

- [22] 石广玉. 大气科学, 1998, 22(4): 650—676
- [23] Wu Beiyang, Lu Daren. Appl. Opt., 1988, 27(23): 4884—4890
- [24] 吕达仁, 李卫, 李福田等. 大气科学, 1996, 20(3): 343—351
- [25] 季国良, 邹基玲. 高原气象, 1994, 13(3): 323—329
- [26] 曾庆存. 大气红外遥测原理. 北京: 科学出版社, 1974. 1—150
- [27] 周秀骥等. 大气微波辐射及遥感原理. 北京: 科学出版社, 1981. 1—178
- [28] 中国科学院大气物理研究所集刊第1号, 激光在气象探测中的应用. 北京: 科学出版社, 1973
- [29] 中国科学院大气物理研究所集刊第5号, 大气遥感探测问题的研究. 北京: 科学出版社, 1977
- [30] 吕达仁, 林海. 大气科学, 1980, 4(1): 30—39
- [31] 吕达仁, 周秀骥, 邱金桓. 中国科学, 1981, 12: 1516—1523
- [32] 赵柏林等. 中国科学, 1980(9): 879—882
- [33] 李卫, 吕达仁. 香河 MST 雷达大气湍流探测初步结果. 见: 吕达仁主编. 地球环境和气候变化探测与过程研究. 北京: 气象出版社, 1997
- [34] 胡欢陵, 王志恩, 吴永华等. 平流层臭氧测量用紫外差分吸收激光雷达. 见: 吕达仁主编. 地球环境和气候变化探测与过程研究. 北京: 气象出版社, 1997, 172—178
- [35] 刘长盛, 曾琴, 裴立本等. 南京大学学报, 1992, 28(4): 657—662
- [36] 魏鼎文, 林启锦. 地球物理学报, 1964, 13(4): 260—270
- [37] 周秀骥, 罗超, 李维亮. 科学通报, 1995, 39(6): 1396—1398
- [38] 周秀骥, 郑向东, 陆龙骅等. 南极研究, 1994, 6(12): 14—22
- [39] Lu Daren, Van Zandt T E, Clark W L. Adv. Atmos. Sci., 1987, 4(1): 105—112
- [40] 王英鉴, 徐寄遥. 大气科学, 1992, 16(4): 385—392
- [41] 易帆, 肖佐. 空间科学学报, 1993, 13(4): 278—284
- [42] 熊建刚, 易帆, 李钧. 地球物理学报, 1994, 37: 415—421
- [43] 国家自然科学基金委员会等. 现代大气科学前沿与展望. 北京: 气象出版社, 1996. 1—201

50 年来的中国电离层物理研究*

萧 佐

(北京大学地球物理系 北京 100871)

摘 要 简要叙述了电离层物理这门基础学科的主要研究对象和领域, 强调电离层研究应作为整个日地空间环境的一部分, 从它与太阳和行星际空间、磁层、热层和中低层大气相互作用角度开展整体的研究. 描述了电离层、磁层和中性大气耦合过程的基本图像. 对我国电离层研究概况和现状, 从探测、形态资料分析、模式建立、物理过程机制研究、新技术应用等几个方面作了介绍, 并对某些重要的进展和特色加以简要的评述, 同时也特别强调了大力加强我国电离层探测事业的必要性.

关键词 电离层, 日地物理学

IONOSPHERIC RESEARCH IN CHINA OVER THE PAST 50 YEARS

Xiao Zuo

(Department of Geophysics, Beijing University, Beijing 100871)

Abstract A brief description is given of ionospheric physics, with special emphasis on the trend that the ionosphere should now be studied as an important part of the whole solar-terrestrial system. The couplings between the ionosphere and the magnetosphere, thermosphere, and mesosphere

* 国家自然科学基金资助项目

1999-06-02 收到初稿, 1999-07-16 修回

as well as the ionospheric processes at different latitudes are key issues today. A brief review of ionospheric research over the past 50 years in China is presented, including advances in ionospheric sounding, data analysis and morphological studies, establishment of models, development of new techniques, and mechanism studies of physical processes such as anomalies, irregularities and so on. Finally, it is pointed out that the most urgent task facing ionospheric research in China is to promote ionospheric soundings, both ground-based and in situ, and build new equipment to acquire more updated data.

