

多通道太阳磁场望远镜试观测报告

邓元勇, 艾国祥, 王敬山

宋国峰, 张斌, 叶祥明

中国科学院北京天文台

引言

多通道太阳磁场望远镜是一台以双折射滤光器为基础的视频磁像仪系统, 它主要由60cm九通道望远镜、35cm太阳磁场望远镜、10cm全日面太阳磁场望远镜、14cmH α 望远镜组成及8cm全日面Ca望远镜组成, 具有在光学波段对太阳进行多层次、多形式的实时测量的功能。它的出现是太阳物理仪器的一项重大突破。

多通道望远镜中的35cm太阳磁场望远镜作为一个单独的系统已工作过多年, 其余四个部分从1990年下半年起陆续安装、调试, 历经近四年的时间, 到目前为止, 已基本达到设计要求。本文就简要介绍这四个部分在试观测期间取得的一些观测结果。

一. 九通道望远镜

九通道望远镜的设计工作谱线为CaII3968, HeII4686, MgI5173, FeI5247, HeI5876, FeI5576, FeI6302及H α 6563九条, 但由于滤光器是万能可调系统, 因此还可以在许多别的谱线上工作。理论上除了HeII4686和HeI5876两条发射线及FeI5576外, 该系统可同时在其余六条谱线上进行太阳磁场的观测, 这种实时的多层次测量特别有助于太阳三维磁结构的研究, 而FeI5247和5250两条谱线是经常被用来作太阳小尺度磁场研究的著名谱线, 在该系统中, 由于它们仅在达到接收器之前才分为两束, 这种几乎绝对的同时性可以排除以往用线对比比例(line-ratio)法作太阳小尺度研究的许多不利条件。由于H α 这条广泛应用的色球线吸收线和HeI4686, HeI5876这两条发射线的使用, 又使得我们可以不同的层次直接去观测研究耀斑的空间结构。上述这些工作都是当今太阳物理研究中的前沿学科, 因此我们相信该望远镜必将对太阳物理的研究起到积极的促进作用。

1.1 白光像

九通道望远镜的物径口径为60cm, 因此其衍射极限分辨率高于 $0. '' 2$, 不过这只有在成像系统和接收系统的综合分辨率与之匹配的情况下才可能达到。因为双折射滤光器的透过率很低, 因此在有滤光器时像不可能太大, 否则光量不足, 因而估计系统的分辨率是在无滤光器的状态下进行的。试观测结果是令人满意的, 以下我们将看到单帧图像的分辨率已经达到至少是接近衍射极限分辨率, 而长积分的图像通过处理也可以接近这一分辨率。

1993年夏季, 在望远镜光路调试完成后搜集到一批白光资料, 观测中使用了 $5250 \pm 50 \text{ \AA}$ 的干涉滤光片, 视场约 $45'' \times 30''$, 系统分辨率约为 $0. '' 090 \times 0. '' 058/\text{pixel}$ 。图1

是一张单帧的米粒照片, CCD曝光时间40ms。由图中可见, 米粒及米粒间的暗径都清晰可见, 因为米粒间暗径的平均尺度约 $0.4''$ 左右, 因此这幅图的分辨率远高于 $0.4''$ 的量级。图2显示的是用斑点干涉像复原方法得到的长积分的米粒图像, 视场大小约 $12.76'' \times 9.9''$, 单帧图像的曝光时间为 $1/1000$ 秒, CCD扫描速度25帧/秒, 采样时间共约30秒。其中c是单帧样本, 虽然由于打印机的质量差而使分辨率降低了很多, 米粒及其间的“暗径”仍然是容易分辨的, a是30秒内的长曝光像, b是相关改正后的长曝光像, d是运用斑点干涉像复原方法对这30秒内的资料处理后得到的结果, 分辨率优于 $0.5''$, 而且这个分辨率是由于当时所用的CCD质量差造成的。如果CCD质量更好, 这个分辨率会大大提高^[1]。

