

高等学校教学用书



大气物理学

上册

A. X. 赫尔吉安著

高等教育出版社

2
22

高等学校教学用书



大 气 物 理 学

上 册

A. X. 赫 尔 吉 安 著

鄒 进 上 等 译

高 等 教 育 出 版 社

高等学校教学用书



大 气 物 理 学

下 册

A. X. 赫 尔 吉 安 著

鄒 进 上 等 译

高 等 教 育 出 版 社

本書系根据苏联技术理論書籍出版社 (Гостехиздат) 1953 年出版的赫尔吉安 (A. X. Хргиан) 著“大气物理学” (Физика атмосферы) 一書譯出。原書曾經苏联文化部审定作为高等学校的教学参考書。

本書中譯本分上、下兩册出版,上册包括緒論、第一章至十二章;下册包括第十三章至廿二章及附录。

参加本書上册翻譯工作的有鄒进上、許紹祖、曹琳等同志,总的校訂和整理工作是由鄒进上同志担任的。

本書可供大学气象系、物理系气象专业的学生們以及气象科学研究工作者們参考之用。

大 气 物 理 学

上 册

A. X. 赫尔吉安著

鄒进上等譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內大街 27 号

(北京市書刊出版業營業登記證出字第 054 号)

人民教育印刷厂印刷 新华书店发行

統一書号 13010·516 開本 787 X 1092 1/16 印張 12 插頁 1

字數 245,900 印數 0901—2,800 定價 (81年) 1.30

1959 年 8 月第 1 版 1959 年 3 月北京第 1 次印刷

本書系根據蘇聯技術理論書籍出版社 (Гостехиздат) 出版的赫爾吉安 (А. X. Хргиан) 著“大氣物理學”(Физика атмосферы)一書1953年版譯出。原書曾經蘇聯文化部審定作為高等學校的教學參考書。本書可以作為大學氣象系、物理系氣象專業的学生們以及氣象科學研究工作者的參考之用。

本書的中譯本分上、下兩冊出版。上冊主要內容為：大氣的組成，大氣靜力學和熱力學；輻射，溫度的時空分布及其探測方法等。下冊主要內容為：雲霧降水物理學，大氣運動學與動力學，天氣學等部分。

本書第十七章為許紹祖同志所譯；第149節和第152—156節為王德瀚同志所譯；其餘諸章及附錄為鄒進上同志所譯。全書的統一校訂整理工作是由鄒進上同志擔任的。

大 氣 物 理 學

下 冊

A. X. 赫爾吉安著

鄒進上等譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內大街27號

(北京市書刊出版業營業登記證出字第054號)

人民教育印刷廠印刷 新華書店發行

統一書號13010-588 開本787×1092 1/16 印張18 插頁2

字數271000 印數0001—3200 定價(6) 1.30

1959年5月第1版 1959年5月北京第1次印刷

13010-588

上册目录

緒論	1
----------	---

第一章 大气成分

§ 1. 基本数据	9	§ 7. 从极光光谱中所获得的关于 高层大气成分的资料	16
§ 2. 气体区分理论	9	§ 8. 地球大气中的氢氧化物	18
§ 3. 氧	13	§ 9. 气体从地球大气的逃逸	20
§ 4. 氮及其他惰性气体	14	§ 10. 地球的气尾	22
§ 5. 碳酸气	14		
§ 6. 大气中的钠	15		

第二章 臭氧

§ 11. 臭氧在大气过程中的作用	23	§ 13. 控制大气中臭氧分布的物理过程	27
§ 12. 大气中臭氧的分布	23	§ 14. 臭氧的水平输送(平流)	31

第三章 大气尘埃

§ 15. 一般数据	33	§ 18. 大气中尘埃分布的理论研究	39
§ 16. 尘埃的沉降	36	§ 19. 尘埃和砂的输送、沙丘	41
§ 17. 空气乱流及其对尘埃分布的意义	37		

第四章 水汽

§ 20. 测量单位	45	§ 22. 近地层内的湿度分布	49
§ 21. 湿度的铅直分布	47		

第五章 大气静力学的基本规律。气压

§ 23. 空气的状态方程	53	§ 27. 大高度用的压高公式	63
§ 24. 气压与海拔高度的依赖关系	54	§ 28. 海平面上的气压	65
§ 25. 应用压高公式的某些例子	58	§ 29. 气压的日变化	69
§ 26. 地球重力位势的压高公式	60		

第六章 大气中的绝热过程

§ 30. 干绝热过程	71	§ 35. 焚风	78
§ 31. 露	73	§ 36. 大气中的热力学稳定度	79
§ 32. 湿绝热过程	74	§ 37. 大气中的不稳定能量蕴藏量	81
§ 33. 绝热图(热力学图)	76	§ 38. 和绝热过程差别不大的过程	81
§ 34. 凝结高度	77	§ 39. 根据薄层法来决定不稳定度	82

