

真空紫外光谱学、X 光光谱学 在空间研究中的应用

胡 仁 超

一、前 言

真空紫外光谱学在十九世纪末由德国舒曼同美国赖曼开始建立，X 射线为德国伦琴在 1895 年发现。经过若干学者们的不断努力，它们都已成为光谱学的重要分科。前者主要用在原子、分子光谱学和高温等离子物理研究中，后者主要用在光谱分析和医学中。至近代它们又开始在空间探测研究中应用。本文将介绍真空紫外，X 光光谱学在天文学同空间物理学方面空间探测应用的发展概况。

下列原因引导人们开始用空间探测方法去研究天体物理同空间物理的科学问题。

1. 地球大气对地球外来的电磁波辐射只存在二个主要透过窗（一在近紫外到可见光区，另一在 $\lambda = 1$ 厘米至 12 米的射电区），及若干狭窄的透过窗。在地面上不能接收到透过窗以外由地球外来的电磁波辐射。

2. 过去早知太阳光谱在 3000 埃附近突然截止，截止的原因是由于大气中臭氧层的强烈吸收。臭氧层的高度为 25—30 公里，臭氧吸收带在 2000—3000 埃，2000 埃以下被大气气体 N_2 和 O_2 吸收。气体吸收系数越大，则辐射被完全吸收的高度越高。故可认为如观测仪器能升至高空脱离大气吸收的影响，则人们一定可观测到地球外来的短波辐射。德国人 *Regener* 在 1934 年曾用气球升至 35 公里摄制太阳光谱，避免了大气臭氧的吸收影响，使太阳光谱在紫端有有限的延伸。

3. 瑞典 *Edlen* 在 1942 年识别了日冕的可见谱线，这些谱线系属于某些元素的高次电离光谱，如 FeX , XI ; MgX 等。产生这样高的电离，日冕温度应达 $10^6 K$ ，因此他推论太阳应有 X 光波段的辐射。另一方面，从地球电离层的研究知道电离层的产生应与太阳的真空紫外，X 光辐射有关。

4. 热核受控反应装置中的高温等离子体温度亦达 $10^8 K$ ，电离级可达甚高。因此联系它同太阳等离子体有相似之处。

1946 年美国使用德国的 *V-2* 火箭进行科学研究，其中首先进行的就是有关太阳短波辐射的探测，由此开始了天文物理学、空间物理学的空间研究工作，三十五年来取得很大的成就。

早期的空间探测主要使用火箭同简单的卫星，稍后又使用近地轨道大型卫星同载人卫星及可达行星的飞船。预期在不久后航天飞机将开始正式使用。在近地轨道卫星能成为半永久的日常观测用的天文台以及月球天文台在将来能建立后，空间天文学将可得到更大的发展。

下面将依次介绍在火箭、卫星上对太阳，行星同恒星的真空紫外，X 光辐射的空间研究工作。总的说这些成就都还只是开始或初步的，预期在数十年内将得到更大的发展。

二、太阳的空间研究

太阳为距地球最近的恒星，它的光谱的空间研究在技术上较易做到。故它是第一个为空间探测方法研究的天体。

火箭同卫星上所用光谱仪器，要求体积小，重量轻，有良好的牢固性同稳定性。因太阳的真空紫外区强度比可见区弱4—6个数量级，光谱仪器中的杂散光干扰比较严重。如何消除杂散光为光谱仪器设计的重要问题，可使用增加色散元件，滤光片同反射镜的聚焦隔离等方法，也可使用选择性探测器达到同样目的。

测量太阳光谱可使用摄谱仪摄影或分光光度计记录。一般的说，摄谱仪适用于火箭（可回收底片），它的光谱分辨率较高。分光光度计可将信息遥传至地面，一般它的光谱分辨率较低，但光强量度较准确。它们都置于密封容器中，容器有漏气小孔，使升达高空时漏成真空。光谱仪器在火箭、卫星上都附有自动对准目标的高精度瞄准设备，以避免火箭、卫星自身的运动，自转同摇摆的影响。卫星使用的光谱仪器都由在火箭上已用过的仪器发展过来。使用前需经过严格的环境试验（包括温度、振动、冲击等），并先在火箭上使用考察其工作性能。

