

文章编号: 1000-8349(2012)02-246-09

# 高精度天体视向速度测量技术研究进展

姜明达<sup>1,2,3</sup>, 肖 东<sup>1,2</sup>, 朱永田<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 国家天文台/南京天文光学技术研究所, 南京 210042; 2. 中国科学院 天文光学技术重点实验室, 南京 210042; 3. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 近年来, 尽管对太阳系外行星探测的手段层出不穷, 视向速度测量依然是探测太阳系外行星卓有成效的方法。随着探测太阳系外类地行星的呼声日益高涨, 大幅度提高视向速度测量精度的任务迫在眉睫。为了提高天文光谱仪的稳定性, 人们采用真空或恒温、恒压的仪器工作环境来确保视向速度的测量精度; 同时, 激光频率梳技术的出现又为天体视向速度测量系统提供了一个高精度的光谱定标源。将激光频率梳技术应用于天体视向速度测量是今后一段时间内的研究重点。

**关 键 词:** 光谱仪; 视向速度测量; 激光频率梳

中图分类号: P111.42      文献标识码: A

## 1 引 言

在现代天文学中, 光谱测量是研究天体的重要方法之一。近年来高精度的天体光谱测量越来越引起人们的重视。其中, 利用视向速度测量探测太阳系外行星对光谱测量的精度提出了很高的要求。探索太阳系外行星是人们长久以来关心的问题。倘若有一天人们发现人类并不是这个世界上唯一的高度智慧生命, 这将从根本上改变人们对自身以及整个宇宙的认识<sup>[1]</sup>。采用现代的科技手段来探测地外文明开始于 20 世纪 60 年代。当时人们以射电望远镜为工具探测来自地外文明的射电信号<sup>[2,3]</sup>。尽管 50 多年过去了, 人们在这方面的热情依然高涨<sup>[4,5]</sup>。近 20 年来随着观测技术的发展, 人们已经具备了多种探测太阳系外行星的能力。早在 1989 年, 人们就探测到了一颗围绕着 HD114762 的伴星, 有人认为这是第一颗人类发现的太阳系外行星<sup>[6]</sup>。此后, 1992 年人们又发现了第一颗围绕着脉冲星的太阳系外行星<sup>[7]</sup>。1995 年, 51 Peg b 的发现是太阳系外行星探测的一个重要里程碑, 它是人类发现的第一颗围绕着与太阳类似恒星运动的太阳系外行星<sup>[8]</sup>。自此, 探测太阳系外行星的活动开始进入高潮。每年发现的太阳系外行星, 从 20 世纪 90 年代的每年 10 颗左右, 猛增到 2011 年的将近 200 颗。

收稿日期: 2011-10-26;    修回日期: 2012-02-16

资助项目: 国家自然科学基金(10978004)

截止到 2012 年 2 月, 根据 The Extrasolar Planets Encyclopaedia (<http://exoplanet.eu/>) 的统计, 人们一共发现了 700 多颗太阳系外行星。

限于当今的观测技术水平, 目前发现的绝大多数太阳系外行星都是具有很大质量的巨型行星<sup>[9]</sup>, 不适于类似于我们地球上的生命形式生存。理论研究表明, 太阳系外类似于地球一样的行星普遍存在。借助于新的技术, 有希望发现更多的适合生命生存、与地球相似的行星, 即太阳系外类地行星。

目前已经有多种方法探测太阳系外行星, 其中主要的方法: 天体测量<sup>[10]</sup>、天体光度测量<sup>[11]</sup>、引力微透镜<sup>[12,13]</sup>、脉冲星计时<sup>[7]</sup>、直接成像<sup>[14]</sup>、视向速度测量<sup>[15,16]</sup>等。鉴于视向速度测量是一种通过测量行星对恒星扰动来间接探测行星的方法, 它所适用的探测对象比较广泛, 因此与其它太阳系外行星探测方法相比较, 视向速度测量发现的太阳系外行星最多。在目前所发现的 700 多颗太阳系外行星当中, 有 500 多颗是通过视向速度测量发现的。本文将在简要介绍视向速度测量原理的基础上, 着重介绍近年来人们对这种测量技术的改进。