第七章 大气中的辐射过程。太阳辐射

§ 40. 辐射定律	84	§ 44. 太阳光线在大气中的途程长度	90
§ 41. 假定没有大气时地面上太阳热的分布	88	§ 45. 到达地表面的太阳辐射	103
§ 42. 气候的长年变迁	94	§ 46. 太阳的散射辐射	105
§ 43. 太阳光线在地球大气中的吸收和散射	96	§ 47. 地面的反射率	107

第八章 地面和大气的辐射

§ 48. 地面辐射的本質	110	§ 52. 不同角度下的辐射 (向天空不同部分的辐射)	117
§ 49. 大气中长波辐射的吸收与放射	111	§ 53. 辐射平衡	118
§ 50. 辐射的观测结果	113		
§ 51. 有效辐射总量	116		

第九章 土壤和水的上层中的热量交换

- | | |
|--------------------------------|------------------------------|
| § 54. 土壤中热量传播的理论基础119 | § 57. 人工影响土壤温度的可能性 128 |
| § 55. 自然条件下土温的年变程与日变程124 | § 58. 永冻 131 |
| § 56. 雪被和土壤温度126 | § 59. 海洋表面层中的热量交换 134 |

第十章 低层大气中的温度分布

- | | |
|---|--------------------------------|
| § 60. 关于来自太阳的热量在分布上的
若干理论知识136 | § 64. 山地温度及其与地形的依赖关系 147 |
| § 61. 由于海流而引起的热量输送138 | § 65. 温度年变程149 |
| § 62. 大气中海陆之间的热量交换142 | § 66. 温度的非周期性变动151 |
| § 63. 地球上气温的一般分布145 | § 67. 植物对气温的影响151 |
| | § 68. 霜冻153 |

第十一章 大气中的辐射平衡和热量平衡以及温度随高度的分布

- | | |
|----------------------------|---------------------------|
| § 69. 辐射平衡理论的研究方法159 | § 71. 自由大气中温度的分布169 |
| § 70. 温度的日变程164 | § 72. 逆温173 |

第十二章 高层大气的温度

- | | |
|---------------------------------|---------------------------|
| § 73. 关于稀薄气体中温度的概念177 | § 77. 利用火箭的观测184 |
| § 74. 决定温度的声学方法178 | § 78. 电离层观测185 |
| § 75. 根据流星观测来决定高层大气的温度180 | § 79. 结论。上层大气的层次186 |
| § 76. 光学的方法183 | |

下册目录

第十三章 蒸發

- | | |
|---------------------------|-----------------------------|
| § 80. 蒸發的分子运动理論189 | § 84. 土壤的蒸發197 |
| § 81. 水汽的扩散过程191 | § 85. 蒸發和空气湿度的日变化199 |
| § 82. 有限面积上的蒸發193 | § 86. 灌溉空間对空气湿度的影响200 |
| § 83. 自然条件下的水面蒸發196 | |

第十四章 大气中水汽的凝結与凝华

- | | |
|-------------------------------|-----------------------------|
| § 87. 饱和水汽压201 | § 90. 关于凝結核数目的若干数据208 |
| § 88. 作为凝結和凝华原因的空气冷却204 | § 91. 冻結核211 |
| § 89. 凝結核206 | |

第十五章 云和霧

- | | |
|-------------------------|----------------------|
| § 92. 云中水的相态212 | § 97. 云量和云高238 |
| § 93. 水云的微結構212 | § 98. 霧240 |
| § 94. 冰云的微結構218 | § 99. 貝母云244 |
| § 95. 云状的分类219 | § 100. 夜光云244 |
| § 96. 形成云的物理过程223 | |

第十六章 降水的形成

- | | |
|----------------------------------|-------------------------------|
| § 101. 由于凝結而引起的水滴的成長245 | § 106. 水滴合并的几率255 |
| § 102. 水滴的聚合250 | § 107. 轉移凝华或等温凝华257 |
| § 103. 由于水滴下落速度不同而引起的聚合253 | § 108. 关于冰晶成長形式的若干見解259 |
| § 104. 乱流聚合254 | § 109. 人工造云和降水259 |
| § 105. 流体力学力和电力255 | |

第十七章 降水

- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| § 110. 雨和毛毛雨261 | § 113. 地面的降水形式270 |
| § 111. 霪和霰265 | § 114. 飞机积冰274 |
| § 112. 雹268 | § 115. 地球上的降水量274 |

第十八章 風与气流的运动学

- | | |
|-----------------------|------------------------------|
| § 116. 風速277 | § 119. 平均風速的垂直分布281 |
| § 117. 气流的乱流278 | § 120. 平均風速的年变化与日变化284 |
| § 118. 乱流的结构280 | § 121. 流綫与空气質点的軌迹286 |

