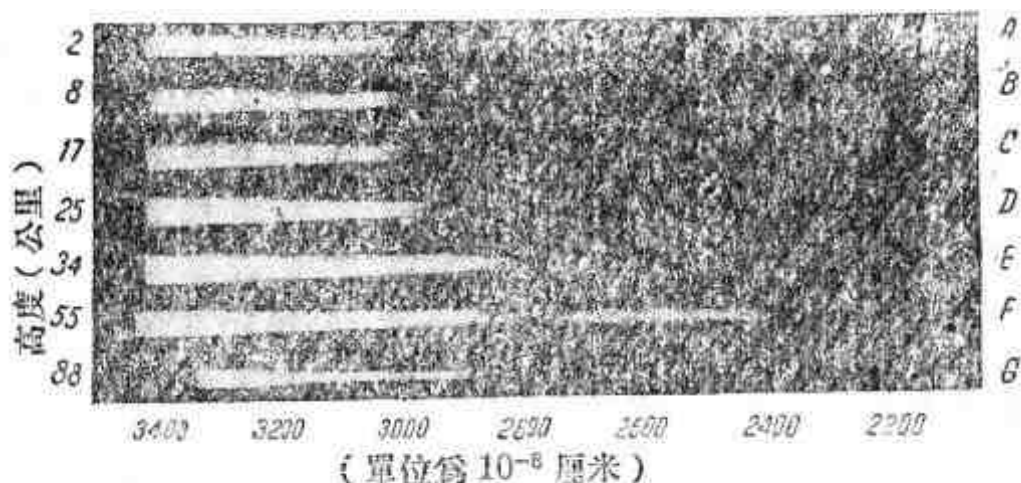


第 四 圖

的含量減少（第四圖）。

每一次同溫層氣球飛入同溫層的飛行，都產生出精確的測定，這測定證實了上述的，關於臭氧在高空分佈的重要結果。所有的同溫層內的直接測定，最後一次是在一九四七年，完全證實這個結果。我們上面已經說過，如果從地球上攝取太陽的光譜，則這光譜在波長 0.3μ 處終止。臭氧吸收波長小於 0.3μ 的紫外

線。如果幾乎所有的臭氧都分佈在40—50公里之下，則從40—50公里處攝取太陽的光譜時，我們應該得到遠在 0.3μ 範圍之外的光譜。在一九四六至一九四七年，在美國完成了這個測定，這是藉助於戰利品，德國的火箭礮彈把適當的儀器（攝譜儀）昇高到八十八公里。在此高度所得到的太陽光譜如第五圖所示。



第五圖

臭氧 O_3 乃是三原子的分子，而空氣中的普通氧氣乃是二原子的分子 O_2 。如果令氧在自在的狀態，則氧氣完全形成分子 O_2 。爲了維持臭氧的定常存在，必須存在有規則地作用着的分解的因素，這因素把分子 O_2 分爲原子 $O+O$ 。然後藉着原子 O 與分子 O_2 的接觸，才能夠形成臭氧分子： $O+O_2\rightarrow O_3$

這分解因素乃是太陽的紫外線輻射，波長在 0.18μ 以下。在這裏我們達到現代科學上的重要問題『太陽——地球』。太陽對於地球的過程的影響是很複雜的。這是地球物理學及天文物理學的重大問題之一，關於這個問題，現在正在努力研究之

中。

不久以前已證實，臭氧在光譜的紅外區域內（約在波長 $10\ \mu$ 附近）具有如此強力的吸收帶，以致雖然在大氣中臭氧之量比水蒸氣小 50,000 倍，而地球的逆輻射被臭氧所吸收之量僅稍小於水蒸氣所吸收之量（第二圖）。但是這兩種氣體的垂直分佈的不同，也就預先決定了它們在變溫層及同溫層的温度機構中所起的不同作用。在變溫層中，水蒸氣多而臭氧少，因此，在變溫層中，臭氧的作用，與水蒸氣的作用相比較，乃是微不足道的。但是愈高則水蒸氣愈少，而臭氧愈多。變溫中止層，即同溫層的開始，應當是一臨界區域，在這裏，由量過渡到質。到同溫層的過渡，是與水蒸氣含量的激劇減少及臭氧含量的增加有關係的。在同溫層內，温度的控制作用顯著地轉移給臭氧。

上述的觀點將在最近的幾年內決定同溫層理論的進一步的發展，這種看法是有許多根據的。但是這新的觀點需要證實及研究。有什麼東西來支持這種觀點？這種觀點中有甚麼東西需要批判地縝密地研究呢？

問題不僅在於同溫層中水蒸氣少。因為在變溫層中水蒸氣很多，幾乎所有的地球的輻射（指被水蒸氣所吸收的那些波長的輻射）都保留在變溫層內，而僅以非常微弱的形式達到同溫層的水蒸氣。相反地，臭氧所吸收的地球的輻射（波長為 $10\ \mu$ ）能夠自由地通過變溫層，並以幾乎不減弱的強度照射同溫層的臭氧。

如果同溫層內僅含有某一種氣體，則我們能夠計算出這種氣體的平衡溫度（見以上所述）。計算結果表示，對於水蒸氣而言，這平衡溫度等於負 80° — 85° ，而對於臭氧，則等於負 35° ，即高出 50° 。因此，空氣內臭氧之量與水蒸氣之量的比值愈大，則空氣的溫度應該愈高。而在同溫層內，這比值隨高度而增加，所以溫度也隨之而增加。