1.2 单色像

在有滤光器的状态下, 对我们所用的CCD而言, 它的视场变为 $4.5' \times 3.2'$ 。图3、图4均为6563通道在线心的单色像。图3为活动区, 图4为暗条, 因为观测时间在9月底, 大气宁静度已很不理想, 但即使如此, $H\alpha$ 的各种色球结构, 例如色球纤维、纤维底部的亮点、谱斑等仍清晰可见。另外, 我们还用录相带记录了一些日面边缘的 $H\alpha$ 单色像, 从这些录像上可以看到清楚的日珥、针状体等 $H\alpha$ 结构。图5为HeI4686的单色像, 因为它是一条发射线, 因此在无发射时显示的仍然是光球特征。图中小黑子的本影、半影是可以分辨的, 但由于兼顾米粒的反差, 并不十分清晰, 黑子之外的区域, 米粒组织也是明显可以分辨的。此外, 除了3968通道由于CCD不敏感而难于获得资料外, 其它各路的单色像都不存在问题。至于3968通道, 最好的办法是配备对紫区灵敏的CCD, 这有待今后的改进。

1.3 磁场观测

在九通道望远镜中, 经常用于磁场测量的是FeI5247、FeI5250和FeI6302这几条强的磁敏线, 另外象CaII3968、MgI5173及 $H\alpha$ 6563这些磁敏因子较小的通道也可用于磁场测量。前面已经提到由于接收器的原因, 3968通道只能改做它用, 而 $H\alpha$ 的磁场非常弱, 只有在大气宁静度非常好的时候才会得到满意的结果。因此本文只给出前述四个通道的测量结果。在此需要说明的是, 我们总是把九通道磁场测量的结果和35cm太阳磁场望远镜的结果相比, 因为后者是一台性能非常优良的视频磁像仪系统, 因此这种比较是可信的。磁场望远镜的磁图视场约为 $6' \times 4'$, 而所有九通道的结果, 除非特别说明, 都是 $4.5' \times 3'$ 。另外, 对于九通道磁场定标, 我们采用由滤光器透过带轮廓与谱线轮廓卷积然后归算定标系数的简单定标方法, 滤光器轮廓由理论计算得到, 谱线轮廓由美国Livingston教授提供, 他们的数据已做了各种散射光改正。精确的定标将由理论和实践两方面给出, 这是今后努力的一个方向。

图6是双通道实时测量的磁场结果, 所用谱线是5247和5250两条谱线, 我们已经多次提到, 多通道实时测量是我们这套系统的优势。例如对于Fe5247和5250这一著名的线对, 它们的实时测量有助于解决太阳物理中一个古老而又热门的话题: 太阳小尺

度磁场是强场还是弱场？但以往的仪器很难保证观测时的环境状态、观测起止时间、仪器的性能及状态等的完全一致。在九通道望远镜中，这两条谱线仅在到达接收器之前才分开，因而可以排除许多附加因素的影响。从图中可以看到二者的磁结构是一致的，一些小的差异，如场强略有不同等，可能是由于定标方法不十分严格引起的。

作为一个万能可调双折射滤光器系统，九通道滤光器的每一个通道都可以调到别的波长上工作，这里仅给出将5173通道调到5247、5250波长上的测量结果。图7是用5173通道测量多条谱线磁场的例子。

1.4 谱线轮廓

同样，由于九通道滤光器的万能可调性，我们还可以用它进行谱线轮廓的扫描。虽然这种轮廓不是同时得到的，但可用于某些大尺度速度场的研究。以下我们将给出对 $H\alpha$ 6563和 FeI 5173谱线的扫描结果。

图8是6563的谱线轮廓，扫描区域为日面中心的宁静区。图中实线为实测的轮廓，圆圈是扫描点，共扫描约40点，扫描间隔约为 0.0906\AA 。图中虚线为美国国立天文台Livingston教授提供的谱线轮廓，他们的光谱分辨率为 0.007826\AA 。可见两条曲线的大致轮廓是一致的，它们的相关系数源于调波带的步进电机的误差以及天气的细小变化。获得这一组资料约需15—20分钟。

图9是 MgI 5172.699的谱线轮廓。同样，实线为实测结果，扫描区域为日面中心的宁静区。扫描点为60，步长为 0.036\AA ，虚线为Livingston提供的轮廓，光谱分辨率为 0.003467\AA 。同样，两条曲线吻合得非常好，相关因子约为0.95。获得这一组资料约需20—25分钟。

虽然以上两个例子给出的仅是谱线轮廓，但由它们极好的相关性我们可以肯定，该系统同样可以获得各Stokes参数轮廓，因为扫描谱线轮廓和扫描Stokes参数轮廓在方法上是一样的。但遗憾的是，由于这个时节大气宁静度极差，且太阳活动处于低年，因此我们目前没有获得这方面的资料。另外，由于受调波带用的步进电机速度限制，扫描谱线的时间分辨率较低，这将在以后加以改进。