第十九章 作用于大气的力与大气运动的最簡單形式

- | | |
|----------------------------|---|
| § 122. 气压梯度力与重力289 | § 129. 風的非地轉偏差297 |
| § 123. 地轉偏向力290 | § 130. 摩擦層中風速隨高度的改变的理論298 |
| § 124. 地轉風290 | § 131. 近地層中風速与高度的理論关系301 |
| § 125. 离心力291 | § 132. 由于水平温度梯度而引起的風隨高度的改变302 |
| § 126. 內摩擦力293 | § 133. H. A. 基培尔所提出的关于一般大气运动方程的近似解304 |
| § 127. 乱流摩擦294 | |
| § 128. 大气运动的一般方程式295 | |

第二十章 鋒与气旋

- | | |
|---------------------|----------------------|
| § 134. 气团308 | § 126. 大气的鋒312 |
| § 135. 干旱風310 | § 137. 鋒的發生316 |

§ 138. 暖鋒.....	317	§ 143. 热带气旋.....	330
§ 139. 冷鋒.....	320	§ 144. 反气旋.....	332
§ 140. 锢囚鋒.....	323	§ 145. 气旋与反气旋中的对流頂.....	334
§ 141. 气旋与反气旋的發生.....	323	§ 146. 大气中的能量来源及其轉換.....	335
§ 142. 气旋性环流与反气旋性环流的各种形式.....	328	§ 147. 天气預报.....	338
		§ 148. 長期天气預报.....	345

第二十一章 地方性風

§ 149. 山谷風.....	346	§ 151. 海陆風.....	356
§ 150. 山区的其他風系.....	349		

第二十二章 一般大气环流

§ 152. 与一般环流有关的大气中的温度分布.....	359	§ 156. 平流圈的环流.....	372
§ 153. 热带环流.....	362	§ 157. 一般大气环流理論.....	373
§ 154. 中緯度环流.....	367	§ 158. 季風.....	377
§ 155. 極区上空的环流.....	371		

附录.....382

- I. 溫度在 -50°C 到 $+50^{\circ}\text{C}$ 的情况下, 冰和純水面上空間內的飽和水汽压(E)、比湿(q)、混合比(m)和虚溫差(ΔT_v)。
- II. 在半球上 1 平方厘米的黑体表面在不同溫度下每分鐘所放射的热量。
- III. 天气圖上的各种示意符号。
天气圖上各种資料的填写模式。
850、700、500、300 和 200 毫巴絕對气压形势圖上各种資料的填写模式。

参考文献.....383

緒 論

大气物理学 (Физика атмосферы), 顧名思義, 是研究發生在大气中的物理現象与物理过程的科学, 例如研究热量的吸收与放射、大气的冷却与增暖、大气的运动、呈云雾形式出現的水汽的蒸發与凝結、大气中多种多样的光学現象等等。大气物理学就是研究这些現象之間的相互关系以及这些現象与發生在地球上的地壳和水圈中的过程之間的关系。因此, 大气物理学是地球物理学 (Геофизика) 的一部分, 亦是关于發生在地球上的物理現象的科学的一部分。在开始研究大气現象时, 我們还没有足够区分这些現象的知識, 因此, 那时, 关于大气、关于發生在大气中的一切过程的科学便起了气象学 (Метеорология) 这个名字。但現在却把这个名字用以表示关于大气現象的一切知識的总和。

最初, 人类主要地只能看到發生在与他們最接近的低層大气中的各种現象。随着航空的發展, 便开始在自由大气中进行观测——在那些高層大气中, 大气層的性质并不是直接与地表面的物質和地方性特点相联系的。关于發生在自由大气中的过程的科学和关于它們的研究方法, 在二十世紀初叶, 便称之为高空气象学 (эрология)。

动力气象学 (Динамическая Метеорология) 也是从气象学中分出来的, 它广泛地应用了数学的研究方法。动力气象学的任务是根据流体力学与热力学的基本规律来建立各种大气过程的模式。另一方面, 其他兩門大的科学分支——天气学 (Синоптическая Метеорология) 和气候学 (Климатология)——很久以前已經独立了。前者是利用所謂天气圖方法 (所謂天气圖即是指地理圖, 不过在这張圖上表示有各种物理特征的瞬时分布, 如溫度、气团的运动等等) 来研究天气現象及其预报方法。后者的任务是在于描述和說明世界气候体系与自然地理条件之間的紧密联系。近十年来, 气象学的基本內容, 已經有了重大的变化。研究和解釋發生在大气中的过程的气象学, 在很大程度上, 等是利用物理规律和近代的物理研究方法。总起来說, 任何研究方法都是更圓入地認識一切大气現象的鑰匙。現在, 气象学愈来愈广泛地采用数学方法来分析各种各样的大气現象以及广泛地利用物理实验, 而且近年来甚至于愈来愈多地討論对于大气过程的积极影响。这一切說明了, 我們完全有权利把近阶段关于大气現象的科学称为大气物理学。