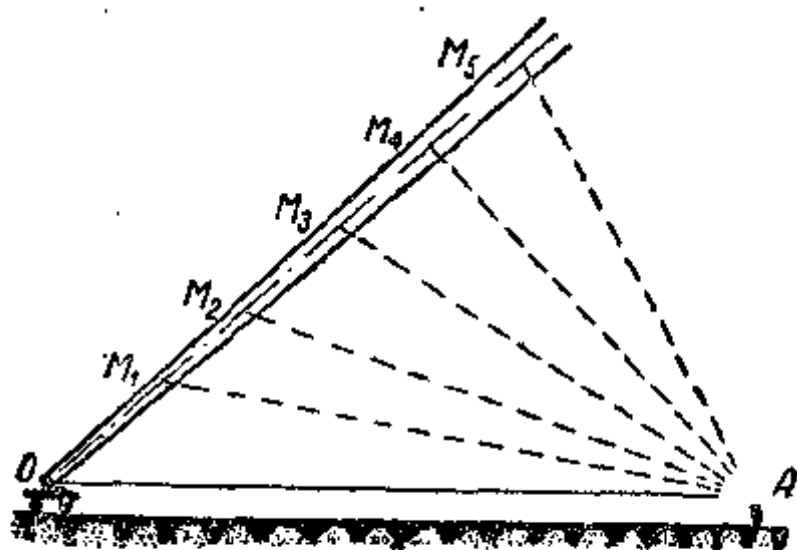
在不久以前，因為未曾考慮臭氧的作用，所以理論不能說明這個基本事實。

用光學的測定方法已確定，在同溫層中，臭氧之量係與地理緯度及季節有關係。向赤道去時，臭氧之量減少，而向兩極去時，臭氧之量增加。春天時臭氧之量最大，而秋天則最少。如果將這考慮在內，則根據輻射平衡的理論，不難說明從兩極向赤道去時同溫層溫度的降低及變溫中止層高度的增加以及變溫中止層高度的季節性變化。這些基本的事實，在不久之前，理論還不能說明。

這新的理論，在量的方面，研究得仍不充分，主要的原因是缺乏關於水蒸氣及臭氧在各不同高度處含量的必需的數據。關於臭氧的材料特別缺乏，尤其是在同溫層的最重要的這一部份——同溫層的開始處，從 10 至 20 公里這一層。以現有的方法，對於各別的，充分薄的一層，尚不能得到有系統的數據；也不能測定通過變溫中止層時，臭氧含量的變化。然而我們知道，這是非常重要的。在許多國家裏，許多最有名的專家都在研究改

進測定臭氧含量的方法。必要的方法的缺乏乃是問題的極端複雜性的結果，這是被臭氧的微小含量及必須在高層，在難以達到的高層來測定這微小含量所決定。

方法的根本改進將藉助於用探照燈測量大氣的方法而達到，這希望是可能的。這個研究同溫層及變溫層的新方法，現在正在蘇聯科學院地球物理研究所中順利地進行。這方法是用強力的探照燈光線向上照射（第六圖）。在側方用特殊的儀器觀



第 六 圖

察光線的各點時，能夠研究表徵各別大氣層的不同現象。地球物理研究所在這方面已得到重大的成功，並完成高達 55 公里的大氣的同樣的光學測量。當關於高度 14—18 公里的臭氧及水蒸氣的垂直分佈的精確材料得到之後，同溫層的理論必將受到決定性的向前推動。

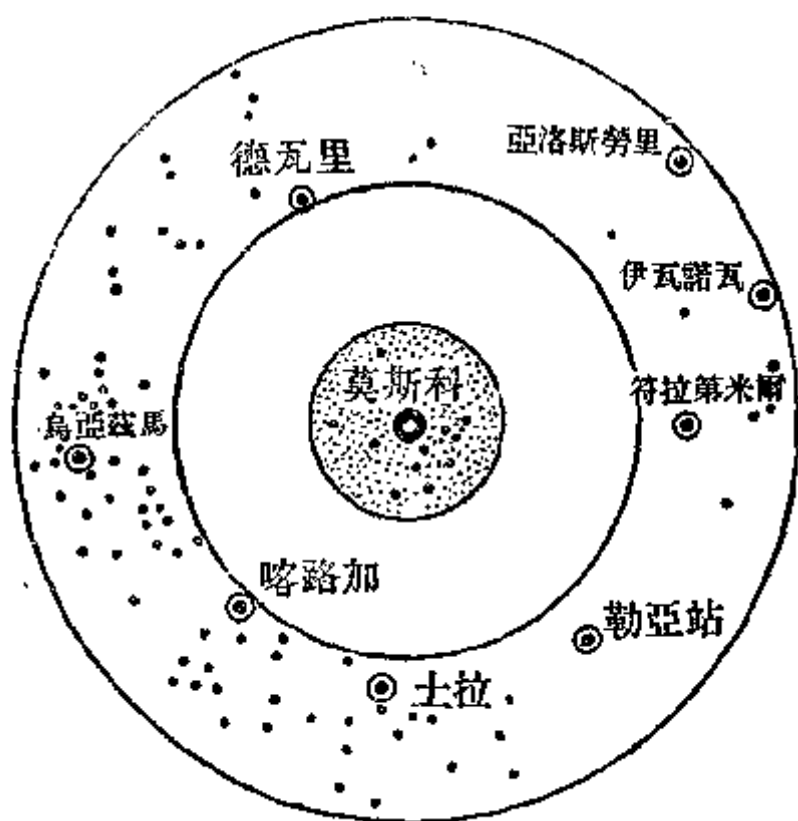
大氣高層的溫度

用無線電探空儀的測定，達到高度 25—30 公里，這測定指示出同溫層的溫度隨高度而稍有增加。

但在過去的十年中，用間接的方法所得到的重要結果證明，在更高層內有一特殊的溫度情況支配着，這情況可用下面的簡單規則表示：「愈高愈熱」。我們再重新敘述一下聲學方面的材料。