## 2 天体视向速度测量简介

早在 20 世纪 50 年代, 根据当时视向速度测量的技术水平, 美国科学家就提出进行天体的高精度视向速度测量<sup>[17]</sup>。视向速度测量的基本原理如图 1 所示。当行星绕恒星转动时, 其引力作用在恒星上, 使恒星围绕着恒星和行星的共同质量中心  $M$  旋转。恒星的运动在观察方向的速度分量, 即视向速度, 是一个由行星运动周期所决定的周期信号, 其幅度的大小由恒星的质量、行星的质量、恒星与行星的距离、行星轨道平面法线与观测方向的夹角等参数决定。根据文献所提供的视向速度计算公式<sup>[18]</sup>, 对于太阳大小的恒星, 木星在 5 个 AU 距离运动时, 恒星视向速度的幅度为  $12.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; 海王星在 1 个 AU 距离运动时, 恒星视向速度的幅度为  $1.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; 超级地球 (5 倍的地球质量) 在 1 个 AU 距离运动时, 恒星视向速度的幅度为  $0.45 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; 而地球在 1 个 AU 距离运动时, 恒星视向速度的幅度仅为  $9 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 。恒星的这种运动将引起其光谱的多普勒频移。当恒星运动到 A 点时, 光谱将发生蓝移; 当恒星运动到 B 点时, 光谱将发生红移。多普勒频移的大小直接与视向速度有关。通过观测恒星光谱的多普勒频移, 可以获得有关行星的信息。

现今, 对于天文光谱多普勒频移的测量主要是采用高分辨率阶梯光栅光谱仪。阶梯光栅是一种粗光栅, 它具有较大的闪耀角, 可以用于很高的干涉级次。以阶梯光栅为主色散元件, 再通过横向色散元件进行级次分离, 使用面阵 CCD 便可在很宽的光谱范围内记录下高分辨率的天体光谱。目前世界上已经有多台高分辨率光谱仪从事高精度天体视向速度测量的观测研究, 另外一些高分辨率光谱仪正处于设计和制造的过程中, 预计在不久将投入使用, 表 1 给出了一些有代表性的高分辨率光谱仪的视向速度测量精度。为了探测太阳系外类地行星, 人们正从提高天文光谱仪的稳定性和光谱定标精度这两个方面入手, 改善现有的视向速度测量技术。

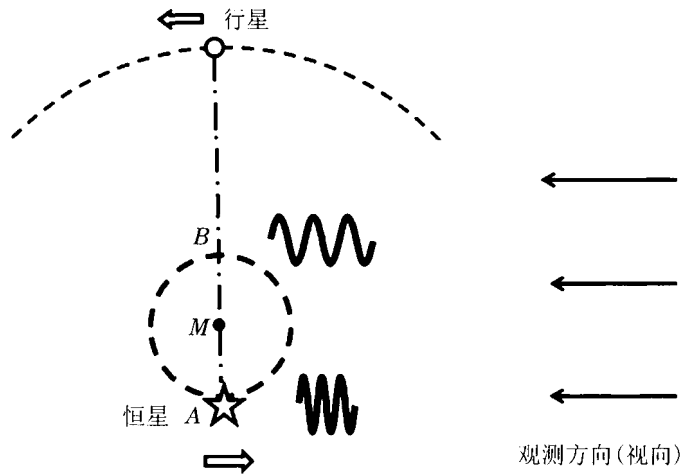


图 1 视向速度测量基本原理

表 1 建成及在建高分辨率光谱仪的视向速度测量精度

光谱仪	所属天文台	台址	望远镜口径/m	视向速度测量精度/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
SOPHIE	OHP	法国	1.93	3~4 <sup>[19]</sup>
HARPS	ESO	智利	3.6	1 <sup>[20]</sup>
HIRES	KECK	美国	10	2 <sup>[21]</sup>
ESPRESSO*	ESO	智利	8.2	0.10 <sup>[22]</sup>
CODEX*	ESO	智利	39.3	0.02 <sup>[23]</sup>

\* 在建光谱仪。

### 3 天文光谱仪稳定性的提高

从表 1 中我们可以看出现在正在建造的高分辨率光谱仪,其视向速度测量精度都是以  $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$  为目标的。根据多普勒效应,即使是对于高分辨率光谱仪来说,此种视向速度所引起的光谱位移在 CCD 像面上都将是极其微小的。例如,对于一个  $R = 70\,000$  的阶梯光栅光谱仪,在钠 D 线的波长上,  $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  的视向速度变化所引起的多普勒频移在 CCD 像面上只相当于一个  $12.5\ \mu\text{m}$  CCD 像素的  $1/3\,000$ <sup>[24]</sup>。由于温度变化造成的热膨胀或收缩将引起光谱仪内包括 CCD 芯片在内的各种元件的物理尺寸发生变化,光学元件的光学特性也将随温度发生变化;另外空气压力的变化将造成光线通过空气-玻璃界面时折射过程发生变化。所有这些变化都将引起测量光谱的漂移。如果不加以控制,这些漂移将掩盖视向速度所引起的光谱位移。