Key words ionosphere, solar-terrestrial physics

电离层物理是空间物理学的重要分支学科之一,研究离地面 60 km 以上直至大约 1000 km 高度范围内地球大气的物理过程.从 60 km 开始,太阳紫外和极紫外、X 射线等辐射使大气逐渐电离,电子数密度在 300—500 km 高度处达 $(2-5) \times 10^6 / \text{cm}^3$. 作为近地空间环境的重要组成部分,电离层处于未电离的低层中性大气和更远的磁层之间,是人们认识自身生存环境的一个重要方面,构成了电离层物理学这一学科.而从应用角度来看,凡涉及电波传播和电磁环境的技术领域,例如通信、广播、导航、定位等都十分重视电离层效应的研究,以至于电离层无线电波传播可看作是电离层物理之外的另一研究领域,本文则侧重于电离层物理研究领域.

在整个空间环境系统中,电离层处于一个特殊的地位.这里有足够多的自由电子,它们的存在显著地影响着电磁波的传播.而另一方面,电离层中未电离的那部分中性成分仍然在很大程度上控制着电子和离子的运动状态,这就在本质上与磁层不同.在磁层中,由于大气进一步稀薄且完全电离,带电粒子的运动完全受磁场的控制.处于一定能量范围内的带电粒子可能被地磁场捕获而在一定的磁力管位置上形成地球辐射带.磁层中带电粒子的动能和磁场能量之间的转换是磁层的基本物理过程;电离层则不同,带电粒子和中性粒子的相对频繁的碰撞使磁场不能完全控制电子的运动.在 110 km 以下,中性风完全控制带电粒子的运动;110 km 至 160 km 左右,电子的磁回旋频率远大于和中性粒子的碰撞频率,而离子仍然主要受碰撞的

影响;200 km 以上,电子和离子都逐渐磁化,磁场对带电粒子的影响越来越显著,这种影响依赖于地方时、纬度等.在赤道地区,磁场是水平的,东西方向的电场和磁场形成的洛伦兹力白天推动等离子体向上漂移,并在 300—1000 km 高度上沿磁力线向磁赤道两边扩散,使得电离层 F 区中电子密度最大值在白天通常出现于磁赤道两侧,这一重要的电离层异常现象叫做赤道异常.我国老一辈电离层物理学家梁百先教授在 1937 年与英国 Appleton 各自独立地发现了这一现象.作为本世纪电离层物理学最早的重大发现之一,梁百先教授作出了很大的贡献.大约 40 年代,龙威灵教授在电离层分层结构研究中首次指出 E 层有时可再分层,形成 E_2 层.

由于电离层的上述特征,近代电离层研究的一个明显趋势是不再孤立地研究电离层本身,而是把电离层看作空间环境整体的一部分,从它与其他部分相互影响的角度弄清电离层自身的形态变化特征.这种相互作用主要包括:电离层与磁层的相互耦合,电离层与热层大气的相互耦合,以及电离层和中、低层大气的相互作用.此外,电离层除直接受太阳远紫外波段和 X 射线作用而电离外,也会受到太阳高能质子、耀斑爆发及太阳物质抛射等的瞬时影响.

磁层和电离层的耦合主要发生在高纬地区,这里近于垂直的地球磁力线直接贯通磁层和电离层,磁层和太阳风相互作用产生的大尺度磁层电场可以沿着这些高电导率的磁力线直接投射到电离层中,引起增强的极区电离层电流并产生焦耳热,来自磁尾的高能沉降粒子也

可沿磁力线直接进入高纬电离层,向电离层直接提供动量和能量.电离层中的某些重离子,如氧原子离子等,也直接沿磁力线上行至磁层中.磁层和电离层这种质量、动量和能量的相互交换过程及机制是当前磁层-电离层耦合研究的焦点.