物理研究方法分別应用到地球物理学的相邻部門——气候学与天气学 (关于天气学与气候学我們在前面业已說过)——也愈来愈多。这两門科学分支以在自己的工作领域中广泛地利用着大气物理学的一些规律与結論, 因此, 有时在它們之間很难划分出准确的界限。然而, 在講授这些課程时, 却总是分开來講的; 而在本書中我們只是部分地接触到天气学、动力气象和气候年諸方面。

在本書中我們也不拟討論大气光学, 大气声学和大气电学問題。因为这些問題在近代大气科学中占有很大的篇幅, 并且应该以專書来叙述它們。

大气物理学是跟水区和陆地水文学以及海洋物理学相联系的。降水的下落与蒸發过程,如同河中徑流及地下徑流一样,是大陆、河川与海洋之間經常的水分交換的具体表現。大气中以及地球水圈內的很多現象均与这种水分交換有关。大洋中的热量交換現象就是这样实现的,冷暖洋流决定着水与大气之間經常的热量交換。正如洪水、冰冻和河海解冻等等的預报一样,大气状态和水文現象的观测也是紧密关联的。由于这两个科学部門的紧密关系,因而在苏联(在別的国家內亦与苏联相似)便有统一的机构——苏联水文气象局——来从事于这些科学的發展工作。

一般說来,在大气物理学中,也正如在地球物理学中一样,必須参与地理因素、利用地理資料。因为大气中的很多現象均决定于地理緯度、下垫面的性質——地形、植物的特性、土壤的性質等等。

大气物理学是描述地球上各个地方的大气現象及其特征的科学,同时它还要探求大气現象發生的原因和起源以及闡明它們相互之間的質和量的关系。例如,知道了白天的太阳热流入量,便可以計算气温的日变化;白天溫度的升高和由于溫度升高而引起的風的加强一道又加强土壤表面的蒸發,加强某一高度上积云的形成,而云量又可以影响到达地表面的太阳热流入量。相似地,大气物理学是研究大气中的水汽凝結过程、最小云滴或冰晶的形成过程、云滴和冰晶的增大过程以及由云中下落并从云中排除一部分水汽的大雪花和大雨滴或快或慢的形成过程。云滴或冰晶的形成过程是决定于空气的湿度以及空气中凝結核的存在。这些类似的关系不难研究,結果可以安放在一定的方程組內,这些类似的关系也可能服从計算。数学物理方法不仅可以研究大气現象,而且还可以預測这些大气現象。因而大气的科学愈来愈变成更加精密的自然科学的一部分,正如唯物辯証主义所教导我們的一样,“…自然科学本身也因为說明了自然界本身中所存在的各个研究部門之間的联系而由經驗的科学变成了理論的科学,并且由于把所得到的成果加以概括化,又轉化成了唯物論的自然認識体系。”^①

站在唯心主义立場的近代资产阶级的地球物理学有时断言:大气現象的規律只能部分地被認識,而其中一定有“不可知的要素”存在,例如某些“不可估量”的因素,它会严重地影响天气变化,但这些因素却是无法研究的。苏联地球物理学完全摒弃了这些論点并依靠辯証唯物主义的原則:即我們的知識在科学發展的某种程度上是有其局限性的,亦即是相对的。“我們的知識对于客观的絕對的真理的接近界限,是历史性地有条件的,但这个真理的存在是无条件的。我們之逐漸接近于它也是无条件的”^②,因而“世界上沒有不可認識的东西,而只有現在还没有被認識的东西,它将由于科学与实践的力量而被發現和認識”^③。

由于实际的需要以及人类經常需要使自己的活动与天气相适应,因而很早就有了气象学。一切农业工作,特别是巨大的集体农庄与国营农場的生产必須和春季土壤、雪被中的水

① 恩格斯:“自然辯証法”,中譯本第161頁,人民出版社,1955。

② B. H. 列宁:“唯物論与經驗批判論”中譯本168頁,人民出版社,1953。

③ H. B. 斯大林:“論辯証唯物主义与历史唯物主义”。

分貯存、土壤溫度、耕刈或收获的最好時間等資料有机地联系着。作物及其品种的选择，正如作物的耕作地区一样，也与气候条件有关。同时現在我們不只是限于簡單地与天气条件相适应，而是要積極地改造气候。例如苏联学者指出：積極地利用自然力量，特别是利用大气的性質，为社会主义建設謀福利是完全可能的。在干旱地区大面积灌溉、植林、土壤改良、沼澤的干涸以及在苏联大規模施行的很多其他措施，最主要的目的之一是改善气候条件。有計劃地改变人类生活的自然条件，便会生長各种作物等等。我們的任务就在于諸如此类地利用这些自然現象，大气物理学已為我們指出了解决这一問題的途徑。

