



## 论 文

## 钠原子滤光的太阳高光谱分辨成像观测

杨勇<sup>①</sup>, 程学武<sup>①\*</sup>, 窦贤康<sup>②</sup>, 龚建村<sup>③</sup>, 饶长辉<sup>④</sup>, 熊俊<sup>①⑤</sup>, 夏媛<sup>①⑤</sup>, 李亚娟<sup>①⑤</sup>,  
李发泉<sup>①</sup>, 林鑫<sup>①</sup>, 龚顺生<sup>①</sup>

① 中国科学院武汉物理与数学研究所, 波谱与原子分子物理国家重点实验室, 武汉 430071;

② 中国科技大学地球和空间科学学院, 合肥 230026;

③ 中国科学院空间科学与应用研究中心, 北京 100190;

④ 中国科学院光电技术研究所, 成都 610209;

⑤ 中国科学院大学, 北京 100049

\*联系人, E-mail: lidar@wipm.ac.cn

收稿日期: 2015-06-10; 接受日期: 2015-09-06; 网络出版日期: 2016-04-25

国家自然科学基金(批准号: 11403085, 41127901, 10978003)和国家高技术研究发展计划资助项目

**摘要** 本文介绍基于钠原子滤光器的太阳高光谱观测原理及其典型透射谱型, 并介绍观测到的全日面光球层顶部/色球层底部的太阳像。与常规光学干涉滤光相比, 钠原子滤光透射峰值正好对应太阳夫琅和费 D 线的线心位置, 因此能长期稳定对太阳进行高光谱观测; 超窄带宽的滤光更有利于观测太阳大气诸多细节, 如谱斑及其亮网络结构等。用原子滤光(589 nm)在武汉获得的全日面图像与 SDO 卫星在太空观测(AIA 160 nm 真空紫外波长)的结构和细节极为相似, 其原因在于两者对太阳大气观测的高度层次类似。因此, 本文为高光谱分辨太阳大气精密高度层次的长期稳定观测提供一种有效手段。

**关键词** 高光谱分辨, 原子滤光, 太阳, 色球层

**PACS:** 95.55.Ev, 96.60.-j, 43.58.Kr, 42.79.Ci

太阳是距离地球最近, 也是对地球空间环境及人类生活影响最为密切的一颗恒星, 提高太阳观测的光谱分辨能力, 特别是对太阳夫琅和费谱线的高光谱分辨观测, 获得太阳大气层不同高度层次的信息, 是目前太阳观测研究的重要发展方向之一<sup>[1-3]</sup>。太阳高光谱分辨观测研究表明, 滤光带宽越窄, 观测到的太阳细节越明显。高光谱分辨太阳观测, 可获得太阳大气各个高度层次的细节结构以及物质运动速

度、磁场等信息。这将有利于人们深入研究太阳内部与太阳大气构造, 掌握太阳活动的发生发展规律, 从而解决众多太阳物理难题, 并提高对空间天气进行监测与预报的能力<sup>[4-8]</sup>。

传统的太阳高光谱分辨观测(半高全宽小于 0.1 nm)都是利用光学色散器件来实现的, 如双折射滤光器、迈克尔逊干涉仪、法布里-珀罗干涉仪等。基于迈克尔逊干涉仪的 GONG (Global Oscillation Network

**引用格式:** 杨勇, 程学武, 窦贤康, 等. 钠原子滤光的太阳高光谱分辨成像观测. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2016, 46: 069602  
Yang Y, Cheng X W, Dou X K, et al. Hyperspectral solar observation based on the sodium atomic filter (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2016, 46: 069602, doi: 10.1360/SSPMA2015-00299

Group)计划和 SOHO (Solar and Heliospheric Observatory Homepage)/SDO (Solar Dynamics Observatory)卫星已经工作多年<sup>[9-11]</sup>; 基于双折射滤光方式的国家天文台怀柔观测基地及南京大学 ONSET 望远镜<sup>[12]</sup>, 获得了太阳物质运动速度场、磁场等信息<sup>[13,14]</sup>. 这种光学高分辨观测器件的优点在于波长可调, 可实现对太阳多种(非同时)夫琅和费吸收谱线的观测. 其不足之处在于, 滤光带宽越窄, 透射率越低, 对环境要求也越高, 且绝对定标困难, 通常还需借助复杂的飞秒光梳系统来标定超窄带光学滤光器的中心波长<sup>[15,16]</sup>.