热层和电离层处于同一高度,大体上可以认为热层是电离层高度上未电离的中性大气.由于部分大气大量吸收太阳辐射而电离,吸收的能量通过碰撞抬高了中性大气的温度,故后者称为热层.在500km左右的高度上,中性大气的数密度仍比电离成分高两个数量级,但由于电子和离子的磁回旋频率在这一高度上已远大于带电粒子和中性粒子的碰撞频率,因此电磁场和中性风都对带电粒子的运动施加影响.当我们考虑这一高度上的电离层过程时,应同时顾及光化学过程、流体动力学和电动力学过程,也就是所谓热层和电离层的相互耦合问题.磁层从高纬输入电离层的能量一般沉积在100—150 km高度上.这些能量进一步加热了低热层大气,使之向上抬升而从300 km高度向低纬输送.这种环流将磁暴时高纬接受的能量向低纬输送,且逐渐改变较低纬度上电离层F层的离子成分,导致磁暴期间全球电离层形态的变化.这种过程可看作暴时环流效应,而在空间宁静状态下,太阳加热不均匀造成的热层中的年、半年和季节性环流则直接影响电离层形态.

地球低层大气中的过程也以不同的方式影响电离层,如全球雷电活动影响电离层底部和地面之间的电场,进而影响电离层变化;巨大火山的喷发和流星物质的沉积使低电离层中有较多的金属离子而影响光化学过程;剧烈天气过程以及对流层大气中的大尺度(行星尺度)波动向上传输,在合适的条件下,可传播到电离层高度,向电离层输送能量并引起电离层的扰动,特别是由对流层向上传播的声重力波(一种频率很低,因而空气粒子运动显著受到重力影响的声波)可能是低层大气向电离层输运能量的重要方式.这种低层大气和电离层之间通过动力

学、电学和光化学的相互作用问题成为近年来人们极感兴趣而并未十分了解的重要课题.

我国在电离层与电波传播领域的研究开始于本世纪30年代.在武汉大学陈茂康、桂质廷、梁百先等人的推动和参与下,1936年开展了上海地区电离层日食效应观测,1937—1938年间正式在武汉地区开展了电离层常规垂直探测,1946年成立的武汉大学游离层实验室是我国历史上第一个电离层观测实验室,并几乎同时开始系统积累国内首批电离层观测资料.新中国成立后,1950—1951年间,在吕保维先生领导下自行研制成功我国第一台电离层垂直测高仪,配置于北京良乡地区.1958年,赵九章先生指出了开展电离层火箭探测的必要性,并组织了相应研究组.1962年,他筹建地球物理研究所廊坊观象台,从国外订购自动测高仪,1963年廊坊观象台正式成立.这些观测台站的建立在电离层物理人才培养、资料积累及科学研究的系统开展方面起了很大的推动作用.

我国电离层垂直探测已经形成一个网,其中14个台站开展常规观测,包括南极长城和中山站;北京、武汉和海南还有用于研究目的的不定期运行的测高仪.在上述测高仪中,北京、武汉、海南以及南极中山站拥有最先进的数字测高仪,其余测站均使用由中国电波传播研究所研制的TD-4自动测高仪.绝大部分测高仪已积累了近4个太阳黑子周(50年代中至今)的观测资料.武汉、新乡等地区还开展倾斜返回探测技术和资料处理方法方面较系统的研究.通过卫星信标对电子总含量进行观测开始于60年代,武汉大学、中国电波传播研究所、中国科学院空间科学与应用研究中心、武汉物理与数学研究所、北京大学、中国科学技术大学等单位在电离层探测、反演及其形态变化方面均开展了研究.在电离层的地面监测手段方面,从早期用于火箭和卫星信标的多普勒测量,到利用地面标准频率发射经电离层反射的多普勒频率偏移测量,特别是后者,已积累了一个太阳黑子周以上的资料,并发展了3站多普勒技术,不但用于监测耀斑的电离层响应,而且直接用于电离