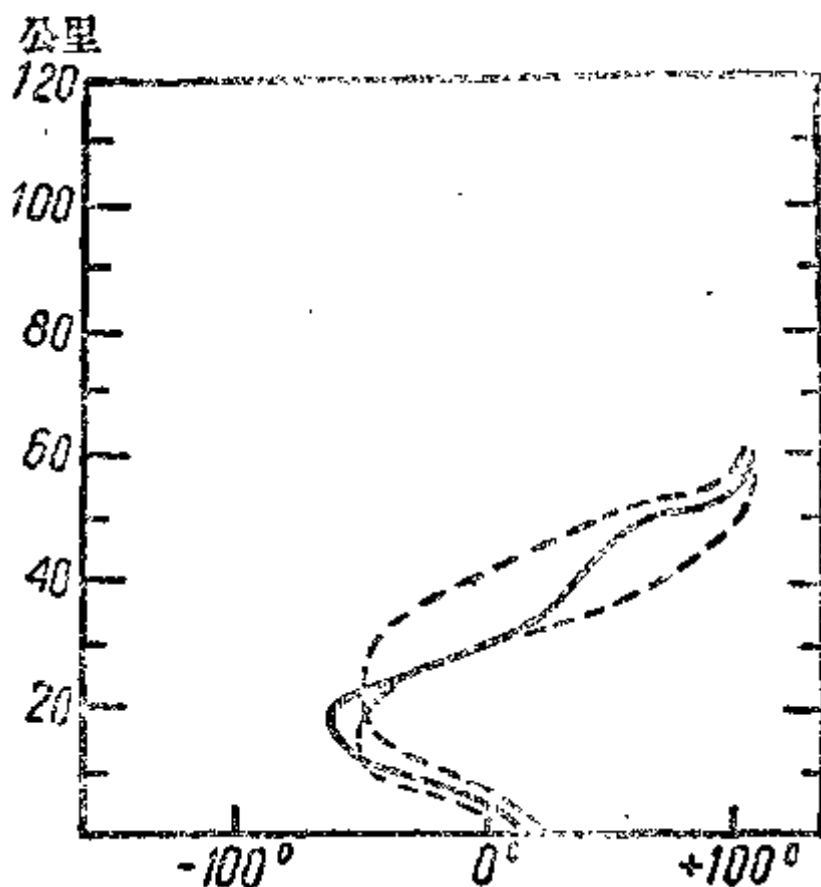
在第一次世界大戰時期 (1914—1918)，曾注意到，有時很強的大砲轟擊能在很大的距離處聽到，而在比較近的距離反而聽不到。後來，由於強烈爆發時聲距的研究，確定了『反常聽聞區域』的存在。正常聽聞係在 30—50 公里的距離內消失；其後乃是聽不見爆發聲的，幾十公里的一個區域，而離爆發處再遠一些，就又能聽見聲音（第七圖）。理論上已證明，由於高度 35—60 公里處的空氣層的折射作用，發生聲波返回的現象。這種空氣的折射以及隨之產生的聲音返回地球的現象，能夠在下述的情形中發生：如果在返回層中，空氣的溫度（聲音的傳播速度與溫度有關係）隨高度而增加。如果我們假定，從 25—30 公里至 60 公里空氣的溫度迅速地隨高度而增加，在高度 40 公里處約為 $+30^{\circ}$ ，在高度 50 公里處約為 $+60^{\circ}$ ，在高度 60 公里處約為 $+75^{\circ}$ （第八圖），則能說明所觀察到的現象。用聲學的探空作用不能透過 60 公里以上，因為在更高層處，聲波遭遇到強烈的吸收。

在這些空氣層中溫度隨高度而不斷的增加，被黃昏時的觀



第七圖

察證實。我們曾經指出，院士 B. P. 費辛科夫 創造出一個理論，其他蘇聯科學家的研究充實了這個理論。由這個理論能夠於黃昏時在太陽沈落於地平線下的各種不同情形中，按照天空的亮度，計算出在不同的各層中（從 20—30 公里至 150—250 公里）空氣的密度。如果知道了空氣密度的垂直分佈，就能夠計算出溫度及壓力的分佈情形。在最近幾年中，研究大氣高層的黃昏法得到特殊的重要性。繼蘇聯地球物理學家之後，這方法廣泛地被德國，美國，英國，法國 及其他許多國家採用。但是在這個問題上，由於年青的然而已佔有顯著地位的格魯津科學院的阿巴斯圖曼