火箭同卫星上使用的光谱仪都应进行绝对光强标定。

1. 火箭同卫星上使用的紫外光谱仪器 现介绍一些有代表性的火箭紫外光谱仪器：

(1) 正入射光栅光谱仪

在容器内有二个单独的正入射光谱仪，光谱范围各为1500—3000埃，500—2500埃。光栅曲率半径皆为 $R = 40$ 厘米，刻线为600条/毫米。

(2) 正入射平面光栅光谱仪加分光日面成像仪

在容器内有一个正入射光谱仪，另一为分光日面成像仪。日面仪为一正入射光谱仪，不用入射狭缝而用太阳本身作为光源，在光谱仪焦面上产生太阳单色光像。

后来又研制成性能更好的双凹面光栅日面仪，它由仪器中第一光栅 G_1 先形成分光单色像，此光栅已经过变形使能校正象散。单色像经过焦面上的光孔限制再通过第二光栅 G_2 成像和消除杂散光。光栅都用一级光谱工作。像的角分辨率可达 $0.5-1'$ 。可在不同波长处摄影，曝光时间为0.02秒。

较简易的分光日面仪可用一个凹面光栅成象，用铝滤光片滤去长波并抑制杂散光。

太阳物理中需知日面上自中心至边缘的强度变化（临边效应），及研究日面上太阳活动中心的形态同细致构造的发展。此类研究需要在日面上有较高的角分辨率。

(3) 双凹面光栅正入射光谱仪

此光谱仪的第一光栅 G_1 先形成上述的日面仪，在它的焦面上置一狭缝（与 G_1 刻线垂直）作为第二光栅 G_2 的入射狭缝。 G_1 同 G_2 互相垂直。因此 G_2 所产的光谱为上述狭缝所限制的日面像光谱，由此可研究日面光谱分布。因为 G_1 同 G_2 互相垂直，使杂散光大为减少而能观察到太阳弱的谱线同连续光谱。此原理后来也曾用在掠入射光谱仪上。

(4) 光电分光日面仪

现以能同时产生304埃($He II$)、584埃($He I$)，同1216埃(L_α)日面像的日面仪为例说明。光栅的 $3/4$ 面积刻线为600条/毫米， $1/4$ 为500条/毫米。在光栅法线附近将产生上述波长三个不同光谱级的单色消色散像。像直径为4.5毫米。用—Bendix 通道型光电倍增管（内径20微

米,长1厘米)机械方法扫描,瞬时视场角相当日面 $1'$,扫描面积 $40' \times 40'$ (日面视角为 $34' = 2000''$)。扫描结果可实时遥传至地面。此种光电方法的原理以后曾同样在卫星上使用。

(5) 分光光度计:

*Hinteregger*所研制的分光光度计曾取得很好的观测结果。此掠入射分光光度计使用2米曲率半径的凹面光栅,入射角为 86° ,光栅刻线分别为300,600,1200线/毫米等三种,可以互相调换。300刻线光栅用在250—1300埃,1200线用在62—325埃。光栅表面镀金,闪烁角为 4° 。钢带上的出射狭缝用马达驱动绕罗兰圆转动。光电倍加管为特制无窗型磁聚焦式。其阴极为钨,它对 $\lambda > 1300$ 埃不敏感,能有效地抑制长波杂散光。用计数方式量度。

1962年,与上类似的单色仪曾在美国卫星上使用,用以系统研究太阳短波辐射的时间变化。光栅曲率半径为1米,576线/毫米,入射角 88° ,使用光谱范围170—400埃。入射狭缝宽为50微米时,光谱分辨率为1.7埃。

