

高等学校教学用书

气象学教程

第一册

И. И. 特維尔斯戈伊等著

商务印书馆

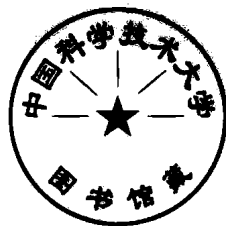
高等學校教學用書



氣象學教程

第一冊

П. Н. 特維爾斯戈伊等著
仇永炎等譯



商務印書館



本書係根據蘇聯水文氣象出版社(Гидрометеорологическое издательство)出版的特維爾斯戈伊(П. Н. Тверской)等合著的“氣象學教程”(Курс Метеорологии)1951年版譯出。原書是按照蘇聯高等教育部審訂的水文氣象學院及大學數理系之教學大綱編寫的,並經蘇聯高等教育部審定為水文氣象學院及綜合大學物理系教學參考書。

本書中譯本分三冊出版。第一冊的內容包括大氣概論及輻射兩部分;第二冊包括熱力情況、水的作用及動力學;第三冊為天氣、大氣電學、大氣光學及聲學。

本冊第七、第八及第十一章是分別由延漢同志(南京大學氣象系)、江愛良同志(科學院地球物理研究所)及唐知愚同志(北京大學物理系氣象專業)翻譯,其餘各章均由北京大學仇永炎同志譯出。

參加校訂工作的有延漢、顧鈞禧(中央氣象局)及仇永炎三位同志。

气象学教程

第一册

仇永炎等譯

★ 版权所有 ★

商务印书馆出版

上海河南中路二一一号

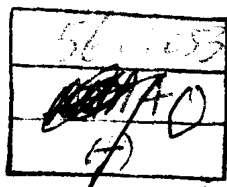
(上海市書刊出版業營業許可証出字第〇二五号)

新华书店总经售

京华印书局印刷

1953年12月初版
1955年3月再版
1957年3月出版一次印刷
印張 10⁸/16

開本 850×1168¹/₃₂
字數 70,000
印數 8,701—11,200
定價(8) 1.20



序 言

蘇聯氣象學同其他科學一樣，隨着社會主義建設的成就以及國民經濟的實際要求，已進入蓬勃發展的階段。由於要實現斯大林改造自然計劃及建設共產主義，所以，放在我們祖國氣象學界面前的是一個極重大的任務。

近代氣象學就其本身內容而論，已是一門如此淵博的科學，以致要在一部書內詳情細節地闡明其全部是絕對不可能的。

作者認為本書的主要宗旨是在闡明氣象學基本問題的物理方面，熟悉了這些知識，才能對氣象學作更深入的研究。

本書供為按照蘇聯高教部製定的水文氣象學院及大學數理系之教學大綱進度的普通氣象學課程(大氣物理)的教學參考書之用。作者以過去在列寧格勒 A. A. 日丹諾夫(A. A. Жданов) 國家大學(該校曾獲得列寧勳章)及列寧格勒水文氣象學院多年任教這門課時的講述教材，作為本書的藍本。書中所討論問題的範圍及詳細的程度，講述的特性，主要地決定於這種情況，而同時這種情況部分地決定了本書的結構。

凡是教學計劃中那些更專門的課程(天氣學、高空氣象學、動力氣象、氣候學)所不討論的，但是對於學生氣象學方面的訓練又是很重要的問題，作者力求較詳盡的說明。然而，由於各種大氣程序間具有着密切關係，所以祇能有條件地使氣象學分為許多部分，有時甚至還要分為獨立學科。這種情況，就使得作者對本書中待述命題的選擇以及命題按篇的編排，遭遇到極大的困難。

因而按照教學計劃，學氣象學課程的學生對於數學及物理已有足夠的知識，所以作者認為廣泛的應用這些數理課目範圍內的知識是可能的。同時本課程又為專業課程的啓蒙課，所以在課程的開端(即第一

篇中)對於以後幾篇待詳細討論的一系列問題預先加以一般的敘述,是完全必要的。

因為蘇維埃學者在氣象學的發展上有着巨大功績,而在研究基本問題上起着主導作用;所以作者就廣泛地應用最近蘇聯學者的論著及研究成果,而且特別注意那些具有實際價值問題的敘述。在書中各篇所引證的文獻目錄內,雖然作者並不希望廣泛地包括許多專門的研究,還是列舉出這些研究著作來。

