

〔苏〕A. Д. 达尼洛夫 著



浅论高层大气物理学

QIANLUNGAOCENGDAQIWULIXUE

科学出版社

浅论高层大气物理学

[苏] A. Д. 达尼洛夫 著

刘春林 译

~~吉士芬~~ 校

科学出版社

1984

内 容 简 介

本书以通俗明了的语言介绍高层大气物理学这一年青的学科。高层大气物理学是研究地球高层大气的结构以及在那里所发生的物理与化学的过程的。书中利用一些有趣的插图，介绍了高50—500公里范围内的大气层结构和电离层结构的现代概念，介绍了与大气层和电离层参数的各种变化有关的问题，详细地阐明了带电粒子生成和消失的现代理论。

本书适于高中以上文化水平的读者阅读，也可供在气象学、天文学、物理学等领域里工作的研究生和大学生参考。

А. Д. Данилов
ПОПУЛЯРНАЯ АЭРОНОМИЯ
Ленинград Гидрометеиздат 1978

浅论高层大气物理学

〔苏〕А. Д. 达尼洛夫 著

刘春林 译

古士芬 校

责任编辑 黎昌颖 彭英

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1984年8月第一版 开本：787×1092 1/32

1984年8月第一次印刷 印张：6 1/8

印数：0001—3,300 字数：114,000

统一书号：13031·2642

本社书号：3636·13—5

定价：0.96元

本书写给谁读？

有不同类型的科普读物。以广大读者为对象的科普书籍是一种最繁难的科普写作形式。卓越的苏联科普作家 Я.И. 佩雷尔曼 (Перельман) 极好地掌握了这一形式。可以为孩子们——初等学校低年级的学生或学龄前儿童写科普小册子。М.伊林 (Ильин) 和 Е.谢加尔 (Сегал) 正是这样写作的。也有很多科普书籍是为高年级的中学生、大学生和具有相当文化程度的人写的。最后,还有一些非常优秀的科普书籍,它们以介绍重大的科学课题和能够为任何一个知识分子所领悟为己任(这照例是由一些权威的专家写的)。И.С.什克洛夫斯基 (Шкловский) 那本《宇宙、生命和智慧》就是这样的书。

本书不属于上述的任何一种类型。它是作者的一次尝试,介绍一个非常年轻而又较为狭窄的科学领域——高层大气物理学……并且是对自己的同行们介绍。是的,正是对自己的同行们——学者、物理学家、地球物理学和天体物理学家介绍。因为,在我们的时代里,科学家、科学团体以至整个科学门类的专业化程度越来越高,与此同时,科学的信息流又在源源不断地扩大。于是专家们越来越难了解自己的相邻领域里在做些什么,那里有了何种进展和有什么样的课题产生。而当科学的需要,终于迫使他问津于相邻领域的时候,他就会处于困难

的境地。为了求得感兴趣问题的答案，需要翻越由浩瀚的期刊和书籍堆成的整个一座山。而为此照例是既无时间又无精力。另外，不同学科的专家，有时甚至是同一学科不同领域里的专家，他们所使用的语言竟如此地不同，以致理解相邻领域里的专业文献都有困难，有时甚至根本不可能。

年轻的科学分支——高层大气物理学在这方面也不例外。这里既有大量的源源不断的消息报道，也有非常多的综述和大部头的有份量的书籍，以及……实际上完全没有科普性的读物。

在气象学、天文学、等离子体物理学以及地球物理学等学科衔接点上产生的这个学科——高层大气物理学，它受到许多科学领域的专家们的关注，因此才有了本书作者在此所做的这一次尝试，介绍那些由现代高层大气物理学研究，有时还相当复杂的课题。

出版与本书同类的书：《化学、大气层和宇宙》的经验使作者确信，这样的书是需要的，并且首先是为作者的同行们所需要的。根据许多同行的反映，每当有必要迅速地对大气层光化学的某一课题有所了解，以及为了给大学生讲课作准备或研究生参加硕士学位考试时，《化学、大气层和宇宙》一书都曾对他们有所助益。