层扰动形态的监视和研究.甚低频接收,哨声接收,特别是对极低磁纬处的哨声接收(例如武汉大学),电离层吸收,及近年来发展的电离层层析技术,GPS信号接收用于电离层电子总含量测量等新技术,在国内均有开展.特别值得一提的是,早在60年代,国内就用探空火箭发射了电离层探测用信标机,此后,还曾经利用国产大功率雷达配以专门研制的终端,成功地进行了几次非相干散射技术试验,也曾利用火箭发射的机会,对电离层D区的电子密度做过直接测量.通过上述一系列电离层地面观测手段,积累了丰富的观测资料,在电波传播应用及电离层物理研究方面发挥了重大作用.

电离层形态一直是电离层物理学关注的问题之一.经典的电离层形成、损失和动力学理论已经表明电离层在时空变化方面的复杂性.涉及太阳辐射谱及其变化,背景中性大气成分、密度、温度分布,中性风,地理的和地磁的位置,以及电场、磁场和中层的影响等诸多因素.平均而言,地球自转和公转使电离层产生日、季、年及纬度变化,产生大气电离的辐射谱段(远紫外、软X射线等)随太阳活动的变化非常剧烈.这使电离层明显随着太阳自转周及太阳活动而变化,且在太阳爆发期间表现出剧烈的扰动.同一地理纬度的各点可以处于不同的地磁纬度,具有不同的磁倾角和偏角,带电粒子的运动,以及随之而来的电子密度分布也会受到影响,这些因素及其组合,使得电离层的形态变化非常复杂.但一般认为,电离层的下垫面是中层大气,远不像地形的海陆分布那样差异明显,因而长期以来,似乎认为电离层的地域特征可能不是一个重要问题.然而,近年来国内一系列资料分析、模型比较和理论研究表明,电离层似乎确实存在着某些地域特点.近年来的观测资料分析显示, E_s 的发生率在我国上空电离层存在一个极大值,大体上位于重庆—拉萨一线. E_s 的出现率明显与地磁场的水平分量相关,且我国的 E_s 类型丰富,常常出现一些通常在极区或赤道地区显现的类型,称为赤道异常或Appleton-Liang异常.这一异常表明,F区电子密度在低

纬处最大值并不在磁赤道上,而在磁赤道南北两侧各 10° 左右之处,又称为赤道双峰现象.国内的低纬探测资料表明,赤道异常北峰在我国东经 120° 附近,可由北伸展至地理纬度 $25^\circ - 28^\circ$,即使考虑到地磁与地理纬度之差异,在南美洲同样差别的区域,并未观测到如此明显的南移.国内也对赤道北峰的演化形态进行了较细致的研究,确认了 F_2 区在太阳活动高年北峰的明显存在.这些分析结果对国际参考电离层或国际无线电联盟推荐的参考电离层在中国广大地区应用于预报时的地区性修正,具有重要的实际意义.就经度变化而言,最近,中国电波传播研究所的研究表明,长春站和乌鲁木齐站几乎具有同样的地理纬度,而经度相差约 30° ,在太阳活动高年的夏天,地方时白天,乌鲁木齐 F_2 区的临界频率远高于长春.这一经度效应是否仅用地磁与地理位置的差异就能加以解释,还需做进一步的工作.在声重波传播方面,武汉物理与数学研究所设在该地区的3站多普勒频移设备可用于声重波的定源研究.观测结果表明,在中国中部地区上空,电离层中传播的中尺度声重力波明显存在着两个优势方向,一种是向东北方向传播的扰动,其时空尺度相对较小,扰动源位于青藏高原东南缘,另一种向东南方向传播,扰动时空尺度相对较大,扰动源位于青藏高原东北缘.东北向扰动主要出现在夏半年而东南向的主要出现在冬半年.这些发现表明,青藏高原的特殊地形可能导致了我国上空电离层的地区特征,例如较高的 E_s 和扩展-F出现率等.地形的影响能否直接达到电离层,通过何种途径施加这种影响,联系到一些研究表明台风、寒潮等与F区的相关,的确提出了一个很有意义和值得探索的新课题.空间科学与应用研究中心的研究人员发现并指出,赤道与低纬TEC存在着准两年周期的调制,表明了低层大气影响电离层的一种可能途径.前已谈到,在中低层大气和电离层相互作用过程中,声重波可以起重要的作用,声重波本质上是受重力影响的声波,当声波频率非常低时,在热压力涨落作用之下,流体分子的震荡运动开始受重力调制,