二. 14cm $H\alpha$ 望远镜

该望远镜的基本目的是用作耀斑活动的监测及研究。它的滤光器的带宽为 0.5\AA ， $\pm 32\text{\AA}$ 可调节。由于它的这种宽范围可调性，可以用作白光耀斑的观测。该望远镜有两套成像系统，其一为 $H\alpha$ 局部像，另一路为全日面 $H\alpha$ 像。局部像系统从91年开始工作，信号直接送往录像机。在观测时，由计算机自动控制录像机，可连续录像，也可隔一定间隔录一段。图10为一张耀斑期间的 $H\alpha$ 局部像。最近， $H\alpha$ 全日面像也已调试成功，已经开始投入使用。

作为 $H\alpha$ 望远镜的改造项目，目前已在该系统上安装了磁分析器，从而使得望远镜可以测量大尺度的 $H\alpha$ 磁场，这也是一项很有价值的改进。

三、10cm 全日面望远镜

该望远镜有两条工作谱线, FeI5324.19 线主要用于全日面纵向磁场的测量, 也可以测矢量磁场或速度场; FeI5576 线是一条非磁敏线, 主要用于全日面视向速度场的测量。该望远镜于 1991 年开始工作并得到了第一张全日面磁图。在此之前, 太阳物理学家们使用的都是美国 Kitt Peak 的全日面磁场图, 他们得到一幅全日面磁图需两个多小时, 时间分辨率极低。我们的全日面磁图与 Kitt Peak 的资料相关性极好^[2], 而且获得一幅磁图仅需 1 分钟左右, 这种时间分辨率的提高对于太阳振荡及其它一些大尺度太阳特征的研究具有十分重要的意义。

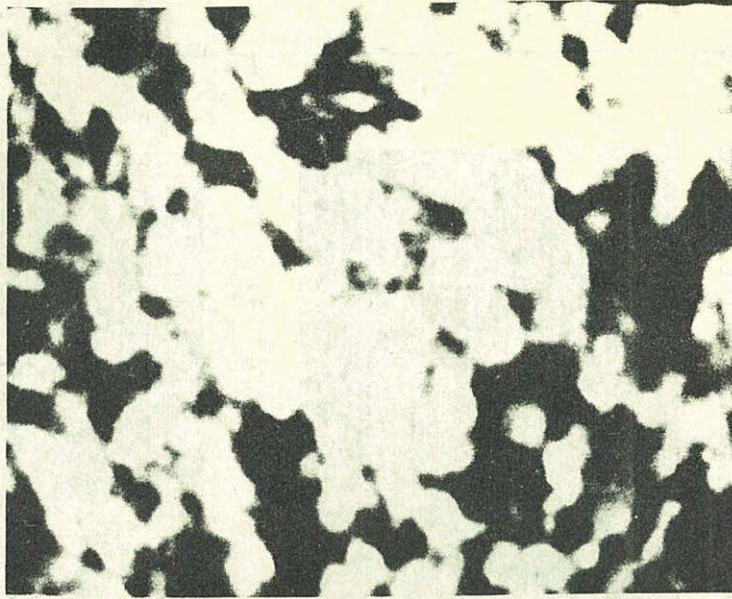
图 11 为 91 年的一张全日面纵向磁场图。

四、8cm 全日面望远镜

该望远镜使用一个 D-Star 滤光器, FWHM 为 2\AA , 工作谱线为 CaII3933.664。它主要用来监视日面上的活动, 因为众所周知, 它的谱斑同光球磁场有非常好的对应关系。图 12 就是它的一张单色像, 时间与图 11 的全日面磁图为同一天。可见 Ca 谱斑同光球磁场极好的相关性。

参考文献

- [1] 邓元勇, 艾国祥, 张斌, 天文学报, 1994 年, No. 4
- [2] 刘扬, 宋国峰, 王敬山, 汪景秀, 天体物理学报, 1994 年, No. 2