作者希望本书也将同样有益。《化学、大气层和宇宙》问世已七年了，对于如此迅速发展着的一个学科——高层大气物理学来说，这是一段不短的时间。当时的许多前沿课题，如今已经得到解决，大量的疑谜有了回答。但是出现了新的课

题和新的疑谜。这正是本书要介绍的一项内容。

与1969年那本书不同,本书力图对高层大气物理学做了较系统的介绍,而且也叙述了剧烈变化的和较平稳的高层大气物理学的课题。这就必然要冒使本书较为枯燥的危险,不过作者希望介绍的内容将能够弥补这一缺陷。

当然,作者也希望本书能够有较广泛的读者。因此,公式的数目和不甚重要的细节在书中压缩到了最少限度。而且作者自然也希望,本书将会促使那些对高层大气物理学尚不熟悉的读者,尤其是未来的研究人员——大学生、研究生去研读一些这一领域里更重要的著作,从而更深入地认识高层大气物理学。这只是作者的一项奢望,如果本书能够对那些在他的广泛的相邻学科领域里工作的同人们有所裨益,作者也就认为自己完成了最低限度的任务。

A. X. 赫尔吉安(Хргиан)仔细地阅读了本书的手稿并且提出了许多有益的意见,A. B. 米哈伊洛夫(Михайлов)在本书一些章节的写法上给予了很大的帮助,作者对他们表示由衷的感谢。作者认为自己还有一项愉快的义务,那就是要在此对本书的装帧者——Л. B. 科尔涅耶娃(Корнеева)说上几句话。作为一位未来的物理学家,她阅读了本书的手稿,并且就用插图解释某些重要的问题来说作出了一些创造。尽管她不是一位职业画家,但是在本书能够象今天这样提供给读者之前,她勇敢地接受了对于一位职业画家的全部考验。剩下下来的是期待着我们的合作获得成果。

何谓高层大气物理学？

如果我们将这一问题问及研究地球大气层的不同专家，那么得到的将是几种不同的答案。这是因为这门年轻的科学是本世纪六十年代初“火箭-卫星热”的产物，它的边界还相当不明确。同温层是否是高层大气物理学研究的对象？对流层呢？如果不是，那么，研究近地层大气的气象学和研究高层大气的高层大气物理学，这二者间的界限又在哪里？另外，高层大气物理学是否应该包括我们在高层大气中所进行的全部研究？比如潮汐、风、微流星雨以及无线电波在电离层中的传播，所有这一切是否都属于高层大气物理学研究的内容。

目前对这些问题并没有一致的回答。而且就较精确地确定高层大气物理学的边界来说，前景也并不十分明朗。因为上述这些问题是在最近一些年里随着对大气层研究的不断发展提出来的。对于大气层研究的继续发展，可能导致高层大气物理学概念的进一步复杂化(或者如果乐意，可把它叫做进一步膨胀)。

这里我们将把高层大气物理学看成首先是关于地球高层大气的结构以及在那里发生的微观过程的科学。比利时科学家 M. 尼科列 (Николе) 正是这样看待高层大气物理学的，是他第一个将这样的概念引进到高层大气研究者的日常生活中

来,并且在1961年写出了第一本有关高层大气物理学的书。

这也就是说,我们所理解的高层大气物理学,它应该对高层大气是如何结构的,以及是什么样的一些物理化学过程决定着此种结构的问题,致力于寻找答案的工作。为了回答第一个问题,要求研究所谓的大气温压参数(即气体的密度、温度和压力),以及从氮和氧这样重要的成份起,到一些少量的成分止大气各种气体成分的浓度随高度的分布及其各种变化。带电粒子的浓度(离子和电子的浓度),也正式地列为少量成分的浓度,因为正是这些粒子构成了大气层的一个非常重要的区域——电离层。为了回答高层大气物理学的第二个基本问题,我们必须研究发生在大气层气体内部,并且决定着所有在第一个问题里我们感兴趣的那些参数的状态的各种微观过程。属于此类微观过程的,首先有大气气体粒子在外流(太阳辐射、侵入大气层的粒子等)作用下的电离与离解、粒子间的各种化学转变,以及分子扩散和双极扩散。