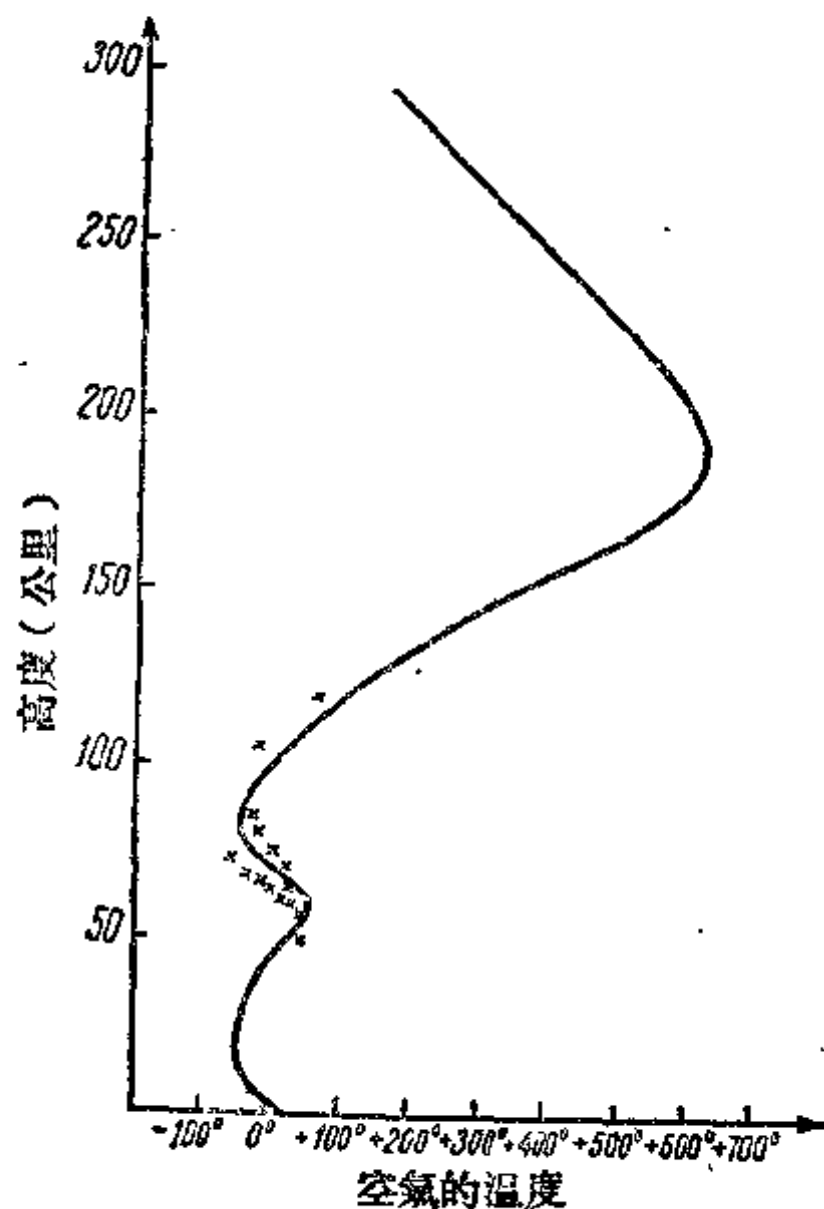


第 八 圖

天文物理觀察所以及蘇聯科學院地球物理研究所在理論方面及基本實驗方面的研究工作，蘇聯的科學家們仍佔有領導地位。阿巴斯圖曼觀察所的精確測定使我們能於 1946 年決定高達 250 公里以上的空氣的密度。由這些密度的數值計算出空氣的溫度：在高度 200 公里處，溫度達到 $+600^{\circ}$ 。

因此，不久之前仍存在着的，認為大氣的高層很冷的意見，現在是被否定了。由於觀察隕星（墜落的星球）的光芒，又得到重要的結果。從兩個地方同時攝取隕星的像，使我們能夠決定在

隕星軌道上各點，隕星的高度，速度及亮度。隕星乃是一固體塊，從行星間的空間以高速（每秒 40 公里以上）飛入地球的大氣內。由於與空氣相摩擦，隕星變得如此之熱，以致發出輝耀的光芒並迅速地燃盡。藉助於隕星發光的觀察及這些數據的整理，結果能夠計算出，在隕星燃燒及燃盡的各點及在隕星亮度最大的



第九圖

各點（這些點係在 40 及 110 公里之間），空氣的密度。用這方法所得到的空氣密度的數值，與用間接的黃昏觀察法所得到的數值，極相符合。

最後，在過去的 6—8 年中，藉助於觀察無線電波的反射，完成了一系列的高層空氣密度的測定。這一切彼此一致的方法使我們能夠構造出同溫層高層的溫度的圖形（第九圖）。60 公里以上溫度開始降低，在 80 公里處溫度達到一極小值。然而在 80 公里以上，溫度又迅速地增加，這溫度的升高直到 200 公里處才停止。

但是在 100 公里以上，我們就進入了一特殊區域——游離層。

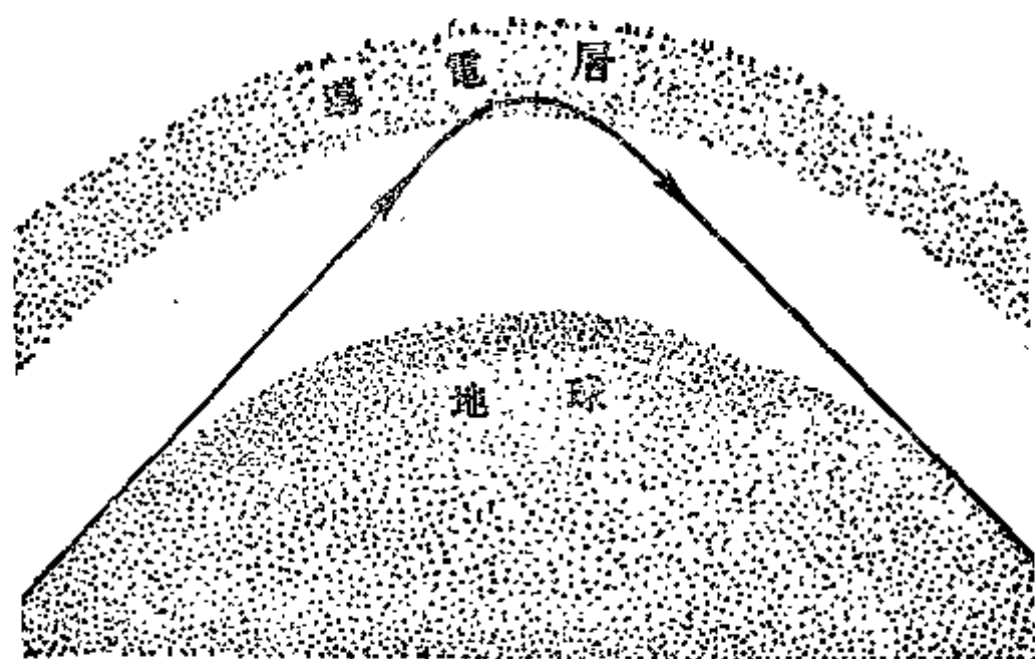
游離層

六十五年前，爲了說明地球磁場強度的晝夜變化，曾發生了這樣的一個思想，在地球大氣的極高層某處可能存在着一個具有很強導電性的空氣層。由於白天太陽的加熱使大氣膨脹及晚上的收縮，這一層是在垂直運動中，這時能夠發生一種現象，現在稱之爲『發電機效應』。在地球磁場內運動着的導電層內，發生電流，在這電流的周圍，與在任意有電流通過的導體周圍一樣，形成磁場。這磁場具有晝夜變化的週期性。這磁場加在地球的基本磁場之上，就產生了晝夜的變化。