图一 九通道望远镜白光米粒像（短曝光）

*在无滤光器状态下，使用 $5250\pm 50\text{\AA}$
干涉滤光片获得

*视场: $39''\times 32''$

*观测时间: Jun-04, 1993

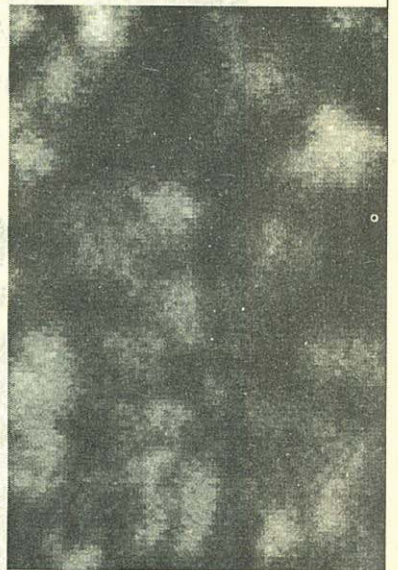


图三 九通道望远镜 $H\alpha$ 单色像（活动区）

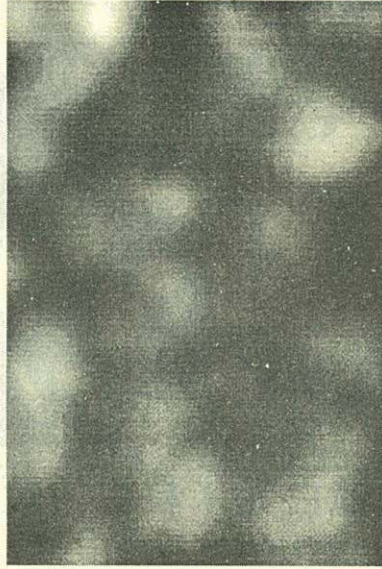
视场: $4.5''\times 3.2''$



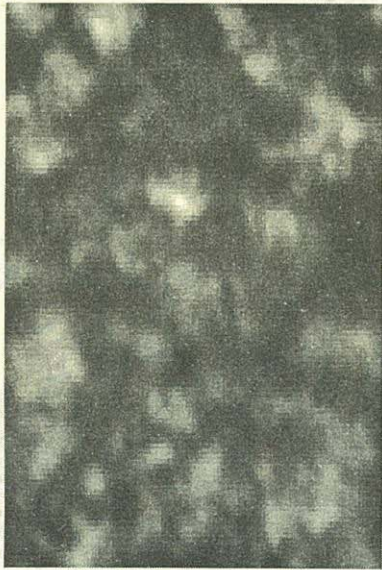
a. direct average



c. speckle sample



b. correlation then average



d. reconstruction image

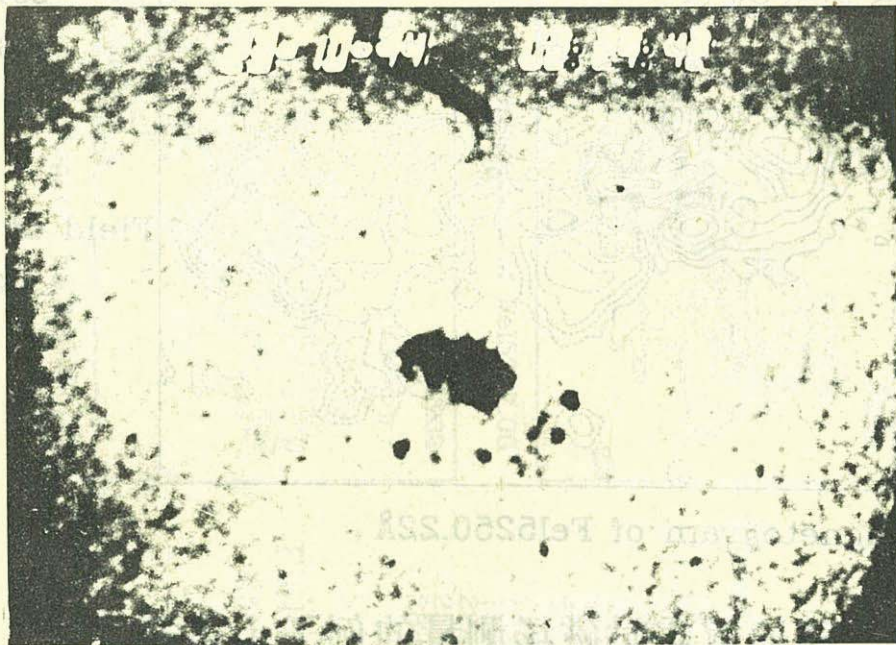
图二 九通道望远镜白光米粒像 (长曝光)