2. 太阳的紫外光谱研究

太阳物理学的基本问题为建立太阳大气中的成份、密度、温度等的高度分布模式及探索日冕层的加热机制。自光球层经色球层至过渡层,温度由 $6000K$ 突升至日冕的 10^6K 的温度分布,可根据光球层湍流所产生的机械能向上传输的理论模式求得。因为真空紫外区光谱同高温联系,故火箭上观测到的太阳光谱照片可用以研究过渡层同日冕的物理状态。

1946年美国使用V—2火箭首先得到越过3000埃达到2000埃的太阳光谱。*Rense*在1953年观测到 L_α 线。*Johnson*等首先得到太阳真空紫外区完整的光谱。光谱上表现在 $\lambda > 2000$ 埃时为光球的连续光谱,上面有密集的失牢因吸收线。在 $\lambda < 2000$ 埃时为来自色球,日冕的发射线。

*Tousey*等曾用阶梯光栅摄得太阳的高分辨率光谱,以后英国使用经过改正的三轴定向系统,使这个工作更为完善^[1]。

为了解决杂散光干扰的技术困难,掠入射光谱工作出现稍晚。*Violette*同*Rense*首先使太阳光谱延伸到304埃。利用铝膜滤光片抑制杂散光,使摄影方法同光电方法开始延伸至数十埃,得到清晰的太阳光谱。

曾得到下列太阳光谱的研究结果:

(1) 太阳的连续光谱

太阳的可见,紫外连续光谱只由光球辐射决定,可延伸至1700埃,此后强度甚低。由于强度随波长的分布不一律,我们甚难用一个温度值来描写。在可见区连续谱温度为 $6000K$,在2085埃为 $5000K$,在1400埃为 $4750K$ 。在波长更短时温度又增加,如在912埃时为 $6500K$ 。此为氢原子在色球中的辐射。

(2) 太阳的氢线

L_α 为太阳光谱中的最强线。其强度为6.0尔格/厘米²秒,几乎恒定不变。它的线廓可用高分辨率方法求得,半宽度约为1埃。 L_α 线中心存在一吸收线,半宽度为0.4埃。此吸收线由上,下二部分组成。上部为太阳大气中氢的吸收,由此可比较日面上宁静区同活动区的温度可差 2×10^4K 。下部(半宽度为0.03埃)系由于太阳同地球间的氢原子吸收,其温度为 $800-2100K$ 。此吸收能量同地球 L_α 气晖(为地冕氢的发光)测得的强度相符。

(3) 日冕线的识别

日冕谱线在可见区难于观测到(只有在日食时同日冕仪中可观测到),而在真空紫外区则在火箭上甚易观测到。日冕可见谱线的识别曾为长时难以解决的问题。1939年*Grottrian*首

先提出解决的办法并由 *Edlen* 加以完成。*Grotrian* 提出日冕线 6374 埃系等于 $Fe\ X$ 的光谱项差, 7892 埃为 $Fe\ II$ 的光谱项差。这些铁的火花光谱在此稍前已由 *Edlen* 在实验室求得。现已观测到的可见区日冕线有 96 条, 其中 39 条已得到识别。在真空紫外区的日冕线可根据上述方法同样得到识别。

太阳光谱在 170—200 埃曾同 *Zeta* 及 *Scylla* 高温等离子体发生器的光谱比较。当它们中有铁杂质存在时, 所得光谱与太阳光谱符合, 属于 $Fe\ VIII$ 、 IX 、 X 的谱线。

在 50—110 埃间的 225 条太阳谱线已被识别。已观测到太阳谱线 287 埃 ($Fe\ X\ V$)、335 埃 ($Fe\ X\ IV$) 有时间变化, 与太阳活动相关。

现在已观测到太阳光谱发射线主要属于自氢至铁的轻元素。已知最短波长为 1.88 埃 ($Fe\ X\ X\ V$ ^[2])