在一九〇二年又回到這個思想上來，那時，在 A. C. 波波夫

教授於一八九五年發明無線電之後，於一九〇一年無線電信號越過大洋從歐洲傳播到美洲已經成功。以繞射作用來說明在此情形下所發生的無線電波繞地球幾十度的曲折，未能成功。關於計算無線電波繞地球的繞射問題是非常複雜的，僅在3—4年前，經過許多國家的最著名的理論家的四十年的努力之後，這個問題才在院士 B. A. 佛科的第一等的研究中得到嚴格的完善的解決。

在一九〇二年，有一個學說發表，根據這個學說，無線電波在具有很強導電性的高空氣層處被反射。被反射的無線電信號返回地球表面，在地面上又被反射，因為地球及大洋具有很好的導電性。在一九二六年，在實驗方面，以無線電衝擊波的方法，證實了反射層（游離層）的存在。從地球向上發出無線電信號，這信號的持續期小於0.0001秒。大約經過千分之一秒，這信號返回，用示波器能夠觀察這信號的到來。由反射信號的落後時間，我們能夠判斷反射層至地球的距離。這樣，我們發現了幾個反射層：E層的高度為100公里，F層的高度為250—300公里，F層有時又分為兩層： E_1 及 E_2 。此外，在50—70公里高處存在着一個弱反射層D，D層僅對於最長的（幾公里的）無線電波發生作用。由於導電層的存在，無線電波在地球上空的傳播，就好像在一個球形容電器（第十圖）內，即在同心的導電層（地球的表面或海洋及游離層）中傳播一樣。結果接收的距離大大地增加。



第十圖

存在於反射層內的自由電子及離子，即反射層內的空氣被離子化，決定了反射層的導電性。游離層內不同高度處，離子及電子的密度與無線電波傳播於遠距離有決定性的關係。這密度的測定乃是游離層物理學及無線電物理學的基本問題。這密度的測定係用臨界反射波的方法。如果在一定的反射層中，帶電質點的密度一定，則這反射層能夠反射任意的，波長不小於某一臨界值的無線電波，這臨界波長係與密度有關係。觀察無線電衝擊波的反射，並逐漸地減短無線電波的波長，至某一波長時，在示波器上不能再觀察到返回的衝擊波。在實驗方面能夠很精確地測定臨界反射波之值。反射層內的離子及電子的密度愈大，則臨界波愈短。時常地對於F層的反射，臨界波為45—50米，而對於E層則為200米。這些數目字表明，在F層中帶電質點的密度要

比E層大得多。

我們必須指出，離子化的程度，甚至在F層中，也是十分小的。根據無線電波的反射已確定，在高約 250 公里處的F層中，每立方厘米的空氣中大約存在有二百六十萬個電子。但是，用我們已知道的黃昏觀察法來測定在此高度處空氣的密度，所得之結果為 10^{-11} 克/厘米³，即每立方厘米中約含有 $2 \cdot 10^{11}$ 個分子。因此，在F層中，在十萬個分子中僅有一個電子。在E層中電子所佔的部份就相對地更少些。但是這樣的離子化就足夠產生一切使遠距離無線電通訊可能的顯著現象。