- (a). 30秒长曝光像
- (b). 相关改正后的长曝光像
- (c). 单幅短曝光像
- (d). 用斑点干涉方法处理后的图象



图四 九通道望远镜 $H\alpha$ 单色像 (暗条)

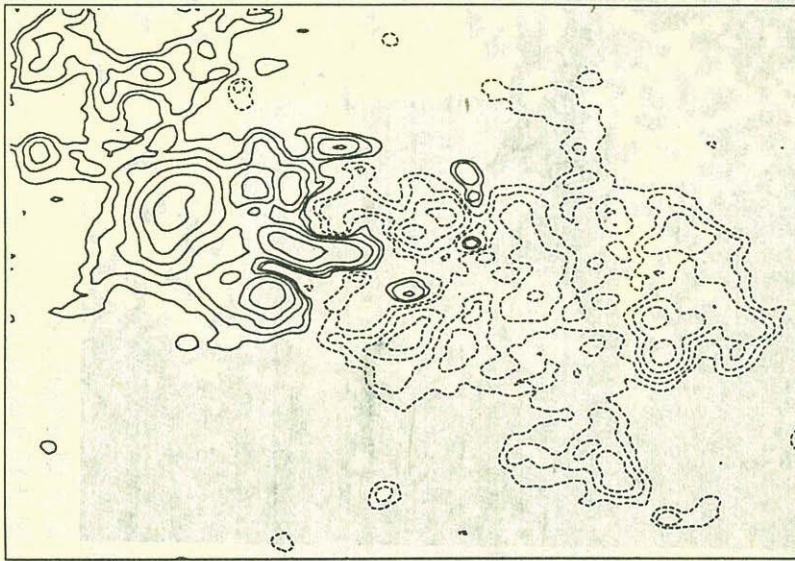
视场: 4.5×3.2



图五 九通道望远镜He4686单色像

视场: 4.5×3.2

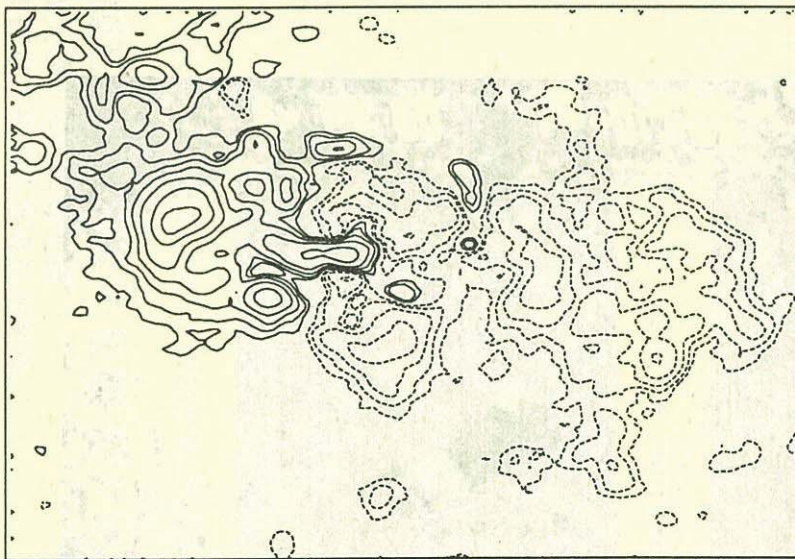
02:41, May-15, 1995



magnetogram of FeI5247.06Å

Level: Gauss

- 20
- 40
- 80
- 160
- 320
- 640
- 960
- 1280
- 1600
- 1920
- 2240
- 2560



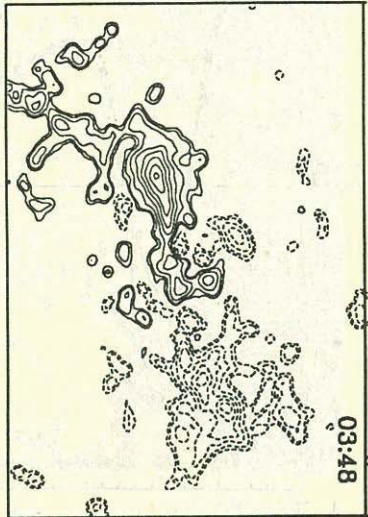
magnetogram of FeI5250.22Å

Field of View

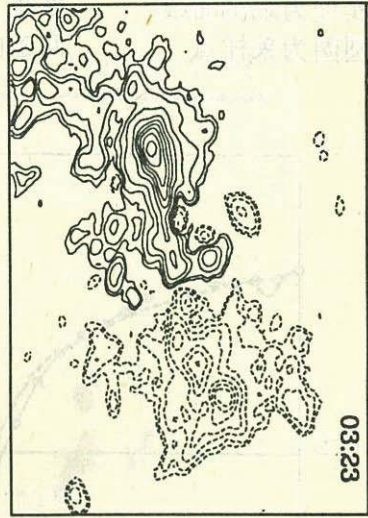
4.5*3.2

图六 两通道实时磁场测量的例子 (黑子)