(4) 日食时的太阳光谱

Gabrial 等曾观测日食时的太阳光谱, 发现 25 条日冕新线^[3]。 L_{α} 线宽度较大, 同太阳风中氢原子的外逸速度有关^[4]。

(5) 地球高层大气研究

在火箭上升过程中在不同高度观测太阳光谱, 由此可研究高层大气不同成份对不同波长谱线的吸收。大气成份的吸收系数可在实验室求得, 由此可外推大气外太阳光谱强度。太阳辐射强度, 大气不同成份的吸收系数, 电离系数以及电子, 离子同原子的复合系数等三者可用以研究、解释地球、行星大气中的光化学、大气分层 (如电离层、臭氧层、温度的高度分布等) 等问题。

3. 太阳的 X 光研究

太阳的 X 光辐射在 1949 年首先由美国海军实验室 *Fridman* 等使用盖革计数管在 $V-2$ 火箭上观测到。X 光的波长范围为 $\lambda = 100 - 0.02$ 埃, 位于真空紫外同 γ 射线之间。以 $\lambda = 1$ 埃为界, 其上称为软 X 射线, 其下为硬 X 射线。太阳日冕温度为 $10^6 K$ 。由维恩定律可知日冕辐射极大值应在 20—30 埃间。太阳日冕 X 射线为众多谱线的积分, 其强度比 X 线热连续光谱大十倍。

太阳日冕 X 射线有三种时间变化分量, 第一部分为缓慢变化, 随太阳十一年周期变化。第二部分随太阳自转周期二十七日变化。日冕的活动区温度 $T = 2 - 4 \times 10^6 K$, 电子密度比周围宁静区大数倍。在活动中心的 X 光, $\lambda = 5 - 10$ 埃区域比宁静区强得多。太阳上的活动中心可延续数个太阳自转周期。在太阳极大年时, 日面上可同时有数个活动中心存在。第三部分为在太阳缓慢变化成份上迭加有伴随太阳耀斑 (*flare*) 发生的瞬时短期变化。此类变化与太阳的光学耀斑、射电爆发相关。又与地球上某些地球物理现象 (与日地关系有关) 联系。如电离层的破坏引起无线电通讯的中断, 高能太阳质点辐射对宇宙航行的危害等。它们的研究现已用在无线电通讯同载人宇宙航行安全的预报上。

在 X 光光谱工作中缺乏 X 光透过的光学材料。粗糙的 X 光单色仪系用 X 光光敏元件加上有限的滤光片材料得到。如含碳的有机薄膜 (100—50 埃), 铝膜 (8—20 埃)。可用晶体做的凹面反射光栅制成较精细的布拉格 X 光光谱仪, 其使用光谱范围为 $\lambda < 25$ 埃, $\lambda/\Delta\lambda$ 可达 1000。

X 光的单色光像可用小孔成像同 *Fresnel* 波带片方法 (角分辨率低) 成像。掠入射 X 光望远镜可得较高角分辨率同灵敏度。它们三者都需加适当的滤光片。准备发展的掠入射望远镜加上布拉格光谱仪可同时提高光谱分辨率同角分辨率。

4. 太阳的卫星工作

进一步研究太阳表面的细致构造, 长时间的时间变化需使用卫星研究。这种工作在六十年代开始进行并得到较大的发展。前述火箭工作曾为卫星工作积累经验并建立了基础。

美国最初曾用 $SR-1$, $SR-2$ (太阳辐射卫星) 等简单卫星测量太阳 X 光同 L_{α} 强度的时间变化, 探索它们同光学耀斑的关系。观测到 L_{α} 几乎无变化, 40—100埃 X 光变化很小 (宁静太阳)。8—20埃、1—2埃则随太阳上光学耀斑的出现而突增。

后来发展为能进行多项目观测的美国 OSO 系列卫星 (轨道太阳观测台)。其上装置有 γ 射线光谱仪, X 射线光谱仪、电离室、 L_{α} 线廓光谱仪、紫外光谱仪、分光日面仪等仪器对太阳做综合的观测同研究。