一种基于原子跃迁基准的原子滤光器, 能同时兼具带宽超窄和中心波长自稳定等优点, 特别适用于固定波长的高分辨谱线观测. 利用原子滤光的双峰透射谱型作为高光谱分辨频率鉴别, 可实现对太阳多普勒速度场和磁场的观测<sup>[17-19]</sup>. 国际上, 意大利科学家 Finsterle 等人<sup>[20]</sup>最先提出, 并已在南极等地实现太阳速度场和磁场的观测, 并还与美国联合计划原子滤光的星载太阳观测<sup>[21]</sup>.

本文发展出一种利用原子滤光的单峰透射谱型作为高光谱滤光器, 可实现对太阳大气的特定层次(即色球层底/光球层顶)的长期稳定观测, 从而获取太阳大气该层次的详细信息, 如谱斑、亮网络结构等. 配合不同的太阳夫琅和费谱线, 可实现太阳大气的三维层析观测, 有利于深入理解太阳内部构造, 掌握太阳活动发生发展规律. 此外, 原子滤光器还具有接收视场大、透射率高、带外抑制好等优点, 是全日面高光谱观测的理想滤光器件, 特别适用于环境恶劣(如南北极)、无人值守等环境下工作.

## 1 原子滤光器原理及透射谱型

原子滤光器由偏振棱镜、原子泡、磁场和控制部分组成. 两偏振棱镜正交, 进入第一偏振棱镜的水平偏振光被正交的第二竖直偏振棱镜抑制掉, 不能透射. 但若在偏振棱镜对中加入原子泡, 并且使原子泡处于一定的磁场强度和适当的蒸汽压等条件下, 经过第一偏振棱镜的水平光就会旋转 90°(或者其奇数倍), 这样即可透过第二偏振棱镜输出, 实现光学滤光鉴频能力<sup>[19,22]</sup>. 由于原子滤光器的偏振旋光取决于原子的跃迁频率, 只有与原子共振且旋转 90°的光才能通过原子滤光器, 其余波长的光以及旋转不为 90°的光则不能通过原子滤光器, 实现了对背景光的

有效抑制.

和全天时激光雷达的原子滤光器<sup>[23,24]</sup>相比, 太阳高光谱观测原子滤光器除了采用高光学质量的光学器件外, 最大改进在于增大原子滤光器的通光孔径以提高成像质量. 通光孔径的增加, 会影响磁场强度的分布以及温控的稳定性, 为此我们还采用耐高温的强磁体材料、精密数字 PID 温度控制技术以及更严格的磁/光屏蔽措施, 以满足太阳高光谱成像观测要求.

研制完成的太阳高光谱观测原子滤光器的典型透射谱型如图 1 所示, 主要技术指标如表 1 所示. 图中横坐标代表波长, 其中心峰值对应钠原子  $D_2$  共振谱线(588.995 nm), 中心峰半高宽约为 0.003 nm. 由于受到偏振棱镜损耗、原子旋光效率、光学端面损耗等影响, 原子滤光器的实测峰值透射率仅超过 30%. 如采用双通道原子滤光器同时接收水平和垂直两偏振光的话, 透射率可以达到 60% 以上, 和普通干涉滤光片透射率相当, 而带宽比干涉滤光片窄 2-3 个数

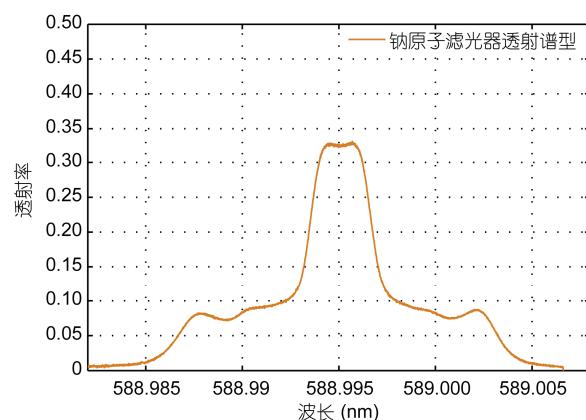


图 1 (网络版彩图) 钠原子滤光器透射谱型

Figure 1 (Color online) Transmission function of sodium atomic filter.