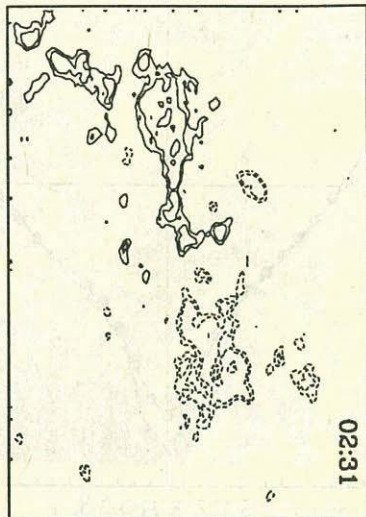
May-14, 1995



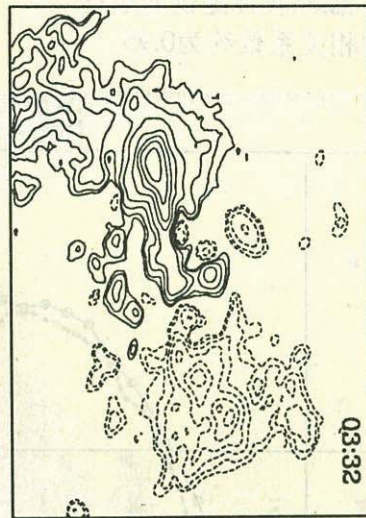
(a). magnetogram of FeI5324.19



(b). magnetogram of FeI5247.06



(c). magnetogram of MgI5172.699



(d). magnetogram of FeI5250.22

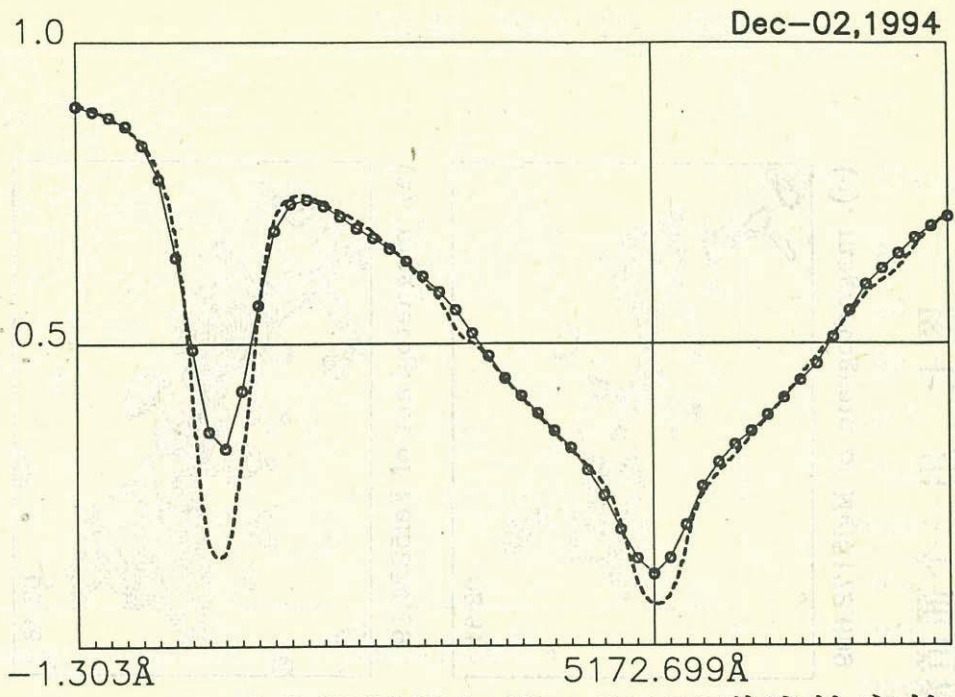