其中紫外光谱仪同分光日面仪可以 $OSO-6$ 卫星上所用仪器为例。仪器可分别作波长扫描得到 300—1400 埃光谱, $\Delta\lambda = 0.1$ 埃。或在波长一定时作日面角扫描得到分光太阳象, $\Delta\theta = 0.5 - 1'$, 分别实时遥传至地面。日面分光象可取 300—1400 埃间的任一波长, 也可为整个日面或日面的一部分。

1973年美国发射载人天空实验室, 其上的 ATM 装置 (*Apollo* 望远镜装置) 使原 OSO 卫星上的实验更加完善^[5]。实验可由卫星上的人直接控制。此装置上的众多仪器中有 X 光、紫外望远镜研究日面太阳活动现象。仪器设备较大, 增加了摄影方法可长时曝光, 故仪器的光谱分辨率、灵敏度, 角分辨率都有了提高。如 X 光日面仪的角分辨增至 5 秒, 使能研究太阳活动区的精细结构同磁流体力学的关系, 并发现了日冕的黑洞。

1980年值太阳第二十个周期极大年。这是一个研究太阳活动的好机会。美国同欧洲联合为此发射 SMY 卫星 (太阳极大年卫星), 已在 1980年 2月 14日发射^[6]。它主要用于研究太阳耀斑的建立、能量释放同这些能量通过行星际空间产生的效应等三个阶段的问题。上面有硬 X 光爆光谱仪、分光日面仪、软 X 光单色仪、紫外光谱仪同偏光仪、日冕仪同偏光仪、活动区黑洞辐射照度监视仪等。是一次有组织的专题国际观测。

三、恒星的空间研究

1. 恒星紫外光谱

因恒星际主要物质氢原子的吸收, 恒星光谱只能摄到下限 912 埃 (氢电离限)。太阳则因光强度大、距地近和星际物质吸收可以忽略而可摄至 X 光区域。

火箭工作: 1955年美国海军实验室首先利用火箭的自转扫描天空 (视场角 20°), 试行观测恒星光谱。这样粗糙的观测不可能仔细研究某一星体。以后有了火箭上较准确的瞄准系统, 于是有可能得到恒星、星云的紫外光谱、分辨率可达 1 埃。Burton 等曾观测过二颗亮星光谱的吸收线同线廓、光谱范围为 1000—2300 埃, $\Delta\lambda = 0.03$ 埃^[7]。

卫星工作: 六十年代中叶开始了卫星的恒星工作, 其中以美国的 $OAO-2$ 同欧洲 $TD-1A$ (英、比联合) 两个天文卫星的工作成绩比较显著。

$OAO-2$ 卫星 (意为轨道天文台, 又名哥白尼卫星), 于 1968 年发射成功。为六十年代最重 (重达二吨)、化费最大同设备最复杂的科学卫星。它的圆形轨道高 776 公里。星上指向系统可准至 $1''$ 。星上有二组紫外试验。

第一组试验为美国 *Wisconsin* 大学小组建立。有七具望远镜, 其中最大物镜直径为 16 英尺, 光谱分辨率为 10 埃。故不适合于精细的光谱工作, 但可用以观测恒星的 $Si\ IV$ (1400 埃) 同

C IV (1550埃) 的吸收光谱、及星际物质氢的 L_{α} 吸收线。

第二组试验为美国 *Smithsonian* 天文物理台建立称为 *Telescope*。有四具望远镜，物镜直径为12.5英尺，长24英尺。视角直径 2.5° 的天空聚焦在对紫外敏感的摄像管 *Unicon* 上。四个望远镜的光谱范围各为 3200—2200、3200—1600、2000—1350、2000—1050埃。