风、漂移和各种波,这些宏观的动力学过程之所以被看作是高层大气物理学研究的内容,只不过是象我们现在所了解的,这些过程在某些情况下对高层大气的成分和结构有影响。

本书就是根据这样的对于高层大气物理学研究内容的理解,来向读者们介绍这门科学。至于精确地确定高层大气物理学“有效范围”的高度边界,那么这里的问题也同样的不简单。我们将研究从50—60公里到几百公里的高度,因为在这样的高度上,集中了经典意义理解下的高层大气物理学的主要课

题(整个电离层、氧的离解、氮的氧化物和激发粒子等)。无论如何,如此地选定研究的高度范围,说明了本书为什么没有包括象同温层臭氧、臭氧的变化及其破坏的可能这样一些敏锐的现代光化学课题的原因。这也就是说,高层大气物理学是研究高层大气的结构及其物理化学的。

在介绍一门新的学科时,首先遇到的一个问题是:为什么要研究这门学科?为什么我们正是认为研究这样一个知识领域是有意义的?因为在今天,任何一个研究领域都承担着一部分现代的课题,都要为完成科学、技术和国民经济的迫切任务作出贡献。

本书将要介绍的科学领域在这一意义上的情况又是如何呢?

我们的时代是宇宙火箭和人造卫星的时代。几乎每天都有消息,报道发射新的、大的和小的人造地球卫星、地球物理火箭和气象火箭。在每一个卫星和火箭上都装着科学仪器。这些仪器一般是用来研究其周围环境的特性(或参数)的。而仪器周围的环境,这就是地球的高层大气及其相邻的宇宙空间。在一定高度上气体的密度、中性粒子及带电粒子的数量、这些粒子的“身份证”,即它们的化学属性、原子、分子和离子的温度,这些还远不是在火箭与卫星实验里必须研究的全部参数。为了完成具体的实际任务,必须知道大气层与宇宙空间的特性。

电离层对地球上的无线电波传播有着重大的意义。没有电离层,也就不可能有短波无线电通讯。即使电离层特性的

一些微小变化，也影响无线电广播的质量和无线电通信的可靠性。随着地上无线电和电视网，以及人造地球卫星中转讯号系统射电天文学的蓬勃发展，要求知道电离层准确的特性。

在地球的高层大气里如今有几十个人造地球卫星在遨游。如何来计算每一个人造地球卫星的寿命？如何来选定卫星的轨道，以使其飞行高度虽然最低，而卫星却能够“活完”整个的设计时间？为了回答这些和许多其它实际性质的问题，必须可靠地知道高层大气中密度与温度的分布。

这也就是说，必须了解高层大气、电离层和相邻宇宙空间的特性。这是今天的实际需要。可是这里为什么又提到化学过程？这里需要的并不是化学家，需要的是物理学家和工程师，是他们提供了仪器并对我们感兴趣的一切进行测定。是的，若是地球高层大气具有所谓的静态结构，即如果它既不随时间也不随所在地球上的位置而变，那么就不必考查化学过程了。但是利用火箭和卫星所进行的最初的实验便已表明，大气是变化的。变化非常激烈，并且与许多不同的因素有关。就以大气气体的主要特性——密度来说，它也是随各种因素而变的，这些因素包括：昼夜的时间、地理的纬度、太阳活动、季节和地磁活动等。这些变化是很大的。比如在 300 公里的高度上，气体密度的昼夜变化为 3—4 倍，而在 600 公里的高度上为 10 倍。电子波度这一重要参数，在昼夜之间，在一年之中，以及在太阳活动的一个周期里，也经历着复杂的变化。

十分明显，对于地球高层大气的研究不能仅借助于实验

来进行。无论我们发射多少装有复杂仪器的卫星或火箭，所取得的结果也将仅适合于一定的条件。比如8月25日11时我们取得了弱太阳活动情况下北纬 35° 处的结果。可是8月27日夜里2时南纬 10° 处的情况又将怎样？如果明天在太阳上出现爆发又将如何？