Level: Gauss

- 50
- 80
- 160
- 320
- 640
- 960
- 1280
- 1600
- 1920
- 2240
- 2560
- 2880

Field of View
4.5*3.2

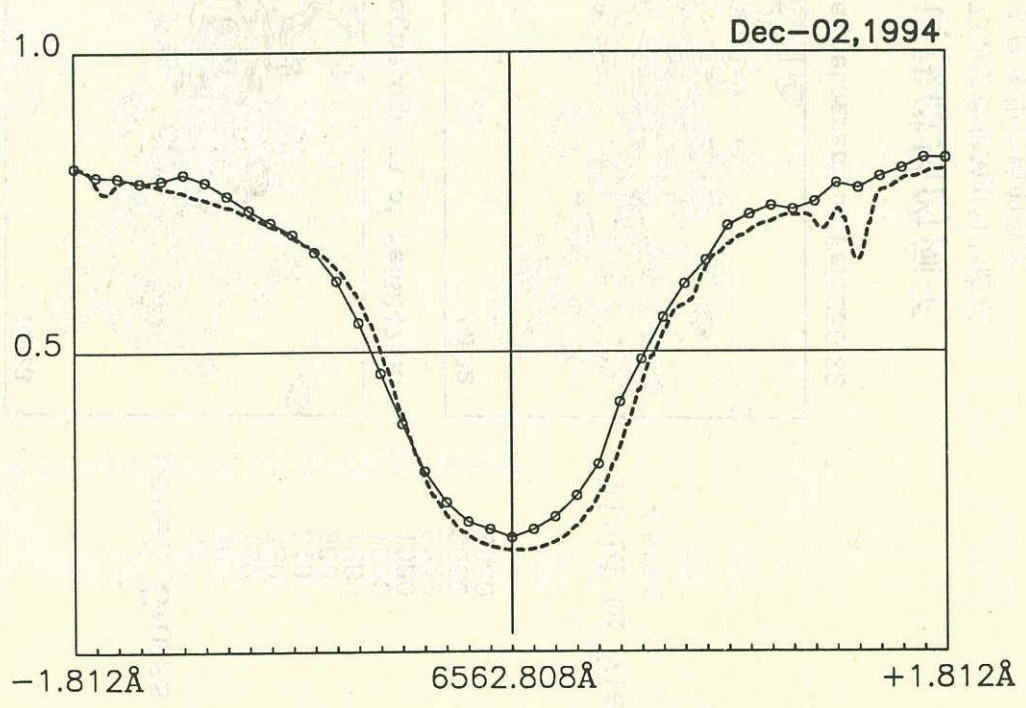
图七 用一个通道测量多条谱线磁场的例子

- (b) 用5173通道测量FeI5247磁场
- (c) 用5173通道测量MgI5173磁场
- (d) 用5173通道测量FeI5250磁场
- (a) 同一天磁场望远镜的磁图