表 1 钠原子滤光器主要技术指标

Table 1 Main specifications of sodium atomic filter

参数	技术指标
工作波长 (nm)	588.995
滤光带宽 (nm)	~0.003
峰值透射率 (%)	~32
波前误差 ( $\lambda$ )	<0.2
通光孔径 (mm)	~18
视场角 (°)	<8
功耗 (W)	<120
重量 (kg)	~11

量级.

钠原子滤光器的中心透射波长取决于钠原子共振谱线波长，并且与太阳夫琅和费吸收谱线的线心一致，两者比较如图2所示。图中横轴为波长，纵轴为相对强度。图中橙黄色为原子滤光器的透射谱型，紫色实线为无多普勒频移时太阳钠吸收谱型。从图中可以看出，钠原子滤光器的透射峰值波长正好对应吸收线心，而原子滤光器的中心透射峰的半高全宽约为0.003 nm，因此，只有夫琅和费谱线线心的太阳光才能通过原子滤光器，而谱线翼以及连续谱的太阳光被原子滤光器抑制。如此超窄带、超稳定的原子滤光太阳夫琅和费D线观测，可以获得高稳定性、高空间分辨率的太阳大气层信息。理论研究表明，钠原子吸收谱线中心峰对应高度约为800 km<sup>[25]</sup>，位于太阳色球层底部和光球层顶部。因此，利用单峰透射的钠原子滤光器，能有效抑制太阳光球层辐射，从而获得太阳光球层顶部/色球层底部大气相关信息。

此外，由于太阳、地球的自转以及日地相对运动，因此太阳表面与地球观测点之间会产生一定的多普勒频移。经理论计算，其最大频移主要来自太阳边缘，且最大频移量不超过2.5 km/s，因此我们还给出了太阳钠谱线经频移后的结果，如图2所示。图中红色和蓝色虚线分别为多普勒红/蓝移±2.5 km/s后的太阳钠吸收谱型。从图中可见，对于多普勒频率偏移较大的太阳边缘，利用原子滤光器带宽窄、中心峰稳定的优

势，依旧能够有效透过太阳吸收谱线的中心峰及附近，极有利于太阳大气精密高度层次的长期稳定观测，这是光学高光谱分辨难以实现的。

## 2 原子滤光太阳观测系统

为了验证上述基于单峰透射钠原子滤光器的太阳观测原理及成像效果，搭建了一套太阳高光谱观测实验系统<sup>[19]</sup>，其原理如图3所示。实验装置由太阳跟踪(定天镜)、隔热镜、望远镜、干涉滤光(~1 nm)，原子滤光、CCD (Charge-Coupled Device)和采集控制系统等组成。定天镜用于跟踪太阳，并将太阳光线沿水平方向转折到实验室的光学平台上。经隔热镜(DayStar ERF (Energy Rejection Filter))和望远镜后，送入原子滤光器进行超窄带宽滤光后，聚焦到CCD (STF-8300M)。系统控制主要负责维持定天镜二次反射镜方位，保持全日面图像始终位于CCD靶面中央，同时控制原子滤光器温度等参数及图像的读取与处理。

本实验装置中，还用到了1 nm带宽的589 nm成像级干涉滤光片，主要有两个用途：一是由于钠原子滤光器能同时透过太阳D<sub>2</sub>和D<sub>1</sub>夫琅和费双谱线，利用1 nm带宽干涉滤光片能有效抑制D<sub>1</sub>(589.598 nm)谱线，只选择D<sub>2</sub>(588.995 nm)有效通过；另一用途是，在拿掉或者加上原子滤光器前后，可以用于比较超窄带原子滤光和干涉滤光两种不同光谱分辨率下太阳观测成像的差异。