物理

从而使声波性质发生大的变化.武汉物理与数学研究所首次发现中层顶存在能量下行的重力波,改变了重力波都是从低层大气传播上去的传统观念,这对弄清电离层重力波的来源和激发机制提供了新的思路,并推导出耗散大气中重力波相互作用的基本方程,给出了耗散条件下参量不稳定的解析结果,表明耗散能够减缓不同尺度波之间相互作用过程的发展,阻止波长差别较大的重力波之间的相互作用,证明波长数千公里以上的大尺度大气波动波可以向数百公里尺度的惯性重力波传输能量,这是中层大气中一种重要的能量串级机制,对电离层和低层大气间能量交换过程的研究有重要意义.

随着电离层物理学的发展,以及观测资料的大量积累,也由于实际应用和理论研究的需要,近20年来电离层模式研究受到人们的重视.一般来说,模式可区分为统计的、经验的和物理的等几种类型,可以表示为一个或一些电离层参量与某些影响因素的相关曲线或公式,例如,某层临界频率与太阳黑子数、太阳高度角等的相关拟合曲线,也可以是全球的电离层经验模式,建立在全球测高仪及顶部探测多年资料积累的基础上.随着个人计算机的普及,这种模型发展得相当完善,可以给出各种不同地球物理条件(绝大多数仍然是宁静状态)电离层的空间分布.当前最具代表性的是国际参考电离层(IRI),既可用于短波通信预报,又可应用于电离层物理研究,但其精度受到所用资料时间和地域跨度的限制.物理模型则考虑到必要的物理过程,电离的产生、损失和输运等因素,由于所有的过程是相互耦合的,建立完全自治的物理模型,目前还不现实,常常根据研究的目的而有不同的侧重,并需要与中性热层背景和磁层过程相结合.我国电离层物理工作者近年来在这方面做出了很好的成果.国内探测资料与IRI86和1990年版本的比较研究表明,在 E_s 、 F_1 发生率, F_2 区临频月均值和总含量极大值的出现时间与太阳活动周的关系等方面,有时实测与模型有相当大的差异.这些结论表明,一方面,应与国际上开展广泛的资料交换,使一些国

际上通用的电离层模型能够更广泛地包含并反映我国的实际,这也是我国对推动电离层物理研究应作的贡献;另一方面,如前所述,电离层地域特征的问题,也值得我们在形态变化机制方面给予更多的注意.充分利用我国区域广阔和资料丰富这一优势,确认地域特点的存在及机制,同样是我国在电离层研究领域可作出贡献的一个重要方面.建立在上述分析对比的基础上,中国电波传播研究所的电离层工作者提出了一个中国参考电离层模型,这是对IRI在中国地区应用时的一种修正.其主要特点在于,当模型用于中国地区时,计算 f_oF_2 和 $M(3000)F_2$ 时采用了该所发展的亚洲-大洋洲地区的计算方法,这些计算公式是根据亚太地区39个台站长期观测资料的统计研究而总结出来的.与此同时,采用了 F_1 发生率的新模型,并将E区的峰值高度确定在115km,这一做法使得中国参考电离层的预报值在本地区与实际测量值的接近程度显著提高,而在中国以外地区则得到和IRI同样的预测值.在物理模型方面,针对不同的研究目的,北京大学和武汉数学与物理研究所等近年来发展了几种不同的电离层物理模型,分别在E-F谷区研究方面强调了亚稳态氧离子的作用,而在 F_1 区形态方面重点考查了中性风的影响.关于 F_2 区的物理模型则重点考虑赤道地区的电动力学效应,或中纬度地区在地磁暴期间电子密度剖面的变化.结果确实表明,这些模型能够有效地反映电离层中某些确定的物理过程.