下面為本書各參加成員所作之工作。

緒論:全體成員參加,主要執筆者為 П. Н. 特維爾斯戈伊 (П. Н. Тверской) 教授。

第一篇(第一——七章):Е. С. 西列茲涅娃(Е. С. Селезнева)副教授

第二篇(第八——十二章):除第十一章及第十二章第五、六及七節為 К. Я. 康拉結葉夫(К. Я. Кондратьев) 副教授所寫外,餘均為 П. Н. 特維爾斯戈伊教授執筆。

第三篇(第十三——十八章):第十三、十四及十七章為 М. И. 尤金(М. И. Юдин)教授執筆,第十五章及第十六章為 К. Я. 康拉結葉夫副教授,而第十八章為 Е. С. 西列茲涅娃副教授執筆。

第四篇(第十九——二十五章):В. В. 基琉興(В. В. Кирюхин)副教授執筆。

第五篇(第二十六——三十一章):第二十六章及第二十八章第一、二及三節為 К. Я. 康拉結葉夫副教授執筆,第二十九及第三十章為 А. С. 茲弗涅夫(А. С. Зверев) 副教授執筆,第三十一章為 М. И. 尤金教授執筆,第二十七章及第二十八章第四節為台上科學工作者 Л. С. 甘金(Л. С. Гандин) 及 А. С. 杜波夫(А. С. Дубов)執筆。

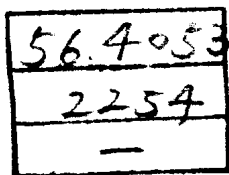
第六篇(第三十二——三十八章):А. С. 茲弗涅夫副教授執筆。

第七篇(第三十九——四十二章),第八篇(第四十三——四十七章)及第九篇(第四十八——四十九章):П. Н. 特維爾斯戈伊教授執筆。

全書的校閱者及整個工作的領導者均爲П. Н. 特維爾斯戈伊教授。

學術委員會及以А. И. 沃耶依科夫(А. И. Воейков)命名的地球物理觀象總台之全體科學工作者,由於對原稿討論時給予友誼的批評,作者謹表示深忱謝意。而同時作者對於С. П. 赫洛摩夫(С. П. Хромов)教授,由於他極關心的批閱原稿及無限可貴的意見,亦表示衷心的感謝。

希望大家對這本教材多提供意見,以幫助作者在最近將來編寫出一本氣象學教科書。



第一冊目錄

序言	i
緒論	1
A. 氣象學的對象與任務	1
§ 1 氣象學的定義	1
§ 2 氣象學與其他科學的聯系、氣象學的實際意義	4
§ 3 氣象學的最主要部門	6
§ 4 氣象學幾個主要發展的階段	9
B. 氣象學上所應用的研究方法	16
§ 1 氣象學所應用的研究方法的一般特徵	16
§ 2 主要氣象要素	18
§ 3 地面氣象觀測	25
§ 4 不同高度上的觀測法	28
§ 5 蘇聯水文氣象業務的組織	33
§ 6 水文氣象站及其主要類型	34

第一篇 大氣概論

第一章 大氣的成分與結構、大氣的最重要特性	37
§ 1 各層大氣中的物理現象	37
§ 2 按物理象徵及理論計算所得的大氣上界	40
§ 3 大氣質量及其垂直分佈	43
§ 4 低層大氣中的空氣成分	45
§ 5 乾空氣的狀態方程	47
§ 6 濕空氣的狀態方程、虛溫	49
§ 7 大氣中的亂流混合	51
§ 8 高層大氣的成分	52
§ 9 空氣組成最易變化的部分、它們的性質及在高度上的分佈	54
§ 10 大氣中的固體雜質及液體雜質	58