大气物理学的結論与資料已应用到我們的經濟建設各个方面。有时我們的铁路运输工作由于一系列的不可抗拒的自然力而發生困难，例如雪堆、沙堆、雨淞、永冻、洪水等等会引起道路的破坏。海上运输工作和天气現象、大風与弱風的存在、海霧的存在、冰被以及很多其他現象的关系更加密切。所有航空活动都是与發生在大气中的現象相关联的——与云的性質及其存在，風及空气的鉛直运动，大气透明度的大小等等相关联。因此，实际上，这些問題的解决都迫切地需要研究一系列的大气現象。

人类对大气現象的研究很久就开始了。在古代的初民和航海者們就注意到了暑寒的交替，風、云与降水的变化以及其他現象。从太古到現在有过很多关于天气及其演变規律的民間傳說、民間俚諺和征候：例如旧俄罗斯的征候正确地肯定：“夏东風(东北風)，夏季晴朗冬季大寒冻，冬东風(东南風)，冬季严寒夏季干烘烘”。

在俄罗斯年鑒中和 15—16 世紀前俄罗斯旅行家手冊中均可以找到很多关于天气的知識。

在第十七世紀曾經發明了第一批觀測大气变化的仪器：溫度表、气压表、雨量計、原始湿度表，那时虽然不是系統地觀測，但总算可以初次开始用仪器觀測了。早在 1726 年在俄罗斯第一次在彼得堡便已开始了許多連續的气象觀測，而在 1739—1784 年，同时觀測天气的整个測站網已經被偉大的北方探險隊在西伯利亞組織起来了。M. B. 罗蒙諾索夫(Ломоносов)，参加了彼得堡的气象觀測，他設計了許多地球物理仪器，其中包括極其完善的風速計，这种風速計不仅适用于測量風壤而且还能記錄風速。他还設計了海洋气体气压表、液体比重計以及若干其他仪器。更重要的是，罗蒙諾索夫清楚地懂得大气科学对于实际生活的意义，他提出了建立天气服务局的計劃并且对于很多大气現象給予了自己的解釋，其中包括大气電現象的起源。

在以后的岁月里，天气觀測在俄罗斯很多地方开始組織起来了，在科学院和大学內的許多学者們开始了实職性的和理論性的大气現象的研究。1804 年 Я. Д. 查哈諾夫(Захаров)院士进行了第一次高空气球的科学飞行。莫斯科大学教授 П. И. 斯特拉霍夫(Страхов)对于放电及其性質进行了多次觀測。在 1808—1809 年 В. В. 彼德諾夫(Петров)院士用实验方法研究了蒸壤的規律。1823—1826 年 Э. X. 林茨(Ленц)在“企业号”帆船上在环球航行的時間內进行了多次海洋地理觀測与气象觀測。Н. И. 罗巴契夫斯基(Лобачевский)在嘉桑(Казань)根据实職提出了热波在土壤中的傳播規律。1847 年，莫斯科大学教授 М. Ф. 斯帕斯基

(Спаский)在“論莫斯科气候”一文中詳細地發展了关于大气中巨大气流的相互作用的学說，由于这种气流的相互作用便决定了天气变化与气候特征；1851年他提出了根据精确的物理学規律来預报天气的理想。

1849年在彼得堡建立了地球物理观象总台，这个观象总台不久便組織了大量的气象測站網并且为气象台站設計和制造了很多仪器，收集、系統地整理和出版了許多气象觀測資料和气候文集。1872年在M. A. 雷卡契夫(Рыкачев)的领导下，观象台建立了天气服务局，在1882—1883年还主持了在所謂第一国际極年内北極区的广泛的地球物理觀測。

与这些活动同时，若干著名的俄罗斯气象学家們的研究工作也發展起来了。十九世紀和二十世紀初叶，偉大的气候学家 A. И. 沃耶依柯夫(Воейков)作了很多关于气候、农业气象的研究，他指出了改善气候的各种方法，宣傳了到目前为止在俄罗斯还很少种植的各种作物，如茶叶、棉花等等的推广問題。在他的“世界气候特别是俄罗斯气候”一書中(1884年)，他第一个根据簡單的物理規律对世界气候体系作了一个完整的說明。就在这个时代里，新科学(土壤学)的奠基者 B. В. 道庫查也夫(Докучаев)研究并开始了与干旱作斗争的整套农业綜合措施。在教德薩新俄罗斯大学，A. В. 克罗索夫斯基(Кросовский)利用專門为他所組織的測站網，研究了对于西南方的农业極其危險的雷雨、風暴和雹灾。在他之后，又組織了俄罗斯各个地方的其他学者，例如嘉桑的 Д. А. 戈里德加米尔(Гольдгаммер)、基輔的 П. И. 布罗烏諾夫(Броуноу)、莫斯科的 A. В. 胡拉索夫(Власов)等等在台站內进行了类似的工作。在八十年代当中，在 Д. И. 門德列也夫(Менделеев)，M. A. 雷卡契夫等人的参加之下，曾經利用平流層气球組織了自由大气中的觀測，而在1898—1899年在彼得堡附近的巴甫洛夫斯克(Павловск)，B. В. 庫茲涅措夫(Кузнецов)和 С. И. 薩維諾夫(Савинов)利用風箏在自由大气中开始了系統的觀測。