在电离层物理研究方面,国内在80年代初期通过电波吸收及甚低频电波传播资料分析在D区形态方面的发现是很有意义的.D区是电离层的最低区域.这里中性分子丰富,从而对电磁波的中短波段有强烈的吸收作用.北京大学通过对这种吸收资料的分析,发现电离层D区电子密度变化在夏天受太阳控制,而冬季则明显受到来自低层大气的影响,叫做吸收的冬夏不对称性,欧洲科学家利用卫星资料报道了同样的现象,国内的工作与此是同时而各自独立的.在D区吸收方面,武汉大学和北京大学等

还报道了吸收的冬季异常与平流层突然增温相关。80年代以来,有关电离层物理问题的数值模拟研究也蓬勃发展,主要集中在电离层赤道异常峰形态,低纬哨声的电离层传播机制,特别是中、低纬度扩展-F(电离层F区的一种常见的不规则结构,导致电离层探测回波时延的散开)的激发、演化及其与声重波的相互作用。北京大学最近将热层环流与电离层电子密度分布相结合的一个二维热层-电离层耦合的数值模型建立起来,并在它的基础上探讨了磁暴期间热层扰动的演化过程。这一模型将为国内深入开展热层、电离层和磁层之间的耦合研究提供有力的工具。

电离层测高仪获取的频高图的反演技术是得到连续的基础电离层数据的重要手段,国内在这方面开展了长期的系统研究。武汉物理与数学研究所发展了一种可以得到包含电离层谷区信息的电子密度剖面分布的方法,他们在引进含谷电离层剖面群、相高关系式或电子密度实际含谷分布与等效单调分布剖面差等重要概念的基础上,提出了从垂测频高图计算电子密度的方法,即使对质量较差的实测频高图,也能从各种可能的电子密度分布中确定1个最可几的分布剖面。目前国际上较通用的是“POLAN”法,它对通常的频高图只是假定谷深的情况下可以推求谷宽,不能同时确定谷深和谷宽,但上述国内发展的方法,只要同时有两分量的描述,就可以同时确定谷深和谷宽。当然,通常的频高图不总是具有两分量的描述,但满足这一条件的也不是太少,因而这一方法在实际应用上很具现实意义。利用这一方法对武昌电离层测高仪频高图记录做出了系统分析,探讨了E-F谷区的白天变化形态,以及 F_1 - F_2 谷区的结构,在谷区形态方面得到了许多新结果。

近10年来,我国在南极电离层探测和研究方面有快速的发展。除长城和中山两站一开始都已有的电离层测高仪和地磁的长达一个太阳周以上的资料外,中山站还建立了一个具有国际先进水平的高空大气物理综合观测系统,包括电离层数字式测高仪、成像式宇宙噪声接收

机、磁强计、极光全天空电视摄像机、极光扫描光度仪等,由于南极中山站处于一个特殊的位置,每天可以两次穿过极光带,这些仪器获得的资料对极区电离层过程,特别是极区磁层和电离层耦合研究非常重要,可以深入研究诸如电离层离子漂移速度、等离子体对流模式、地磁脉动和磁层中低频等离子体波的关系等。目前,已出版了3册观测资料和学术论文多篇,并和日本等国家开展了广泛的国际合作和交流,上述极区的高空物理研究目前主要集中在中国极地研究所、电波传播研究所和地球物理研究所等单位。