## 3 太阳高光谱分辨观测初步结果

利用上述原子滤光的太阳高光谱观测实验系统，开展全日面观测。本验证实验系统放置于武汉市小

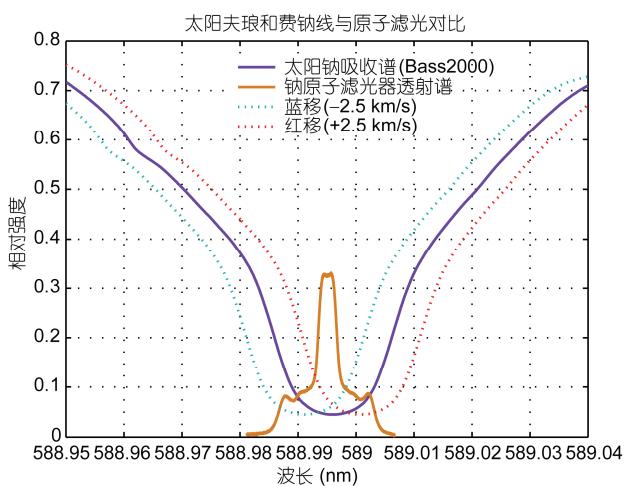


图2 (网络版彩图) 太阳夫琅和费吸收谱和原子滤光透射谱对比

**Figure 2** (Color online) Comparison between solar Fraunhofer absorption spectrum and transmission spectrum of sodium atomic filter.

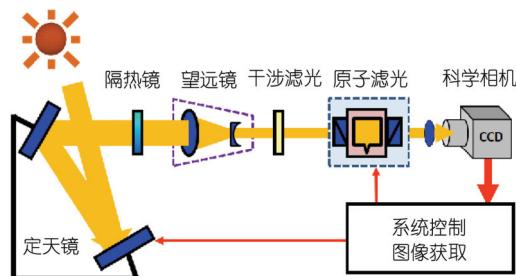


图3 (网络版彩图) 太阳高光谱观测实验系统

**Figure 3** (Color online) Experimental system for hyperspectral solar observation.

洪山武汉物理与数学研究所七楼楼顶, 由于武汉市区的大气宁静度并不好, 但利用原子滤光器透射率高的优势, 通过有效减小 CCD 曝光时间, 依然获得了不少清晰的全日面太阳高光谱图像, 典型的原子滤光和干涉滤光对比结果如图 4 所示。

图 4 所示是 2013 年 5 月 12 日在武汉拍摄到的太阳全日面图像。左边图 4(a) 用 1 nm 干涉滤光片拍摄到的结果, 右边图 4(b) 为加上原子滤光器后太阳观测结果。仔细比较两张图像, 可以清晰看出: 图 4(a) 中, 干涉滤光片拍摄的太阳图像黑子很明显, 而且能看到好几对成对的黑子, 但黑子边缘细节很少, 和太阳光球本身差异不大。图 4(b) 原子滤光拍摄的太阳图像中, 较大的黑子清晰可见, 但是在干涉滤光片看到的小黑子在原子滤光后就显得很不明显。不过, 非常有意义的是在原子滤光的全日面图像中, 可以看到黑子周围的白色谱斑结构, 而且谱斑遍布全日面的很多地方, 包括左上角几块大的谱斑, 这些结构与太阳磁场密切相关, 是监测太阳活动的重要特征之一。除此之外, 原子滤光观测到了亮网络结构, 这是色球层观测的显著特征, 说明钠原子滤光可以观测到太阳大气色球层信息, 其对应太阳大气层高度约 800–900 km<sup>[22]</sup>。本观测实验证实了单峰透射钠原子滤光器可以实现太阳高光谱分辨观测的原理可行, 并且可获得普通干涉滤光所不能观测到的诸多太阳大气信息。

为了进一步验证钠原子滤光器观测到的太阳大气对应层信息的准确性, 将原子滤光观测结果和 SDO 卫星不同谱线观测结果进行比较, 如图 5 所示。图 5(a), (b) 为利用可见光波段的钠原子滤光器进行观测, 在武汉获得的两组地基观测结果; 图 5(c), (d) 为

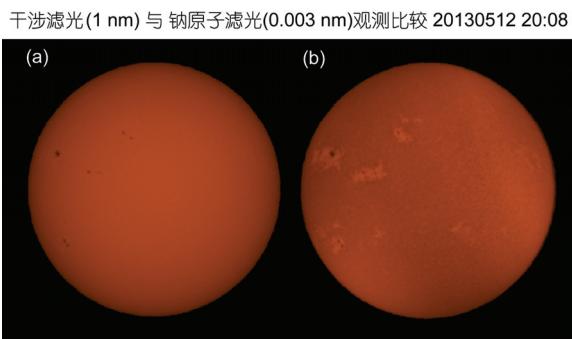


图 4 (网络版彩图) 全日面太阳观测比较. (a) 干涉滤光; (b) 原子滤光

**Figure 4** (Color online) Solar observational results using an interference filter (a) and the sodium atomic filter (b).