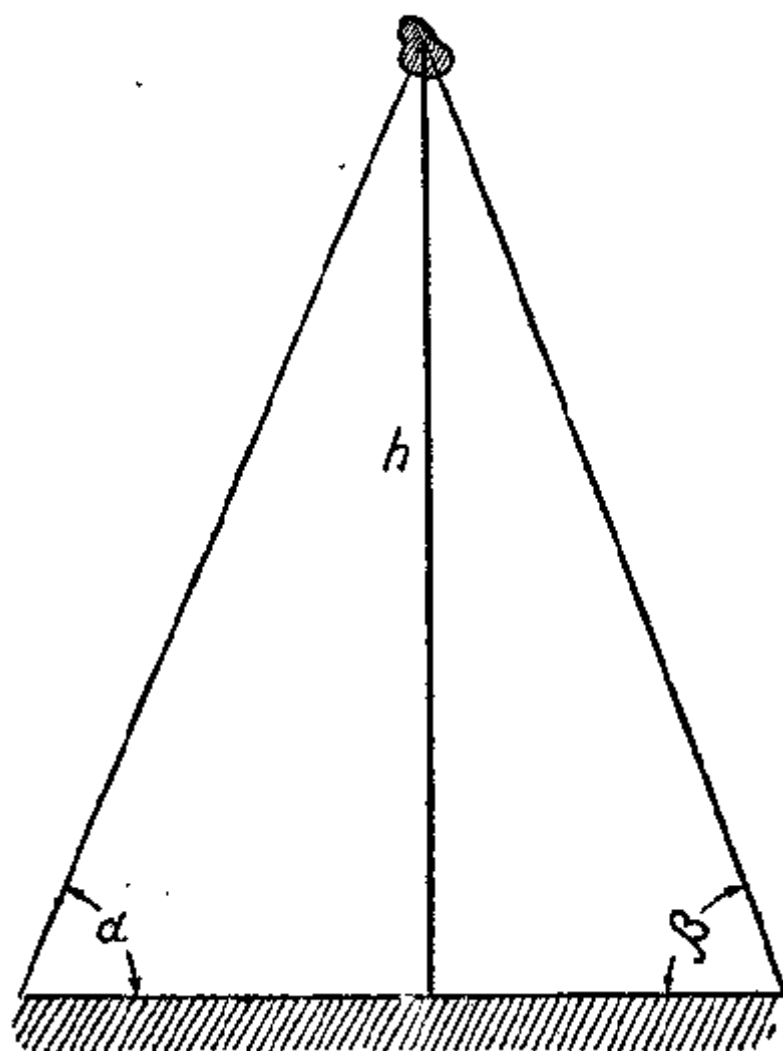
游離層內空氣的組成及垂直混合問題

由此可知，就同溫層這字的本意來講，同溫層的終止約在高度 100 公里處，再往上去就是游離層。

大自然使我們能夠藉助於極光之光譜及夜天光之光譜研究而決定高度在一百公里以上處空氣的組成。極光乃是美麗而宏壯的自然現象之一（見卷首之彩色圖）。在兩個相距為 10—50 公里的地方同時攝取極光的像，能夠決定極光的高度。第十一圖說明這測定高度的基本方法的要點。結果表示，極光的下邊從未下降到 100 公里之下，而上邊則伸展到 250—400 公里的高度，在少數情形中甚至伸到 800—1000 公里的高度。

在實驗室內決定氣體化學組成的特殊方法是通過氣體放電，使氣體發光。由光譜的研究，能得到精確的，關於氣體組成的

知識。極光表示空氣的發光，與放電所引起的氣體發光相同。極光光譜的研究使我們能夠測定高度在100公里以上處空氣的組成。



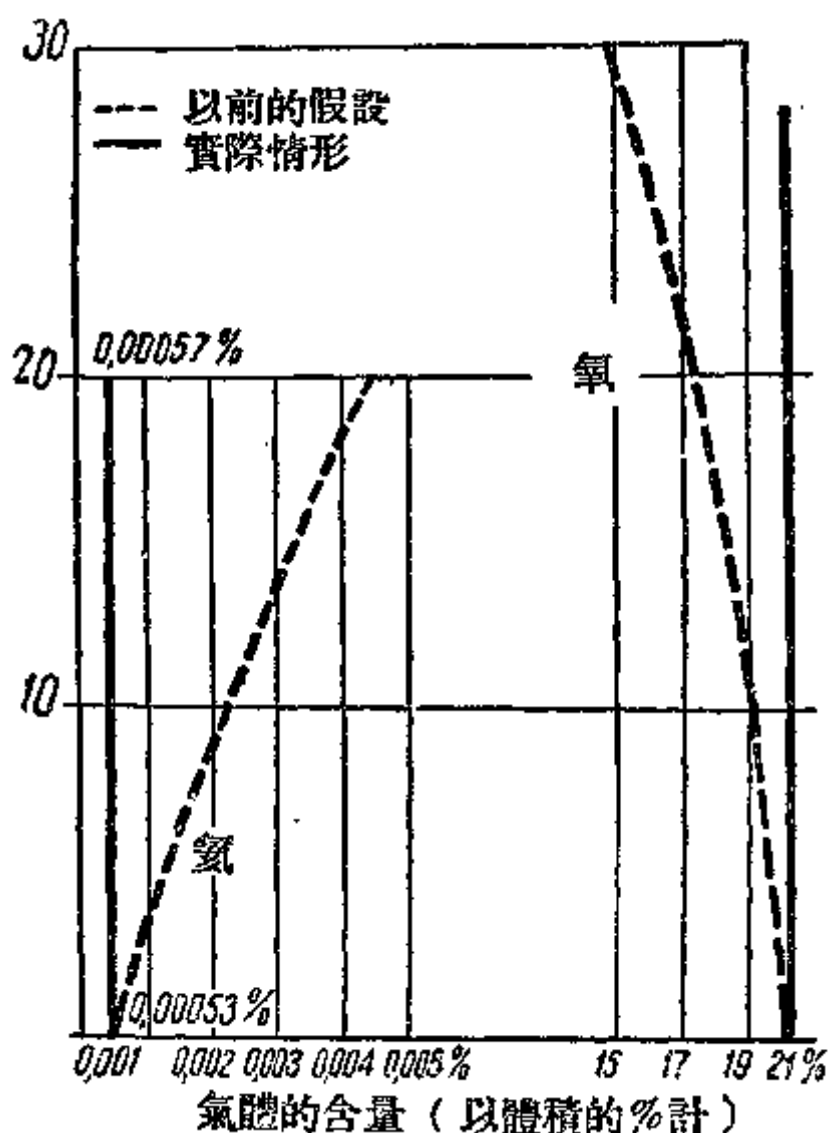
第十圖

三十年前發現了另外一種重要的自然現象，稱為夜天光（即夜間天空之光）。測定及計算已證實，在無月的晴朗夜間，夜天的亮度比「應有」的亮度大2—3倍，即比用一切星球的光所能說明的要大2—3倍。已經證實，空氣的高層，大體看來是130—

180 公里這一層，是在不停地發光。這種光的性質，到現在為止尚未完全明瞭。研究這種光的光譜，能夠測定在地球任意部份的上方，大氣高層空氣的組成，而不像在極光的情形中，僅能測定極區上方空氣的組成。研究的結果證明，甚至在最高層，空氣的組成也以氧及氮為主，與在下層相同。這結果是出乎我們意料之外的，因為以前，按照流體靜力學的基本假設（由此假設得出有名的『氣壓的』公式），認為在高層應該是輕的氣體佔統治地位，認為游離層應該是幾乎純粹的氫氣。現在已經證明，在同溫層及游離層中，在任何情形下，作為一定的顯著成分來看，氫氣是不存在的。因此，在一切的高度處，大氣都是『混合的』。這個結果並不可驚，因為按照同溫層的理論（見上述），在同溫層中應該沒有垂直的混合：同溫層乃是穩定的垂直平衡區域。