更早一些，在1891年 M. M. 帕莫尔澤夫(Поморцев)便已經發表了第四十一次平流層气球飞行的某些科学結果。同时他指出了控制自由大气中風与溫度分布的某些規律。在1902年在巴甫洛夫斯克曾建立了进行高層大气觀測的观象台。之后，在莫斯科和其他城市也建立了观象台的机构。在1915年第一次世界大战的时候，俄罗斯地球物理学首先提出利用飞机在高空进行觀測。关于天气演变的規律的科学——天气学也發展起来了：确定了風速与气压場之間的关系、研究了气旋的路徑 (M. A. 雷卡契夫，B. И. 斯里茲列夫斯基 [Срезневский])，而 П. И. 布罗烏諾夫于1882年提出了气旋运动發展的物理理論。他为天气預报的新方法——所謂等变压法打下了基础。在二十世紀便开始看到俄罗斯的偉大天气学家——B. П. 穆尔塔諾夫斯基(Муртановский)的活动。他以大气活动中心的重要概念为基础，第一个系統地探討了長期天气預告方法。

远在十九世紀，P. И. 薩維里也夫(Савильев)工程师第一个从事于日射仪器的构造設計和某些地点的觀測組織工作。这时俄罗斯的日射測定学便有了初步的成就，在1892年 O. Д. 赫沃里松(Хвольсон)創造了新的絕對日射表(Пиргелиометр)，而在以后的年代里还創造了多年来在俄罗斯地球物理学中所采用的相对日射表(актинометр)。在这一方面 B. A. 米哈

里松(Михельсон)以巨大的步伐向前迈进,他于1905年制造了自己的准确的相对日射表,以后这种相对日射表被推广到全世界。

在革命以前的年代里,关于大气的科学已经有了原则性的转折,即大气物理学是和地球的硬壳与水圈的物理学紧密关联的。与观测的系统整理和集累资料的同时,在大气物理学中应该广泛地应用实验方法与数学方法。这些思想更好地为大气物理学开辟了道路。正好在这时(1913—1916年)В. Н. 奥布林斯基(Оболенский)着手研究了地球的电场,大气的电离和宇宙射线的电离作用并对动力气象与大气声学开始了广泛的研究。

然而这些理想只是在十月革命以后才能得到发展,十月革命对于苏联科学的发展特别是对于地球物理的发展开辟了最广阔的新的道路。在1921年6月,俄罗斯苏维埃联邦社会主义共和国(РСФСР)人民委员会会议颁布了列宁签定的关于组织俄罗斯苏维埃联邦社会主义共和国气象局的指令。这个指令特别载明要发展科学研究工作。为了适应苏联的大气与水分的研究的一切措施并且领导这些科学研究机关,1929年便成立了苏联水文气象委员会。由于这个委员会与这些科学研究机关的会员的努力,以后的大气科学便飞速地发展起来了。例如在列宁格勒形成了整个的理论气象学派,属于这学派的有Н. Е. 柯钦(Кочин)、П. Я. 帕路巴里诺娃-柯钦娜(Полубаринова-Кочина)、И. А. 基培尔(Кибель)等人。基培尔在1940年指出了未来气压场的预报的可能性。相似地近年来在列宁格勒М. И. 尤金(Юдин)、Д. Л. 莱赫特曼(Лайхтман)和С. А. 萨波日尼科娃(Сапожникова)建立了近地层大气中温度、风、湿度的分布理论。目前这个理论已成为计算在计划灌溉、土壤改良等等的影晌下所产生的气候变化的基础。

在1920年在В. И. 维特克维奇(Виткевич)领导下的莫斯科观象台建立的同时,在П. А. 莫尔查诺夫(Молчанов)领导下的巴甫洛夫斯克的高空观象台工作的恢复,特别促使了高空气象学的发展。巴甫洛夫斯克的高空观象台是世界上第一次研究雷达探空的方法的台,这个方法可以迅速而比较简单地获得关于高层大气结构的资料。第一次施放雷达探空是在1930年1月30日在巴甫洛夫斯克,这次施放标志着世界高空气象的新阶段的开始。