武汉原子滤光、SDO 卫星紫外及白光三者观测对比

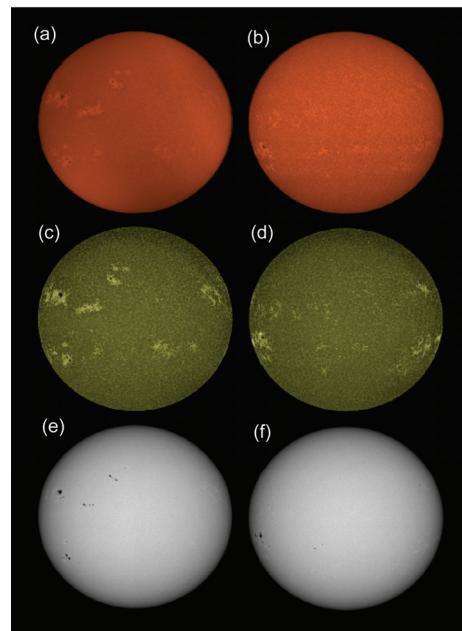


图 5 (网络版彩图) 武汉原子滤光(589 nm)、SDO 卫星真空紫外(AIA 160 nm)及 HMI 强度三者观测比较

**Figure 5** (Color online) Solar observational results using atomic filter (589 nm), SDO satellite (AIA 160 nm) and HMI Intensity gram, respectively.

SDO 卫星 AIA (Atmospheric Imaging Assembly) 真空紫外波段 160 nm 通道的观测结果; 图 5(e), (f) 为 SDO 卫星 HMI (Helioseismic and Magnetic Imager) 观测到的太阳强度图像<sup>[2]</sup>。图 5(a), (c), (e) 的观测时间为 2013 年 5 月 12 日, 图 5(b), (d), (f) 的观测时间为 2013 年 7 月 3 日。比较图 5(a), (b) 与图 5(c), (d) 可知, 钠原子滤光通道的地基观测结果与 SDO 卫星 AIA 真空紫外波段 160 nm 通道的观测结果在诸多细节上极为相似, 例如黑子和谱斑的形状特征。这主要是由于两者所观测的太阳大气高度层次都是光球层顶部所致<sup>[2,17,19]</sup>。对图 5(a), (b) 与图 5(e), (f) 进行比较则可知, 钠原子滤光通道的地基观测结果与 HMI 观测到的太阳强度图像则不相同。这主要是由于两者所观测的太阳大气高度层次不同, 前者是光球层顶部<sup>[17]</sup>, 后者是光球层<sup>[2]</sup>。

值得说明的是, SDO 卫星观测波长是真空紫外波长 160 nm, 观测太阳大气的光球层顶部<sup>[25]</sup>, 由于地球大气对真空紫外波长的强烈吸收, 只能利用太空人造卫星进行观测; 而钠原子谱线中心波长 589 nm, 地球大气对其吸收极其微弱, 因此在地面即可

实现太阳光球层顶部/色球层底部的观测。更为重要的是,这一层次对应太阳大气层温度极低区域,长期稳定地对其观测研究,可以探究诸多未知的太阳大气信息。

本原子滤光器即将安装到中国科学院光电技术研究所研制的太阳多波段层析成像系统中,并在中国科学院云南天文台抚仙湖观测站1 m新真空太阳望远镜上进行观测试验。

## 4 结论

研制出了用于太阳高光谱观测的钠原子滤光器,

测量了主要技术指标和参数,同时还搭建了基于钠原子滤光器的太阳高光谱观测实验系统。利用该系统获得基于原子滤光的太阳高光谱全日面观测结果,和普通干涉滤光片相比,通过原子滤光可以看到太阳大气色球层底部诸多信息,如谱斑、亮网络结构等细节。对基于钠原子滤光的太阳观测结果与SDO卫星在太空用AIA 160 nm真空紫外的观测结果进行了比对。由于两者对应太阳大气的高度层次一致,两者的谱斑、亮网络等图像特征极为相似。本文利用原子滤光器的高光谱分辨能力与高稳定性,为高光谱分辨太阳大气精密高度层次的长期稳定观测提供了一种有效手段。