『混合的』大氣問題乃是現代地球物理學的迫切問題。在過去的幾年內曾從事於複雜的空氣樣品的分析，這些樣品係取自世界各地，取自不同的高度，直到二十九公里。主要地研究了氧氣（重的氣體）及氮氣（輕的氣體）的含量。至二十公里的高度，氧氣的含量仍嚴格地保持相同：佔總體積的 20.9%。二十公里以上氧氣的含量稍有減少：在高度二十八公里半處氧氣之含量為 20.4%（第十二圖）。在地球表面附近，氮氣的含量為 0.00052%，而在高度二十五公里處，氮氣佔 0.00054%。說明同溫層及游離層內空氣垂直混合的機械作用，乃是地球物理學家的迫切問題。當然，同溫層的垂直穩定性的溫度標準（見上述）

是不完善的。尚必須考慮空氣的水平運動，因為我們以下將看到，在同溫層及游離層中存在着速度很大的、定常的空氣流。



第十二圖

游離層與太陽

極光及夜天光的光譜顯示出，在游離層內，氧氣完全被解離。但在過去的3—5年內出現了關於氮氣部份解離的情況，這

個問題仍在討論之中。

究竟是什麼東西維持游離層內空氣的定常解離及離子化？太陽的輻射。當太陽的大黑點通過太陽的中央子午線時，大氣高層的離子化加強，因此產生無線電通訊的破壞，地磁暴變與特殊明亮的極光。但是，太陽的那種射線產生離子化及解離？是紫外線呢，還是微粒射線呢？這是現代天文物理學及地球物理學的中心問題之一，現在正在努力研究這個問題。這兩種射線都有其根據。

爲了解決這個問題，自一九三二年起，當日蝕時作了專門的觀察，不僅爲了觀察光學蝕，並且爲了觀察微粒蝕。光線自太陽至地球需時約九分鐘，而太陽所拋射出的微粒則需時一晝夜多。因此，光學蝕的時刻與微粒蝕的時刻相差一晝夜多。

藉助於無線電波，已經利用了十幾次的日蝕來觀察光學蝕及微粒蝕時離子化的變化情形。已經毫無疑問地確定了紫外線對於F層的積極作用（當光學蝕時，離子化減少10—20%）。觀察微粒射線的影響未能成功。但是一九四五年七月九日，И. И. 阿利皮特及 В. И. 哥洛揚金在莫斯科近郊的日蝕觀察，能夠作出關於太陽的微粒流（此微粒流以每秒400—600公里以上的速度飛行）的影響的結論。

爲了說明太陽的射線對於游離層的解離及離子化作用的基本情況，將來於日蝕時尚需用最新式的儀器來作一系列的觀察。

同溫層內的風

在大氣高層內空氣流動的研究，在實際方面及理論方面，都是很重要的問題。普遍的大氣循環理論的發展乃是大氣運動學說的基礎，天氣預告學的理論基礎；乃是遠程大礮，火箭飛行及音響測距等的要求。這一切都需要關於在地球上各點，在不同高度處，與晝夜及季節有關係的，空氣運動速度及方向的知識。地球物理學尚缺乏必需的材料，而這些材料的獲得乃是一個迫切的工作。

到現在為止，研究同溫層內的風有下述的幾個方法。首先是銀色雲的觀察。在太陽落下之後或升起之前有時能夠看到這樣的雲。在兩個相距充分遠的地方同時照像，並精確地測定照像機的視角，結果如蘇聯科學家們所首先確定的，銀色雲的位置總是在幾乎不變的高度處，80—83 公里（顯然，這高度的一定是與恰在此高度處開始的，一定的，強力的溫度逆轉的存在有關係的，見上述）。這測定指示出銀色雲的迅速運動，並能測定其速度。

其次，應當指出隕星軌道的研究。隕星（墜落的星球）時常保有一個發光的軌道，有時在相當長的時間內能夠看見這軌道。通常發生隕星軌道的偏傾，從一定的基地的兩端作隕星軌道的角度的照像，能夠決定在不同高度處風的速度及方向。

最近，由於無線電觀察，得到一些關於游離層內高離子密度

『雲』的運動的知識。

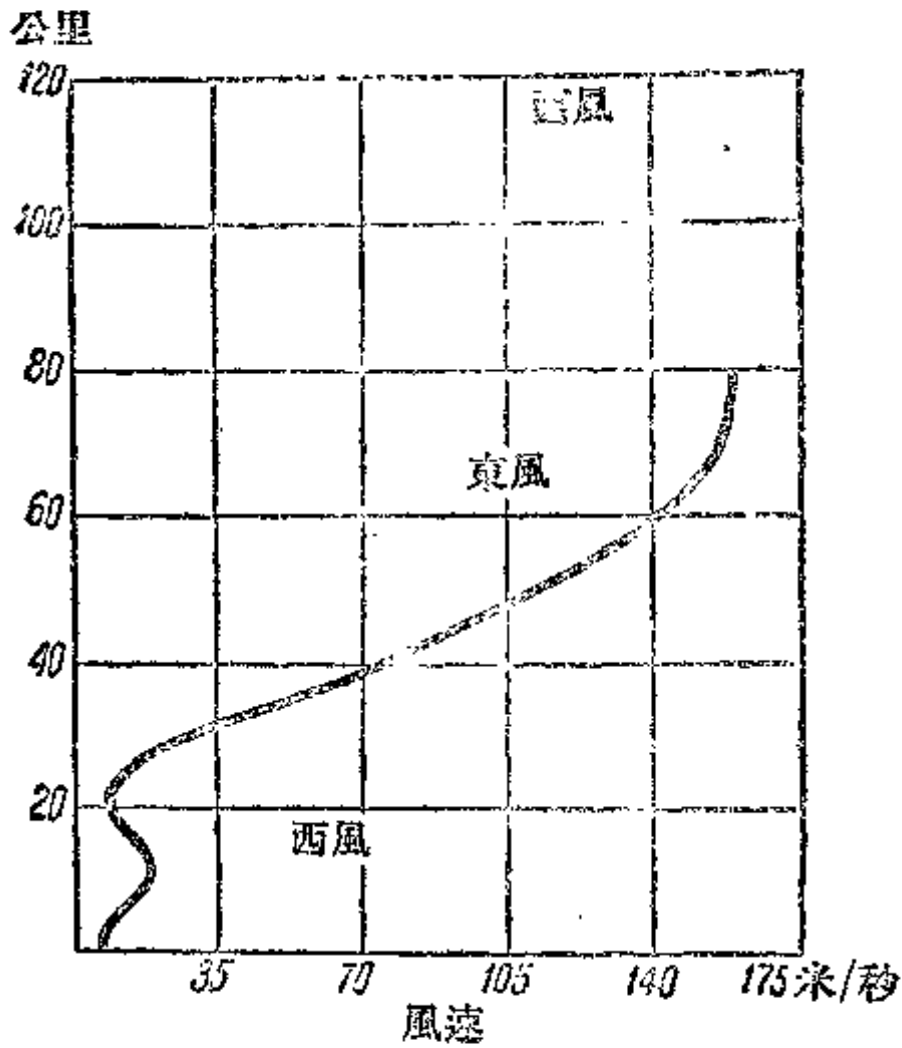
以聲學的方法測定強烈爆發時反常聽聞區域的形狀，能給我們許多重要的材料，雖然這方法尚未得到充分的發展。這複雜現象的極嚴密的理論為蘇聯的地球物理學家們所有（C. B. 遲比索夫教授等人）。