考虑到费用高昂和实施复杂，人类能够进行的太空实验的数目无疑是有限的。我们不可能把太阳活动、时间、地点等这样一些外界因素的所有可能组合都试验遍。因此，必须了解高层大气的特性是怎样变化和为什么发生变化的，是哪些过程引起这些变化。只有这样，我们才能建立起考虑到所有的有关条件，并且能够给出我们(国民经济或其它专业的科学家)感兴趣的任何一个参数的大气模式。

这也就是高层大气物理学的主要任务，也就是说高层大气物理学要详细而精确地描述发生在高层大气中的过程，确定每一种过程对各种大气参数的影响，并且最终地建立起一种如此完整而详细的描述高层大气状态的模式，依据此种模式，将能够对整个高层大气在任何给定条件下的总的状态或其具体特性作出精确度满足实际目的要求的预测。

在高层大气物理学的不同的领域里，我们不同程度地接近了这一目的。比如，对一百公里高度以上大气层离子成分的了解相当的好，对它的模式化达到了令人满意的程度。而对于一百公里高度以下离子成分的了解仍很差，建立它的理论模式仅仅才开始。

在建立用来描述高层大气参数状态的理论模式的同时，

• x •

又发现了高层大气中的一些新过程和新现象，过去完全不为人们所知道的一些过程和现象，或完全没有想到过它们在高层大气物理学中的意义的过程和现象。比如，十年前就没有谁研究高层大气激发粒子物理学，而现在，不考虑这些粒子，高层大气的任何一种理论模式都是不可想象的。由于从事模式化电离层 F₂ 区的状态，不久前产生了上部电离层与质子层间等离子体相互交换的概念。现在业已明显，离子和电子从质子层向电离层的流动，是夜 F₂ 区存在的重要机制。

读者可以从本书以下的篇章里发现许多类似的例子。其实，这整本书也就是向读者介绍我们在高层大气物理学中已经知道了些什么，最近又提出了什么新的概念，以及还有哪些最迫切的尚未解决的问题。

为了便于读者理解那些着重介绍高层大气物理学的课题和这门学科之谜的篇章，作者在前两章里非常简要和概括地（正如任何概括一样，这难免是枯燥的）介绍了整个大气层及其重要部分——电离层的结构。

目 录

本书写给谁读?	iii
何谓高层大气物理学?	vi
一、大气层的结构	1
宇宙间有多少种层	2
原子—分子	8
无穷的变化	11
风从何处来?	20
二、带电粒子层	24
小论结构	25
那里有多少电子	27
不同的离子何许多	33
电子的温度如何	40
三、谁要对电离层的形成负责?	43
电离与复合的竞争	44
主源——太阳	47
四、离子的平衡浓度	57
何谓“生存时间”	57
两种基本反应	62
完整的过程图	70
一个长名称的重要参数	74
当太阳落山的时候	80
动力学与光化学的竞争	95

五、神秘的D区	106
最低的——最不清楚的区	106
为何竟如此困难	107
探寻电离源	113
切莫牵涉离子束!	122
负离子有益的方面	129
再论复合系数	139
六、中性粒子的课题	148
令人不快的一氧化氮	149
大气层中有多少氮原子?	161
激发粒子——激发层的居民	169
七、今后将怎样?	180

一、大气层的结构

高层大气物理学的大多数现代课题都与高层大气的物理化学有关。换言之，使科学家们激动的问题是：“为什么？”、“由于何种过程的结果？”。当然，这些问题照例都是在确定了存在着这一种或那一种需要解释的现象（比如，存在着高浓度的一氧化氮或存在着离子束）之后才产生的。毫无疑问，确定存在着这一种或那一种需要解释的现象，这一过程本身也是在对“结构怎样？”这一问题寻找答案。描述这样的问题及其解决中出现的各种矛盾，其引人入胜的程度丝毫不比描述物理化学的问题差。

但是，由于“结构怎样？”和“为什么？”，这两个问题相比，前者是第一性的，所以当前在高层大气物理学中，至少在本书所叙述内容的水平上，后一类问题要比前一类问题多得多。因此，本书的重点是放在介绍大气层物理化学的各项课题上，在这方面，矛盾在不断地出现，新的课题和新的思想在不断地产生。