**致谢** 云南天文台林隽研究员、国家天文台邓元勇研究员、武汉大学龚威教授为本文工作的顺利开展提供了大力帮助,在此一并表示感谢。

## 参考文献

- 1 Vernazza J E, Avrett E H, Loeser R. Structure of the solar chromosphere. III-Models of the EUV brightness components of the quiet-sun. *Astrophys J Suppl Ser*, 1981, 45: 635–725
- 2 Lemen J R, Title A M, Akin D J, et al. The atmospheric imaging assembly (AIA) on the solar dynamics observatory (SDO). *Solar Phys*, 2012, 275: 17–40
- 3 William R M, Friedrich W, Steve L H, et al. Ground-based and airborne instrumentation for astronomy IV. *Proc SPIE*, 2012, 8446: 1–12
- 4 Tsuneta S, Ichimoto K, Katsukawa Y, et al. The solar optical telescope for the hinode mission: An overview. *Solar Phys*, 2008, 24: 167–196
- 5 Gong J C, Liu S Q, Shi L Q, et al. The Secret Storm (in Chinese). Beijing: National Defence Industry Press, 2011 [龚建村, 刘四清, 师立勤, 等. 太阳风暴揭秘. 北京: 国防工业出版社, 2011]
- 6 Zhao M Y, Chen J Q, Liu Y, et al. Statistical analysis of sunspot groups and flares for solar maximum and minimum (in Chinese). *Sci Sin-Phys Mech Astron*, 2014, 44: 109–120 [赵明宇, 陈军权, 刘煜, 等. 太阳活动峰年和谷年期间黑子群与耀斑的统计分析. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2014, 44: 109–120]
- 7 Tang Y K, Deng L H. Phase asynchrony between flare index and sunspot activity. *Sci China-Phys Mech Astron*, 2013, 56: 1981–1986
- 8 Wang J X, Ji H S. Recent advances in solar storm studies in China (in Chinese). *Sci China: Earth Sci*, 2013, 43: 883–911 [汪景琇, 季海生. 空间天气驱动源—太阳风暴研究. 中国科学: 地球科学, 2013, 43: 883–911]
- 9 Hernandez I G, Durney B R, Komm R, et al. Solar subsurface fluid dynamics descriptors derived from global oscillation network group and michelson Doppler imager data. *Astrophys J*, 2004, 61: 554–567
- 10 Carolus J S, Yang L. The global solar magnetic field through a full sunspot cycle: Observations and model results. *Solar Phys*, 2008, 252: 19–31
- 11 Scherrer P H, Schou J, Bush R I, et al. The Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) investigation for the solar dynamics observatory (SDO). *Solar Phys*, 2012, 275: 207–227
- 12 Cheng F, Chen P F, Li Z, et al. A new multi-wavelength solar telescope: Optical and Near-infrared Solar Eruption Tracer (ONSET). *Res Astron Astrophys*, 2013, 13: 1509–1517
- 13 Ai G X, Hu Y F, Li T, et al. For the solar vector magnetic field and velocity field measurement of the birefringent filter (in Chinese). *China Sci*, 1984, 6: 540–548 [艾国祥, 胡岳风, 李挺, 等. 用于太阳向量磁场和视向速度场测量的双折射滤光器. 中国科学, 1984, 6: 540–548]
- 14 Xuan W J, Wang D G, Deng Y Y, et al. Error analysis and performance optimization of birefringent filter (in Chinese). *Opt Prec Eng*, 2010, 18: 52–59 [玄伟佳, 王东光, 邓元勇, 等. 双折射滤光器的误差分析与性能优化. 光学精密工程, 2010, 18: 52–59]
- 15 Murphy M T, Udem Th, Holzwarth R, et al. High-precision wavelength calibration with laser frequency combs. *Mon Not R Astron Soc*, 2007, 380: 839–47
- 16 Wilken T, Curto G L, Probst R A, et al. A spectrograph for exoplanet observations calibrated at the centimetre-per-second level. *Nature*, 2012, 485: 611–614