§11 大氣垂直分層	66
§12 溫度、密度、氣壓及氣流在大氣中的一般分佈特性	69
§13 對流層中的水平非均一現象、氣圖與鋒	73
第二章 大氣熱力學	77
§ 1 熱力學第一定律在大氣過程中的應用	77
§ 2 乾空氣狀態的絕熱變化	79
§ 3 位溫	82
§ 4 未飽和濕空氣溫度的絕熱變化	84
§ 5 濕絕熱過程	86
§ 6 相當溫度和相當位溫	90
§ 7 乾空氣垂直穩定度的條件	93
§ 8 濕空氣垂直穩定度的條件	97
§ 9 不穩定能量、埃梅圖	99
§10 燭與位溫	101
§11 $T-\phi$ 圖及聲速圖	103
第三章 溫度場	106
§ 1 各緯度上的氣溫、對流層及平流層中溫度的經向變化	106
§ 2 影響於地表面氣溫的因子	108
§ 3 地表面上的平均溫度分佈	109
§ 4 對流層中溫度隨高度的變化	112
§ 5 溫度日變程及年變程	117
§ 6 溫度在時間上的非週期性變化	122
第四章 氣壓場	127
§ 1 靜力學基本方程、壓力高度公式的一般形式	127
§ 2 在均質的、等溫的、多元的及標準大氣中氣壓隨高度的減低	129
§ 3 完全的壓力高度公式	133
§ 4 壓力高度公式所可解決的問題及其近似方程	135
§ 5 單位氣壓高度差及垂直氣壓梯度	137
§ 6 氣壓隨時間的變化	140
§ 7 氣壓分佈圖、氣壓分佈型	144
§ 8 地面及自由大氣中各高度上的平均氣壓分佈	147
第五章 風場	152
§ 1 大氣中氣流的形成	152

§ 2	作用於運行空氣質點之力、風與氣壓場	154
§ 3	地表面氣流分佈	155
§ 4	自由大氣中氣流的分佈	159
第六章 濕度場		164
§ 1	大氣中水氣含量、濕度在地理上的分佈	164
§ 2	濕度沿高度上的分佈	165
§ 3	濕度年變程及日變程	170
第七章 雲、霧、降水		173
§ 1	霧,地理分佈的特點	173
§ 2	雲,它們的國際分類法	175
§ 3	基本雲形的定義及縮寫	179
§ 4	雲的高度和垂直厚度、它們的運動	187
§ 5	地理分佈、雲況的年變程及日變程	190
§ 6	降水及其地理分佈	192

第二篇 輻射能

第八章 大氣中輻射能通量的一般知識		197
§ 1	大氣中輻射能通量	197
§ 2	輻射能的基本知識	199
§ 3	大氣中輻射能的測定法	208
§ 4	太陽、太陽活動	215
§ 5	太陽輻射的光譜、太陽溫度	218
第九章 大氣對於輻射能通量的影響		221
§ 1	大氣中輻射能通量的一般減弱	221
§ 2	大氣中輻射能的選擇吸收	227
§ 3	大氣中輻射能的散射、分子散射	234
§ 4	粗粒對於輻射能的散射	241
§ 5	大氣透明度及其特性	247
第十章 大氣中短波輻射		253
§ 1	太陽常數、確定法、它隨時間的變化	253
§ 2	太陽直接輻射、觀測結果	257
§ 3	太陽輻射的反射作用、反射率	261

§ 4	散射輻射、它的光譜成分	263
§ 5	由理論上討論散射輻射	265
§ 6	晴天散射輻射	268
§ 7	天空有雲時的散射輻射	270
第十一章	地球與大氣的長波輻射	275
§ 1	地表面的長波輻射、大氣和地表面的各個不同地區的輻射特性	275
§ 2	輻射能的傳遞方程	282
§ 3	大氣中長波輻射通量的理論計算	284
§ 4	輻射圖解	287
§ 5	大氣中輻射平衡理論的概念	290
§ 6	地面的有效輻射	293
第十二章	輻射能的收支	300
§ 1	太陽輻射在地表面上的理論分佈	300
§ 2	太陽直接輻射的總和	306
§ 3	散射輻射能的總和	308
§ 4	總輻射	309
§ 5	地面的輻射差額及其地理分佈	315
§ 6	地氣體系的輻射差額	321
§ 7	太陽輻射在工業上的利用	322

緒 論

A. 氣象學的對象與任務

§ 1 氣象學的定義

對於發生於地球上物理現象的總和研究，是廣義的地球物理學的內容。但是，地球物理學的各主要部分按照其中所研究的對象是有本質上的差別的，而且這些部分已發展到這樣的程度，以致有充分的根據分為各個獨立的學科。