自1931年开始,В. Н. 奥布林斯基领导了关于凝结过程物理学的广泛研究,并从事于云的问题以及云的消散或沉降的可能性的研究。

然而苏维埃大气物理学的发展远不止此。天气学中利用了大气的热力稳定与不稳定、大气的乱流粘滞性和大气中的凝结与升华的概念,这就大大地扩充了天气学的基本概念及其研究范围。С. И. 特罗依茨基(Тройцкий)与В. М. 米哈尔(Михель)提出了过程预报的新规则。关于锋与气团的学说已为С. П. 赫罗莫夫(Хромов)和А. Ф. 裘碧克(Дюбюк)于1931—1934年详细地研究过了。这个学说对很多天气现象及其交替给予了简单的物理解释。这些解释乃是根据近地层大气中和整个大气层内所发生的过程的研究而获得的。因为天气预报对于农业规划、对于航空、海运等工作的保证愈来愈需要了。因而,在这一方面的研究便具有空前的规模。

Х. П. 帕哥香(Погосян)和Н. Л. 戴波洛夫斯基(Таборовский)发展了平流动力分析与大

气过程的預告方法。

在苏联气候学家的努力之后，气候学問題便向新的方向开始發展了。在苏联的气候学家之中首先必須指出的是 Л.С. 別尔格(Берг), Е.С. 盧宾詩金(Рубинштейн), Б.П. 阿里索夫(Алисов), 他們为苏联和世界的全部气候資料作出了总结。現在利用这些資料便可以解决下列問題: 第一、关于苏联和世界各个地区最清楚最完整的气候学差异的研究方法問題; 第二、关于根据物理学与流体力学的定律定量地來說明这些差异的問題。尤其是完成了 А.И. 沃耶依柯夫关于世界气候的系統化的計劃。

在革命以后的年代里, 大气光学亦以巨大的步伐向前迈进。具有实际重要性的大气光学的新部門——能見度理論——已經建立起来了, 由于大气混合物中含有大小質点, 便引起了光的散射, 而能見度理論便是建筑在光的散射理論基础之上的。在这方面 В.А. 別里茲金(Березкин), В.В. 舒勒依金(Шулейкин)和 В.В. 沙罗諾夫(Шаронов)的工作是最有价值的。Н.Н. 卡利金(Калитин)所领导的苏联的日射测定学实际上在这一科学部門內占居着领导地位。大气电学在 П.Н. 特維尔斯戈伊(Тверской)和 И.С. 斯梯科里尼科夫(Стекольников)所研究的闪电的种类与地球的电場問題方面获得了特別巨大的成就。还有在最高層大气的研究方面也获得了重要的結果。在研究最高層大气时, 既需要嶄新的物理方法和观测原理, 又需要把高層大气的特性与發生在(我們研究得要清楚得多的)低層大气中的过程联系起来。

在 1932—1933 年苏联首先开始了大規模的地球物理事業——所謂第二国际極年, 在进行这一事業时曾对極地区域內的大气現象和其他現象作了很多次的观测。

随着時間的轉移, 气象学中所采用的研究方法已經發生了重大的变化。

为了首先系統地研究大气的性質, 自十八世紀开始便已經建成了气象台站網, 这些数以百計的气象測站是分布在世界各个部分和海洋上。在这些台站上, 到处都利用比較簡單而統一的仪器(例如, 气压表、溫度表、風向仪)进行观测。为了使得所有未被考虑的因子的影响(例如散射輻射对溫度表的影响或者地表面气流的摩擦对于風力的影响等)是一致的, 观测是按照統一的规范和統一的方法进行的。将这样所得到的多年观测資料用統計的方法加以整理, 对全世界的平均溫度、湿度和降水量等等予以非常清楚地描述, 便得到关于世界气候体系的最初概念。同时再将在各种不同自然条件下所进行的观测加以比較, 便得出关于發生在大气中的物理过程的某些定論: 例如关于因盛行气流而引起的热量輸送問題、关于洋流所較送的热量的作用問題、关于溫度和其他要素的日变和年变的原因問題。这些定論或者是描述性的, 或者是呈統計关系的形式。

随着天气学与动力气象的萌芽(十九世紀后半期)与發展, 人們便可能更深入地了解大气現象的物理本質。

表征大範圍內(整个海洋与大陆)同时間大气状态的一般特点是用天气圖, 它对大气中所發生的物理过程作了很清楚的描繪。利用天气圖可以考察和說明冷暖气流的瞬时分布; 可以研究由于上升气流、大气鋒面、山脉所引起的凝結过程; 可以研究大气中渦旋等等的生