- 17 Cacciani A, Ricci D, Rosati P, et al. Solar magnetic fields measurements with a magneto-optical filter. *Nuovo Cimento C*, 1989, 13: 125–130
- 18 Zou Z W, Cheng X W, Yang Y, et al. Application of dual-peak-transmission sodium FADOF in Solar velocity field observation (in Chinese). *Acta Opt Sin*, 2012, 32: 0523002–0523007 [邹照伟, 程学武, 杨勇, 等. 双透射峰钠原子滤光器在太阳速度场观测中的应用. 光学学报, 2012, 32: 0523002–0523007]
- 19 Yong Y. Atomic Frequency Discriminator and its Application in Solar Observation (in Chinese). Dissertation for Doctoral Degree. Beijing: University of Chinese Academy of Science, 2013 [杨勇. 原子鉴频及其在太阳观测中的应用. 博士学位论文. 北京: 中国科学院大学, 2013]
- 20 Finsterle W, Jefferies S M, Cacciani A, et al. Seismology of the solar atmosphere. *Solar Phys*, 2004, 220: 317–331
- 21 Moretti P F, Berrilli F, Bigazzi A, et al. Future instrumentation for solar physics: A double channel MOF imager on board ASI Space Mission ADAHELI. *Astrophys Space Sci*, 2010, 328: 313–318
- 22 Haberreiter M, Finsterle W, Jefferies S M. On the observation of traveling acoustic waves in the solar atmosphere using a magneto-optical filter. *Astron Nachr*, 2007, AN999: 789–792
- 23 Cheng X W, Gong S S, Li F Q, et al. 24 h continuous observation of sodium layer over Wuhan by lidar (in Chinese). *Sci China Ser G-Phys Mech Astron*, 2007, 37: 196–201 [程学武, 龚顺生, 李发泉, 等, 武汉高空钠层的激光雷达 24 h 连续观测. 中国科学 G: 物理学 力学 天文学, 2007, 37: 196–201]
- 24 Cheng X W, Yang Y, Wang Z L, et al. Joint observation results of Na layer and ionosphere in Wuhan during the Total Solar Eclipse (in Chinese). *Sci China-Earth Sci*, 2015, 45: 1569–1574 [程学武, 杨勇, 王泽龙, 等. 日全食期间武汉钠层和电离层联合观测结果. 中国科学: 地球科学, 2015, 45: 1569–1574]
- 25 Avrett E H, Loeser R. Models of the solar chromosphere and transition region from SUMER and HRTS observations: Formation of the extreme-ultraviolet spectrum of hydrogen, carbon, and oxygen. *Astrophys J Suppl Ser*, 2008, 175: 229–276

## Hyperspectral solar observation based on the sodium atomic filter

YANG Yong<sup>1</sup>, CHENG XueWu<sup>1\*</sup>, DOU XianKang<sup>2</sup>, GONG JianCun<sup>3</sup>, RAO ChangHui<sup>4</sup>, XIONG Jun<sup>1,5</sup>, XIA Yuan<sup>1,5</sup>, LI YaJuan<sup>1,5</sup>, LI FaQuan<sup>1</sup>, LIN Xin<sup>1</sup> & GONG ShunSheng<sup>1</sup>

<sup>1</sup> State Key Laboratory of Magnetic Resonance and Atomic and Molecular Physics, Wuhan Institute of Physics and Mathematics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China;

<sup>2</sup> School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China;

<sup>3</sup> National Space Science Center (NSSC), Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

<sup>4</sup> The Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610209, China;

<sup>5</sup> University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

This paper introduces the principle of hyperspectral solar imaging observations based on atomic filters and their transmission properties. The full disk solar images of the upper photosphere and the lower chromosphere are obtained. Compared with the conventional interference filters, the transmission peak of sodium atomic filters just corresponds to the center of solar Fraunhofer  $D_2$  line, which is in favor of long-term and stable solar observations with a high spectral resolution; its ultra-narrow bandwidth is more beneficial to the detailed observation of the solar atmosphere, such as the plages and bright network structures. The details of the observed solar structures using our atomic filter (at 589 nm) in Wuhan are very similar to those obtained by SDO satellite (at 160 nm), since the two wavelengths are formed at similar heights. Our experiments demonstrate that the atomic filters can provide an effective method for hyperspectral solar imaging observations.

**high spectral resolution, atomic filter, solar, chromosphere**

**PACS:** 95.55.Ev, 96.60.-j, 43.58.Kr, 42.79.Ci

**doi:** 10.1360/SSPMA2015-00299