氣象學是屬於這些地球物理學的學科中的，它是論述有關於地球外圍的空氣，亦即是地球大氣，及其中所發生的物理過程之科學。

這是氣象學極其廣泛的很概括的定義，所以，它還得需要有更明確一些的定義。

氣象學研究大氣的物理特性，及研究大氣中所發生的物理現象，這些現象是互相聯繫地且與海陸表面相互作用而產生的。幾乎所有這些現象，都是由於自太陽射到地球上的能量變換之後果而發生着及發展着的。同時，這些現象發展的特性當然是視大氣的物理特性而定。所以，在氣象學上首先把大氣當作研究的物質客體來探討它的一般特性：如大氣的範圍、結構、成分、密度等等。其次是研究供給所有我們所觀察到現象的發生及發展之能量的來源及特性。最後，要詳細研究大氣現象的本質從而能夠解釋現象並樹立控制現象發展所服從的規律。

這樣一來，氣象學是將地球大氣及將射入到大氣中能量的交換過程，作為本身研究的對象，這些過程是在大氣中與發生於水圈中及地殼表面一層中的過程相互影響之下而不斷地進行着的。在列寧斯大林的天才著作中所發展的辯證唯物論的應用，使蘇維埃科學家能够深入自然現象的本質，並予這些現象以正確的唯物的解釋。在這方面，蘇維埃科學對於一貫完全以唯心論來解釋自然現象的外國資產階級的科學來講，有着無比的優越性。

讓我們記得列寧英明的話：“……當我們不知道自然規律的時候，它是獨立地在我們的意識之外存在着和作用着，把我們變成‘盲目的必然性’底奴隸”（列寧著：唯物論與經驗批判論，173 頁，1950 出版）。在氣象學中像在其他任何科學中一樣，提出了認識自然底規律的重要任務。只有發掘出控制大氣中所發生的現象關係的規律，才能够掌握它們，在符合於我們願望下改變它們，來保證實用的可能性。列寧也指出認識辯證法之道是，“從具體的觀察到抽象的思維，從抽象的思維回到實踐”（列寧“哲學筆記” 166 頁，1936 出版）。

根據這點，放在氣象學面前的任務，扼要地概述如下：

1. 必須確定一系列的事實，記載大氣中所觀察的現象，同時，不僅從定性方面，而且從定量上說明它們的特性；
2. 找出它們的正確的解釋及確立控制它們發展的規律；
3. 根據所發現的規律，預報與推測大氣中所觀察到的發展過程；
4. 將已發現的規律性，應用到使自然的力量服從於人類合理的意志上去。

在觀察大氣狀態的時候，我們首先注意到：它是時時刻刻很快地變化着的，而且它在地球各個地區上是不均一的。所以，研究在大氣中所發生的現象的時候，其任務不僅僅是解釋所觀察的現象，並且還要把這些現象沿地表面分佈的規律性以及在時間上它們變化的規律性確定起

來。這是具有很大的實際意義的任務，因為這個任務給我們正確地利用圍繞我們環境的情況的可能性，而在必要的時候採用必要的措施以防護大氣過程的有害的作用，並且和它作積極的鬥爭。

同時，由於大氣狀態的變化是極其無常，所以在氣象學中要特別注意到：根據支配着發生於大氣中的過程的已發現規則，來獲得預測在一定時間內這些過程的演變和發展的可能性。

自氣象學剛剛發展時起就在其面前提出了天氣預測的任務，想到這點，人們有時理解氣象學為天氣的科學，這是由於我們把天氣理解為，某一定時刻內，大氣與地面相互作用時和受太陽能的流入量的影響下在大氣中所發生的物理過程所決定的大氣狀態。但是，無疑地，氣象學的內容在這樣的理解下，是大大地受到限制了。

正如前面所述，放在氣象學面前的最終目的，並不祇是在於把大自然的力量用到我們實際的活動中來，也不僅在於用它來保護我們免於自然的災害，而且是在於要我們成為“大自然的主宰”者，而善於支配大自然的力量。我們必須干預大自然的行動——解決改造大自然的命題。在我們國度裏正按照英明的斯大林改造大自然的計劃及朝着建設共產主義的物質技術基礎的方向實現着共產主義的大規模建設，因而更卓越地證明了這個命題。