成与發展。由統計特征轉变到各个現象的描述是在科学中的一个重大进步，并且本質上就是使气象学的研究方法接近于物理的研究方法。

动力气象学从它誕生的那个时刻起就趋向于大气一般运动方程組与热力学方程組的組成与解决。因为这些方程是复杂的，边界条件与起始条件更为复杂，此外还有許多次要的难以考虑的因素。所以这些方程的一般解直到目前为止尚未找到。可是在許多簡化假定之下已經得到了的大气現象的某些比較簡單的“模型”。这些模型从定性或定量方面來說也是与自然非常一致的。例如当在給定的气压与溫度分布的情况下，便可以非常完整地表示出大气中風的分布及其变化，研究出各种各样的波动形式、大气中的上升和下沉运动以及很多其他現象等等。其次，最近 15—20 年来已經开始从关于大气性質的某些簡化假定出發，来研究某一来来时刻的气压、風与溫度的分布問題。

虽然动力气象的实际成就还不能認為很大，但它的原則性意义却是很大的：未来的大气物理学应该依靠定量的結論与关系，要得到这些結論与关系便不能沒有經過观测詳細验证过的严格的数学动論。近代大气物理学最有希望的道路之一也正好就是这样的方法——發展小規模或大規模的各种現象的理論，为了檢驗它們必須組織詳細的观测。例如，現在地方風的理論，如山谷風或海陆風的理論都是十分令人滿意的。然而經驗必須指明：在怎样的条件下和怎样的大气層結，从理論所得到的大气乱流程度等等在数量上才与观测結果非常一致，并且在怎样的条件下还必须研究尚未考虑到的其他补充因素。另一个例子就是大气凝結理論：形成云的某些机械作用是大家知道的，它們在理論上得到了詳尽的研究而且部分地甚至于在实验室的条件下已进行过研究。然而到目前为止，还不是十分明显，在自然的云中究竟那些机械作用是主要的，又何时起的作用大，何时起的作用小。

要在大气物理学上确立相似的量的关系，比較簡單的(虽說是大量的)气象台站網的观测已經是不够了。为了檢驗某些理論和确定某些結論，必須組織專門的观测，例如在厚度为 1—2 米的近地層內，風、溫度等等的最詳細的观测。要决定象乱流系数、大气运动的垂直速度、凝結核的数目及其分布这样的被观测的参数是比較困难的。对于这类观测而言，必須創造比較复杂的仪器——垂直風速仪、乱流测量仪、凝結核测量器。这些仪器显然不是大量观测的仪器。虽然如此，它們的应用問題，正如任何物理研究問題一样，也是一般的物理关系与規律的引用。因此大气物理学的方法主要地不再是統計方法而愈来愈成为实验的方法了。

近代大气物理学非常广泛地采用了实验物理学中的研究仪器与研究方法，应用电子显微镜来研究小到不能直接观测的凝結核便是一例。精細的光譜分光法亦是如此，这种方法可以詳細地研究大气組成(从 20—30 千米高度的臭氧層一直到大气的上限)。利用声波与电磁波来研究高層大气的密度与溫度也是如此。类似的例子可以举出数十个之多。这些例子证实：大气物理学的成就与普通物理学的成就具有千絲万縷的联系。

有时人們認為，大气現象不能与自然地理条件的綜合割裂开来。这里所謂綜合是指表征某种地方性的土壤、植物、水等等的总和。这种观点是正确的，但是还必须补充說明：自然

地理綜合的各種要素的物理性質也可能而且也應該定量地表征出來，因此，正如在任何物理研究中一樣，也可能計算出它們的影響。

近年來大氣物理學的工作方法已經大大地擴展了，其中已經開始應用目前的實驗方法。一方面在實驗室的條件下已經复制了某些大氣現象，例如渦旋（在Н. П. 卡斯梯寧[Касторен]與А. К. 季米梁茲夫[Тимирязев]的工作內），雲（在列寧格勒實驗氣象研究所的工作內）、某些降水的形式、各種各樣的光學現象、聲現象等等。另一方面，還探討了大氣現象本身的相互作用的一些方法。從1947年開始，雲的消散和由它們而引起的降水的經驗獲得了廣泛的推廣。利用灌溉或熏烟的方法來防止霜凍的成功經驗、或者，還在衛國戰爭以前在蘇聯所進行的利用各種復蓋物來掩蓋土壤的方法都是為了增加收穫而趨向於田野微氣候的變化和降水的變化方面。這樣的實驗可以更加準確地檢驗大氣物理學中所採用的很多理論與計算結果。

“既然我們能以親身製造出自然界某一現象，依它的條件把它產生出來，並使它服務於我們的目的的事實來證明我們對這一自然現象認識的正確，那末康德的那個不可捉摸的自在之物就要完結了。”^①因而，對於自然現象是可以認識的這一論點，也就不會有所懷疑了。

① “馬克斯·恩格斯選集”，中譯本，第二卷，第368頁，莫斯科外國文書局出版局1955。