如何来对待纯粹的结构呢？在我们这样的一类书中，描述经过许多年才确定下来的有关大气层成分和结构的概念，这是否还有意义？本章就是作者对这一问题的回答。本章比较简要地介绍了大气层结构的一些主要的特性。这样的介

绍，看来会有助于读者阅读其余各章时迅速地掌握最中心的内容。另外，对某些现代课题，首先是密度和成分变化的课题也做了叙述。

宇宙间有多少种层

科学家喜欢想出各种各样的“层”。既有生物层、水层、也有岩石层。但是，毫无疑问，还是要以有关大气的科学——气象学和高层大气物理学中的层数为最多。这里既有大家熟知的概念(有谁不晓得平流层和电离层!)，也有仅为少数专家应用的概念(比如亚层)；既有老早就已确立了的名称(平流层)，也有前不久才产生的术语(“激发层”这一术语的出现还不到五年)。

让我们来从下往上对大气层穿越一番，并且作出努力，哪管是对部分“层的”术语的迷宫辨别清楚也好——要知道，大多数的这些术语，正是与大气层结构的那些主要参数(结构参数)，即气体的压力、密度、温度和成分联系着的。

对于大气层，可以按照不同的特征：温度、成分或占优势的物理过程等来把它分成一些区(或层)。由于每种这样的分层都会引出若干术语，所以也就构成了大气层的一整个“层的”家族。

最流行的，是按照温度特征来对大气分层。正是这样的分层，引入了人们所熟知的概念：“对流层”和“平流层”。我们也就是要按照大气层的这样的层次来开始自己对于天体各

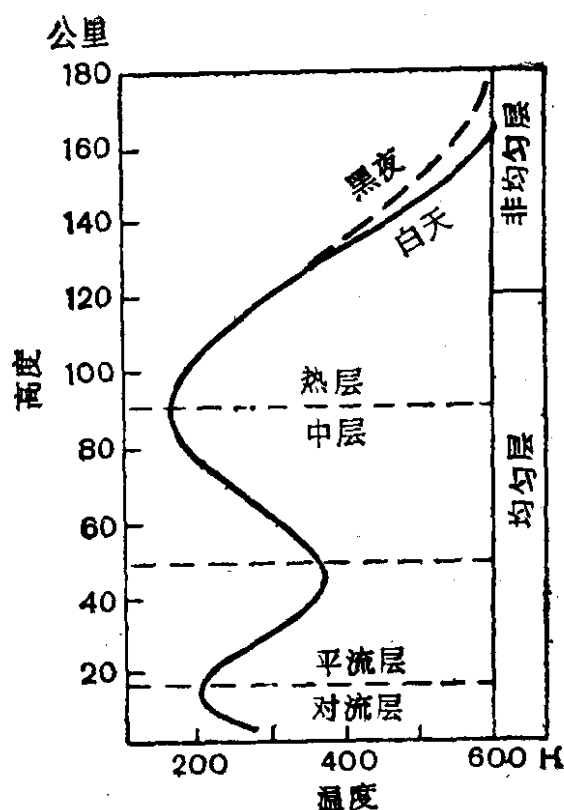


图 1

层的远征,在这一远征中可以取图 1 作为路径图。

象通常那样,我们是从地球的表面动身。假定这是夏天,温度为 27°C ,也就是 300°K 。随着往空中升高,我们发现温度在急骤地下降(这是所有登过山的人都晓得的)。换言之,观察到了与高度相逆的温度梯度。此时我们所在的这个大气层区称做对流层。对流层的上边界,位于温度不再随高度增高而下降并开始上升处(很明显,此处的温度梯度等于零)。再高处已经是平流层了,那里的温度梯度是正的。对流层和平流层之间的边界(或温度梯度等于零的一个窄层)被称做对流层顶。继续在对流层中升高,我们会被完全冻僵的,因为对流层顶的温度只有 200°K 。至于对流层顶的高度,它随着从赤道