最後，在一九四六年，英國人將特製的發煙礮彈從高射礮中射出（高達三十公里），對於這時所形成的煙底偏傾情形，作了一系列的觀察。

在大氣的不同高度處存在着強大的，有規律的空氣流，這已被確定。這裏有一個典型的圖表，某些材料可以安置在此圖中（第十三圖）

在變溫層內，風速隨高度而增加，至變溫中止層附近達到最大值 20—25 米/秒，並且在此高度處有優勢的風向。在同溫層內，開始時風速隨高度而迅速減小，至高度 19—22 公里處有最小值 6—8 米/秒。但在更高層中風速迅速地加強：在高度 40 公里處為 70 米/秒，在高度 60 公里處為 140 米/秒。強烈的溫度逆轉係從 80 公里處開始（見上述），這溫度的逆轉，在某一方面，可能有『第二變溫中止層』的作用。在任何情況下，在這裏風速達到自己的最大值（160 米/秒），很可能在更高層處風速減小。

在『第二變溫中止層』內，風的優勢方向恰好與原有的變溫中止層內的風向相反。很可能這兩個變溫中止層在同溫層內



第 十 三 圖

構成一重要的閉循環圖形。爲了質量的平衡，上方的變溫中止層必須有很大的速度，因爲空氣的密度係隨高度而減小。

大氣的上限

末了，我們看一下下面的問題：嚴格說來，地球大氣終止於何處？地球大氣的上限在何處？

在高層處，空氣密度逐漸減小趨近於零。在 300 公里高處，

空氣密度比在地球表面處的空氣密度要小十萬萬倍。很顯然，一定的空氣邊界是不存在的。但能夠指出，在 1000 公里的高度處，空氣仍顯明地存在（極光及無線電波的反射）。然而關於比這更高的各層內的規則現象，我們毫無所知。大概在 1000 公里處，能接受研究並能夠藉某種現象而顯示出自己的存在的空氣層就終止了。這一層，我們現在應該認為是大氣的上限。

* * * *

大氣高層構造的一般輪廓及現代科學研究它們的方法的大致情形就是這樣。

有關大氣高層構造的材料對於自然科學有寶貴的貢獻。同溫層不再是神祕的了。有系統地，精確地研究幾十公里乃至幾百公里高的空氣層，在二十年前看起來似乎是不可能的，但現在已成為事實。我們蘇聯的科學在這方面有了很大的貢獻。作為自己的社會主義祖國的忠實愛國者，蘇聯的科學家在孜孜不倦地工作着。他們參加了蘇聯人民的共同勞動，以自己的力量促進共產主義社會的迅速建設，在自己的布爾什維克黨的領導下，在偉大的斯大林的領導下，我們正朝着共產主義社會邁進。

文 獻

Молчанов П. А.: 大氣, 蘇聯科學院出版局, 1938。

Святский Д. О.: 同溫層是什麼, 國家技術理論文獻出版局, 1935。

Молчанов П. А.: 變溫層及同溫層, 國家技術理論文獻出版局, 1934。

Виткевич В. И.: 同溫層, 其基本性質及研究方法, 1936。

蘇聯科學院: 全蘇同溫層研究會議之報告, 蘇聯科學院出版局, 1935。

Хвостиков И. А.: 夜間天空之光, 蘇聯科學院出版局, 第二版, 1928。

Хвостиков И. А.: 地球大氣物理學綱要, 物理科學的成就, 第 XIX 卷, 第一, 第二期, 1937。

Штауде Н. М.: 同溫層高層的研究方法——黃昏的光度觀察, 蘇聯科學院同溫層研究委員會的報告, 卷 I, 1936。

Колобков Н. В.: 大氣高層的構造, 朱可夫斯基空軍工程學院出版, 1948。

Альперт Я. Л.: 游離層問題研究的近代情況, 物理科學的成就, 第 XXXVI 卷, 第一期, 1948。

Альперт Я. Л.: 游離層內無線電波的傳播, 國家技術理論

文獻出版局, 1947。

Лсвин Б. Ю.: 以隕星法研究大氣高層的密度, 物理科學的成就, 第 XXXIV 卷, 第四期, 1948。

[G e n e r a l I n f o r m a t i o n]

书名 = 大气高层的构造

作者 =

页数 = 36

SS号 = 0

出版日期 =

封面页
书名页
版权页
前言页
目录页
引言
同温层
同温层的理论
同温层内的水蒸气
同温层内的臭氧
大气高层的温度
游离层
游离层内空气的组成及垂直混合问题
游离层与太阳
同温层内的风
大气的上限
附录页