按照 1948 年 10 月 20 日蘇聯部長會議及聯共（布）中央關於改造蘇聯歐洲部分草原地區和森林草原地帶自然條件的計劃的歷史性決議所進行的工作，以及伏爾加河上、德涅泊河上、阿姆河上之大規模新的水利工程建築及水庫，及伏爾加河兩岸上、沿裏海草原上、土耳其明尼亞上、烏克蘭與克里木地區中灌溉面積達 2500 萬公頃的大規模灌溉系統，後兩項工作都是為執行最近蘇聯部長會議的決議而完成了，——所有這一切都有力地影響到廣大地區的自然地理的條件及氣象的情況。只有在社會主義國家內能够提出並完成這些措施。在實現這些工作中，在蘇維埃氣象學和蘇維埃的氣象學家前面有着巨大而繁重的

任務。

§ 2 氣象學與其他科學的關係、氣象學的實際意義

氣象學與本身特性上有各種不同的現象的極大多數的研究工作有關，它從各種觀點來處理這些現象，並與其他許多自然科學緊密地聯系着。

首先，氣象學和許多地球物理科學相聯系的，尤其是和研究發生於地層的表面及地球水圈中（海洋、湖等等）之物理現象相聯系。這是很明顯地，因為大氣和地表面間不斷地發生熱量與水分的交換過程。氣象學與水文學、海洋物理學等等這類科學有着最密切的關係，與它們之間有着科學上以及實際任務上的許多共同之點。這具體表現在：氣象學和水文學的一般問題的研究可用水文氣象學的概念結合起來。

作為地球物理科學中的一門科學來看，氣象學按其所解決命題的特性乃是物理的科學。M. B. 羅蒙諾梭夫（М. В. Ломоносов）曾說過“人們必須期望由圍繞地球的流體，即是說水與空氣，它們運動的真實理論”，來勝利地解決氣象學的主要問題。實際上，所有大氣運動的問題、大氣溫度情況及熱量情況的問題、以及其中水的變態的問題，是根據流體力學和熱力學的一般定理來求解答的；電、光、聲以及其他現象，只有廣泛地利用物理學所對應的部分中所得到的全部數據時，才能進行研究。氣象學所用的方法，正如往後所示，在相當大的程度上也是物理學的方法——這即是首先是觀測，其次是實驗以及數學上的分析法。由於氣象學和物理學有着密切的聯系，所以，我們能夠將氣象學視為物理學許多支派中之一。

因此，氣象學正如所有地球物理的課目一樣，是與地球物理系統中的許多科學密切相關。

事實上，在研究大氣中所發生的變化過程時，我們總是必須注意到，隨着地點的地理位置和其自然地理的情況而定的這些過程，能在地

表面各種不同的地點以各種不同的方式而發展着。

地球的表面彷彿是空氣海洋的底，因為我們可譬喻地以此名稱來叫地球大氣。地球大氣與地表面間有着最緊密的互相作用的地方。只指出這點就够了：地球表面是吸收太陽放射到地球（包括大氣）來的輻射能的主要部分；而地表面使這種能量改變為熱能，然後熱能傳到大氣中去。同時地表面是供給大氣中水蒸汽的泉源，水蒸汽的存在就大大的決定了各種複雜的及各式各樣的氣象現象。

但是，太陽放射出來的熱流在地表面任一地點上是視其地理位置而定，並且時時刻刻隨着地球的自轉及公轉而變。同時地表面對輻射能的吸收，由其將熱能對大氣的傳遞，以及大氣中水汽的進入，是強烈地視區分成大陸和海洋、高山和平原、植物覆蓋和不毛地區等等的地表面性質而定的。這種情形同樣與空氣的運動以及其他的許多現象有關。由此，清楚地知道，不可能脫離自然地理的情況來研究大氣中所發生的一切現象，因為這些現象是在自然地理的情況下發展着，而強烈地隨此情況而不同，並且對於後者同時起着一種反作用。研究自然時，我們必須將其視為一個完整的體系，大氣是體系中同與其餘各項有着最密切的相互作用環節之一。也得記住，人類社會的活動，尤其是我們祖國的有計劃的社會主義社會的活動，大大地改變了自然的條件。

氣象學除了和地球物理學、物理學、地理學以及其他科學有着密切聯系外，還與許多實用的及技術的學科，以及與我們日常的實踐有着不少的密切關係，這顯然是因為大氣是我們整個人類生活於其中的外界介質。恩格斯的話“科學的發生和發展從一開始時起就決定於生產”（恩格斯“自然辯證法”，147頁，1948年版），在氣象學上也正確地得到證實。在我國，氣象學更具有實際的意義，這因為我們的有計劃的國民經濟事業是建築在科學的基礎上，而研究廣大地區的氣候和天氣的情況又是不可少的一部分科學。