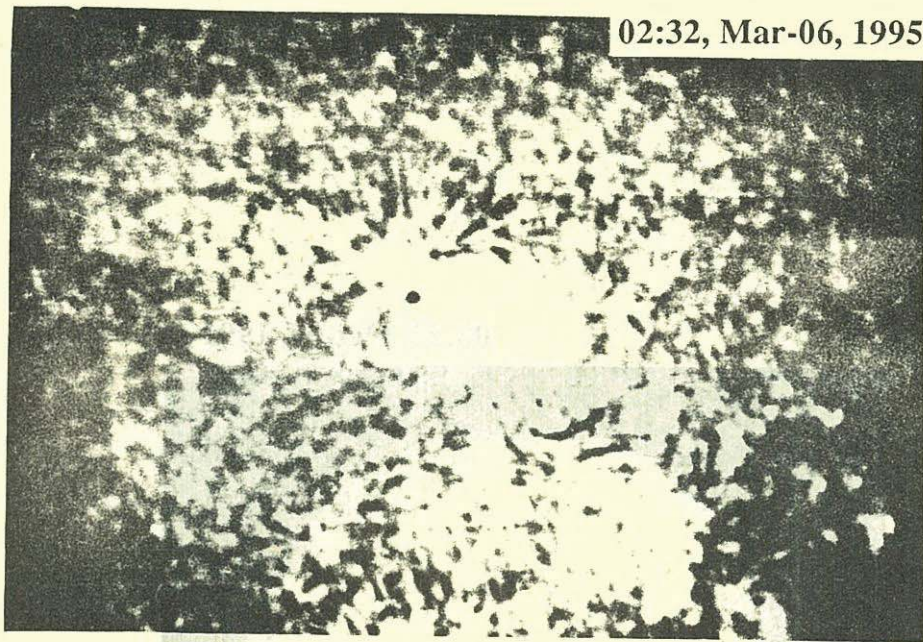
图九 用九通道望远镜扫描Mg I 5173谱线轮廓的例子

实线为观测曲线 虚线为Livingston教授提供的数据
 圆圈为采样点 两条曲线的相关系数约为0.95

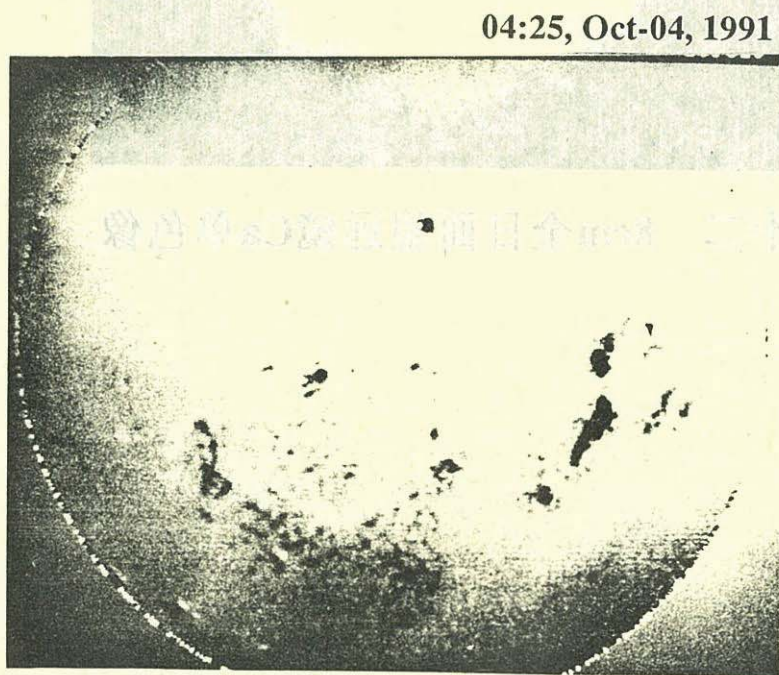


图八 用九通道望远镜扫描H α 谱线轮廓的例子

实线为观测曲线 虚线为Livingston教授提供的数据
 圆圈为采样点 两条曲线的相关系数约为0.89

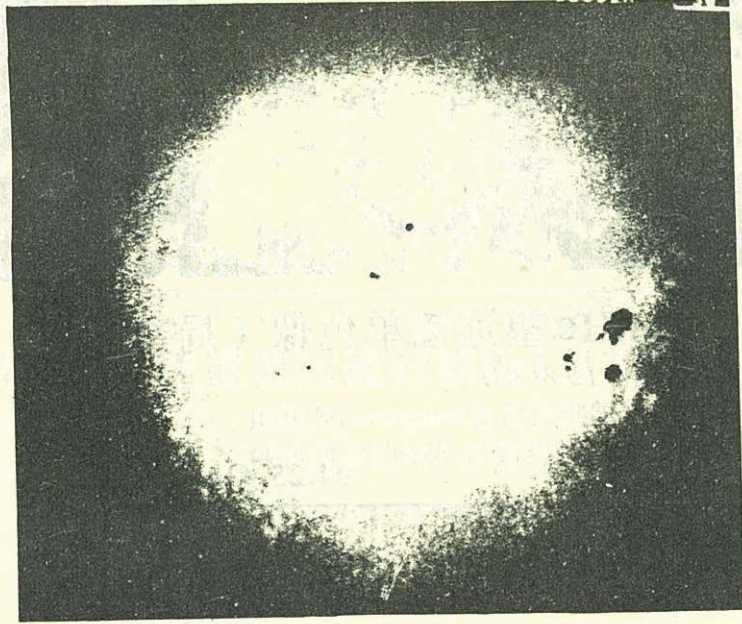


图十 14cmH α 望远镜单色像 (局部区域)
视场: 12'.8*8'.0



图十一 10cm全日面磁场望远镜纵向磁图

00:25, Oct-04, 1991



图十二 8cm全日面望远镜Ca单色像