TD-1A 卫星在1972年发射^[8]，望远镜直径27厘米，可得1350—2550 埃间低色散光谱及2750埃的光度量度，可测至 9—10 等星。

这二颗卫星将用以量度天空众多恒星的紫外亮度。由此首次编制出紫外星表^[9]。可用此研究恒星演化同一些别的天体物理学问题。可研究 O、B、A 等型热星。它们的温度比太阳更高，紫外辐射更强，演化速度更快。研究冷星，预期可发现此类星的色球，日冕紫外辐射。

1978年发射成功了 *IUE* 同步卫星（国际紫外探测卫星，由美、英、欧洲联合建立）^[e] 它是用以研究恒星，星云同行星紫外光谱的专用卫星，设备比较完善。此卫星的阶梯光栅光谱仪曾得到御夫座 α 星的1150—1900埃， $\Delta\lambda = 0.1$ 埃光谱。此光谱显示色球谱线 L_{α} 、*Si IV*、*C IV*、 L_{α} 线上有星际物质吸收。光球光谱自1600埃开始。卫星上的低色散光谱仪 ($\Delta\lambda = 6$ 埃) 得到星云 *NGC 4151* 的光谱，其中有发射线 L_{α} 同 *C IV* (1500埃)， L_{α} 线宽6埃，可能部分同地冕的 L_{α} 有关。

由恒星紫外光谱尚可研究下列问题：

某些超巨星的恒星风（意义相似于太阳风）问题。此类恒星风的外逸物质可能为恒星际物质补充来源。

恒星际物质：叠加在恒星光谱上的恒星际物质吸收光谱可用以研究恒星际物质的成份同物理特性。现知行星际物质除氢原子外尚有 H_2 。需研究恒星物质的灰尘部分。

特殊星体的研究：除众多的恒星外，银河外的特殊星体数量虽少，但它们的地位甚为重要。这些特殊天体有行星星云、变星、磁星，双星、超新星等，以及一些反常星体如 *M 82*，*M 87*，它们曾显示有在近代爆炸过的痕迹。尚有类星体、它们是我们现观测到最远的星体。

2. 恒星 X 光的研究

太阳系外的 X 光天体在1962年首先为 *Giacconi* 在火箭上观测到^[10]。他们曾在美国空蜂 (*Aerobee*) 火箭上装置三个大的盖革计数管， $\Delta\lambda = 2-8$ 埃，它的灵敏度比过去所用者大 100 倍。原用以观测月球表面因太阳 X 光照射所产生的荧光现象。在实验中，虽荧光现象没有观测到，但意外地观测到天蝎座 X 光星体，现命名为天蝎座 X-1 (X 光星命名方法，意为在天蝎座的 X 星 1 号，下同)，这是恒星 X 光天文学的开始。

恒星 X 光探测仪器的探测器有盖革计数管、正比计数管、闪烁计数管（可见光电倍增管加 *CsI*、*KCl* 等闪烁晶体）等。它们加上适当的滤光片后可用以量度不同波长范围的 X 光辐射。它们在火箭同卫星上对目标的定向可使用蜂巢形准直器，狭缝准直器扫描得到。用 *Oda* 准直器扫描可得到较高的角分辨率。*Oda* 准直器系用二层平行金属线（二者间有一定距离）组成，线距等于金属线粗。当准直器对着目标转动时，它可产生调制输出信号。因平行入射 X 光，由于在上下线间空隙通过或被遮掩，在探测器上交替产生极大、极小输出。此准直器定向装置可得角分辨率 $1'$ ，并由调制程度的减弱情况可估计光源的尺度。

在大型卫星上尚可使用前述掠入射望远镜观测 X 光星体。这一类望远镜由抛物面和双曲面组成物镜以校正象差。在七十年代可做到的物镜直径为 0.5—1 米，焦距为 5—10 米；在八十年代希望可做到直径为 5—10 米焦距为 50—100 米。有人建议使用 100 平方英尺的正比计数