計算氣象因子在農業中的影響有着多麼的重要，這是大家所熟知

的事。農作物生長、發展以及歸根結底到收成，都是在頗大的程度內隨着它們在各個發展階段上所得到的熱量、光線、濕度而變的。

按照李森科院士著作中進一步發展的俄羅斯的偉大的學者米丘林學說，植物與其生長所在的環境的情況間有着緊密不可分割的關係。但是如果植物的有機體在它自己發展的過程中隨着它周圍的環境而變的話，那麼相反地，環境的狀態也受到植物的影響而變化着。除去多庫恰葉夫（Докучаев）、卡斯推切夫（Костычев）、威廉士（Вильямс）論土壤形成的學說外，米丘林-李森科的學說，使我們積極地干涉着宇宙萬物：“世界不能滿足人類的要求，那麼人類就以自己的行動去改造它”（列寧“哲學筆記” 204 頁，1936 年版）。

氣象因子對於人們身體的影響也是極其重大的，廣泛利用太陽的光線和氣候條件來醫治各種疾病的事實，是大家都知道的。

大氣的狀況以及其中所發生的現象的估計，對於各種運輸事業的順利工作具有重大的意義。強風、雷暴、雪暴、大霧、雨淞等等現象大大地妨礙了海運和河運以及鐵道運輸工作。但是，大家都知道，研究大氣現象，對於航空事業格外有着重大的意義。

當建設城市以及各種建築物時，例如，當水利工程的建築、風力發動機的建設、電線的建築等等的時候，都必須用到氣象資料。

最後，氣象學在各方面實際運用的情形是不可能一一都列舉出來的，不過上面所說的已經够多方面而廣泛了。所有氣象學實際應用的專門問題，只有根據對大氣及於其中所發生的過程所確定的一般主要規律的深刻研究，才能勝利地獲得解決。這就是我們對這本氣象學課教程所提出的任務。

§ 3 氣象學的最主要部門

由於氣象學所包括問題的範圍很廣泛，同時氣象學所用的解決問題的方法差異很大，使我們可以把它分成許多部門，這些部門按內容方

面是足夠充分，而且具有獨立課目的特性。

氣象學內這樣區分的各個部門，既決定於它的歷史發展過程，同時也決定於它所研究現象的特性，而且它們是可以從各種觀點來劃定的。在目前氣象學的所有部門尚未獲得統一的發展，而在這個問題上亦未取得一致的意見，這就是為什麼我們僅僅限制於對一般特性作簡單解釋的原因。

研究大氣中所發生的現象，主要地要闡釋氣象現象在分佈上和發展中之一般規律，而這些規律是決定於當地自然地理條件的綜合，又具體反映在該地區天氣狀況的多年的特徵上。換句話說，我們對於氣候是很感興趣的。同時，當然，對於地表面各個不同地區上氣候情況的描述應給予極大的注意。爲了這些目的，廣泛地利用氣象觀察的結果，及利用氣象過程中存在的物理規律，我們就要採用專門的方法來研究氣候情況。氣象學中研究氣候的部門稱爲氣候學。氣候學的主要任務是研究氣候形成因素的互相聯繫及相互影響，從而樹立氣候的理論，並研究敘述氣候的方法，利用這些方法，我們可以更好地滿足國民經濟事業中的所有實際諮詢。氣象學中研究氣候學的問題，自其一開始發展時起就引起很大的注意，因而，氣候學是完全獨立科學的課目，與地理學的聯繫較之與氣象學其他所有部門更顯得密切。

此外，我們可以將研究大氣中現象及一般過程的整個的複雜綜合，作爲首要的任務，而這些現象與過程整個地決定了大氣中狀態的變化，即我們所感覺到的天氣變化。天氣和其預測方法的學說爲氣象學中極其重要的、具有獨立的第二部門的內容，此部門稱爲天氣學，而在專門的課程中要詳細地敘述到。

最後，要特別注意到，從物理學方面來研究大氣的過程及現象，揭露支配它們發展的物理定律。這是氣象學中最普遍的第三部門的內容，可稱爲大氣物理學。它包括大氣動力學及熱力學、大氣光學、大氣電學等等。