80年代开始,全球定位系统(GPS)快速地进入各个应用领域,由于电离层对电波传播的时延效应,在精度定位时必须对电离层的影响加以修正,而反过来,GPS系统提供了一种电离层研究的新手段,通过对卫星两个不同频率群时延和相位的接收和差分,结合卫星星历的计算,可以推出卫星和接收站间不同路径上的电子总含量(TEC)。国内在这方面开展了较广泛的观测和研究,特别注意了在声重波、电离层暴、日食、太阳爆发等特殊扰动条件下电子总含量的变化,当前这一领域的工作还在发展中。与此有关联的电离层层析成像技术也已在国内开展起来。将断层扫描技术应用于电离层探测的设想在80年代中期提出并很快得以实现,其原理是利用沿过极轨道运行的卫星发射的VHF或UHF信标信号,在地面沿经圈布设若干接收站,通过差分群时延或差分多普勒技术获得一个子午面内大范围内多条相互交叉路径上的电子总含量,反演出高度-纬度二维平面内的电子密度剖面结构。我国武汉大学、台湾中央大学、中山大学与美国伊利诺大学合作,在北半球赤道异常区沿东经 120° 子午线设立了一条北起上海南至马尼拉的低纬CT探测台链,可以有效地研究低纬赤道异常区电子密度的大尺度结构。目前,已在电离层暴期间电子密度变化、赤道异常峰形态、不规则结构沿磁场的分布等方面获得许多新结果,并在反演方法方面不断创新。

过去的 50 年间,我国的电离层科学有了长足的发展,本文仅就探测及基础理论研究方面做一简略小结,难免挂一漏万,不够全面.有关电离层在空间环境、现代通信、精密定位及其他国民经济和国防技术领域的应用,基本没有涉及.在这世纪之交的时刻,我们应当同时看到自己的进步和不足,就电离层研究而言,我们在探测手段方面与世界先进水平的差距是相当大的,电离层研究的深入和现代应用技术的发展对电离层探测提出了越来越高的要求,应当对电离层事件的演化,特别是扰动事件进行时间上连续的、空间二维或三维结构的监测,需要新的手段对不同尺度的不规则结构进行高时间和空间分辨率的观测,需要多种手段的综合观测,许多新技术,如低信噪比下信息的提取、各种电磁波段的成像技术,都正在引入电离层探测中.相比之下,我们暂时还没有自己的大功率的相

干和非相干散射雷达,没有自己的信标卫星和电离层顶上探测数据,地面探测设备的数字化、自动化以及实时处理数据的能力都比较落后,不同部门现有台站设备综合利用效率以及各自的管理水平也有待提高.电离层研究是人们认识整个日地空间环境的一个重要环节,而探测是电离层物理研究的基础.大力推动我国的电离层探测是当务之急,将为我国在下一个世纪的电离层物理,乃至整个空间物理和空间环境方面的研究全面步入世界先进行列奠定极为必要的良好基础.

参 考 文 献

- [1] 梁百先,李钧,马淑英.地球物理学报,1994,37(增刊 I):51—73
- [2] 萧佐.地球物理学报,1997,40(增刊):21—27
- [3] Jiao P N, Wu J. Adv. Space Res., 1998,18:191—200

1999 年第 12 期《物理》内容预告

研究快讯

铁电畴的环境扫描电子成像术(祝世宁).

知识和进展

离子束生物工程应用研究进展(吴丽芳等);

分子自组装技术(曾鹏举等);

相干谐波储存环自由电子激光(刘金英);

纳米硅薄膜的量子特征及其应用前景(刘宏等).

物理学和经济建设

一种新型的核能供热装置——深水池供热堆的原理及工程特性(施工等);

拉曼微区分析技术在古颜料研究中的应用(左健).

实验技术

热壁外延与 IV-VI 族半导体红外器件(杨玉琨等).

讲 座

21 世纪光学和光电子学讲座第二讲 硅基发光材料和器件研究(陈维德).

物理学史和物理学家

对我的老师钱临照先生的怀念(李林);

缅怀我国晶体范性及电子显微学研究的先驱钱临照先生(郭可信);

缅怀钱临照先生对中国物理学会和中国电镜学会的贡献(吴自勤);

阿拉果对科学发展的贡献(王较过).

前沿和动态

让热声引擎像内燃机一样高效(戴闻);

高温超导体中的慢速、平带和条纹(戴闻);

征文启事(中国硅酸盐学会固态离子学分会).