管阵列观测X光星体。

自1970—1978年，世界上共已发射过12个与量度X光星体有关的卫星^[11]。如 HEAO-1 卫星（高能天文台）已在1977年发射，用以调查天空X光星体，波长范围为 0.1—10Kev（100埃—1埃），灵敏度比过去高五倍，定向准至10''。

四、行星的空间研究

行星距离地球最近。行星的观测同研究可在地面天文台、近地轨道天文台以及能到达行星的飞船进行。

由紫外光谱可研究行星大气的成份同它的物理状态。由行星反照率 (*albedo*) 的波长变化可帮助推测行星的大气，云同行星表面对阳光的吸收同反射。由此可推论行星大气的成份、密度、温度等。由宽的吸收带可证明行星大气有无 O_2 、 O_3 。由发射光谱可观测大气成份的原子，离子态，它们系由阳光的激发、离解同电离作用产生。可见到如 OI 的 1304埃，1356埃谱线， NI 的 1200, 1493, 同 1744埃， N_2 、 N_2^+ 、 NO 的分子光谱等。这些光谱都存在于1300—1800埃区域。

量度行星 L_a 的强度可计算行星外缘温度，由此可推论此行星的历史。

行星的卫星直接探测可有下列几种方式：

1. 飞船经过行星时对行星进行观测。
2. 飞船至行星附近后变成行星的轨道卫星。
3. 飞船在行星附近发射飞行器，在行星上硬着陆和软着陆。
4. 载人飞船至行星作直接同间接观测。

这些方法已通过美国 *Marianer*, *Viking* 等系列飞船对水星、金星、火星、木星、土星同地球的卫星月球进行过不同程度的探测。至火星的载人飞行现已在计划中。

在行星大气同行星表面的观测、研究中，除紫外光谱方法外，尚需进行可见、红外、射电的光谱工作。

最后，附带介绍彗星的探测。利用紫外光谱可研究彗星的化学成份。 $OAO-2$ 卫星曾发现彗星周围所围绕的氢云。彗星上的 OH 比 CN 多数倍，由此可推论彗星的主要成份为水，它以冰的形式存在。

参 考 文 献

A. 一般参考：

- a. M.D.Papagiannis, *Space Physics and Space Astronomy*, Gordon and Breach Sci.Pub., New York, 1972.
- b. A.N.Zaidel and E.Ya, Shreider. *Vacuum Ultraviolet Spectroscopy*, transl. by Z.Lerman, Ann Arbor-Humphrey Sci.Pub, Ann Arbor, 1970.
- c. W. R. S. Garton, *Far UV astrophysical spectroscopy*, in Koch ed, *VUV Physics*, 1974
- d. I. S. Shklovskii, *Physics of the Solar Corona*, 1962. (in Russian)
- e. C.de Jager, *Cospar Space Research*, V. 19, ed., M.J. Rycroft, 1979.
- f. A.J.Deutsch and W.B. Klemperer ed, *Space Age Astronomy*, Acad.Press, 1962.

B. 论文

- [1] Boland, B.C. et al, *Astron. and Astroph.*, **22** 161(1973).
- [2] Grineva, Ya.I. et al, *Solar Phys.*, **23** 441(1973).
- [3] Jordan, C., *Solar phys.*, **21** 381(1971).
- [4] Garbrriel A.H, *Solar Phys.*, **21** 392(1971).
- [5] Tousey, R. et al, *Solar Phys.*, **23** 265(1973) *Appl. Opt.*, **16** no.4(1977).
- [6] C de Jager et al, *Space Sci. Rev.*, **26** 317(1980).
- [7] Burton, W.M. et al, *Nature*, **246** 37(1973).
- [8] Boksenberg, A. et al, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **163**, 291(1973).
- [9] Massey, H.S.W. and R. Wilson, *Proc. Roy. Soc.* (1974).
- [10] Giacconi, R. et al, *Phys. Rev. Letters*, **9** 439(1962).
- [11] Mewe, R., *Space Sci. Rev.*, **26** 317(1980).