目前人们通常采用两种措施来减少物理环境对光谱仪的影响。第一种是将整个光谱仪置于真空室中。当光谱仪置于真空室后,首先它所处的环境压力维持恒定;其次由于缺乏气体的热传导和对流,仪器的热稳定性也得到了很好的改善。采用这种方法的代表是 ESO 专门

设计用于视向速度测量的 HARPS, 其压力稳定度为 0.01 mbar, 温度稳定度为 0.01 K<sup>[20]</sup>。自从它投入观测以来, 已经取得了优异的成果, 在当前通过视向速度测量探测太阳系外行星领域, 有着举足轻重的地位。而正在建造中的 ESPRESSO 也采用了类似的真空室设计, 其压力稳定度要求达到 0.001 mbar, 温度稳定度要求达到 0.001 K<sup>[22]</sup>。

另一种方法是将光谱仪置于一个恒温、恒压的仪器罩中。通过改善仪器罩的隔热并对仪器罩内进行温度和压力控制来达到提高光谱仪稳定性的目的。采用这种方法的好处是造价较低。当需要对光谱仪进行调整时, 较之真空的方法, 调节简便。采用这种方法的代表是 PEPSI, 其压力稳定度为 0.1 mbar, 温度稳定度为 0.1 K<sup>[25]</sup>。对于这种恒温、恒压罩工作方式的深入研究还在进行中<sup>[26]</sup>。

## 4 现有高精度视向速度测量的光谱定标系统

为了精确测定光谱的多普勒频移, 高精度视向速度测量都需要一个光谱定标系统。在可见光波段, 目前常用的视向速度测量定标方法有: 碘吸收谱线定标和钍氡灯同步定标。

早在 20 世纪 70 年代, 人们就提出将需要测量的天体光通过吸收介质后再入射到光谱仪上, 利用吸收谱线来校正仪器所引起的天体光谱畸变<sup>[15]</sup>。经过对不同吸收介质的对比, 人们发现碘是一种很好的材料<sup>[27]</sup>。采用碘吸收谱线定标的具体方法是将一个含有碘蒸汽的吸收盒插入到望远镜和光谱仪之间的光路中, 从望远镜来的天体光透过碘盒进入光谱仪。利用碘蒸汽中碘的精确吸收谱线来给天体光谱定标。采用这种方法的优点是: 碘的吸收比较强, 对于 1/100 大气压的碘蒸汽, 碘盒的光程只需要几个厘米, 使用简便; 波长覆盖范围 500~630 nm, 并拥有足够多的特征谱线用来进行定标; 另外碘本身安全、化学稳定, 只具有轻微的腐蚀性。这种方法的缺点是: 碘盒对由望远镜搜集到的天体光有较大的衰减, 同时碘的吸收谱宽度有限, 不能覆盖整个可见光范围。HIRES 和早期的 HARPS 都采用这种方式进行波长定标, HARPS 投入运行后不久就又升级采用了下述的波长定标方法。

钍氡灯同步定标是将由钍氡灯产生的标准谱通过光纤和由光纤从望远镜引来的天体光同时投射到光谱仪的入射狭缝上, 将天体的光谱和钍氡灯的标准谱记录在 CCD 上, 利用钍氡灯的谱来给天体光谱定标<sup>[28]</sup>。这种方法的优点是光谱覆盖范围宽 310~1100 nm, 缺点是钍氡灯自身的结构限制了它的长期稳定性。在钍氡灯的整个工作寿命期间, 钍氡灯谱线的波长和强度都会发生微小的变化, 进而引入测量的系统误差。目前, SOPHIE 和 HARPS 都采用了这种波长定标方法。

不论是碘吸收谱线定标法还是钍氡灯同步定标法, 都存在谱线空间分布不均匀、谱线强度差异较大、长期稳定性不好等缺点<sup>[29]</sup>。而两者最大的缺点是所能获得的视向速度测量精度都已经接近其探测极限 ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  量级), 很难满足探测太阳系外类地行星所需的精度要求。

## 5 新一代高精度视向速度测量的光谱定标系统——激光频率梳

21 世纪初, 激光频率梳技术的发展, 大大地提高了光学频标的精度<sup>[30,31]</sup>。激光频率梳以锁模超短脉冲激光器为核心部件。超短脉冲激光器采用锁模技术将激光腔内大量的纵模锁定, 其最终结果是其将输出一个在时域上均匀分布的脉冲序列, 其中脉冲序列中每个脉冲的宽度由频域中的整个谱宽度决定, 每个脉冲之间的间隔由激光器的腔长决定, 同时激光器的腔长也决定了频率域中的纵模间隔  $f_{\text{rep}}$ 。

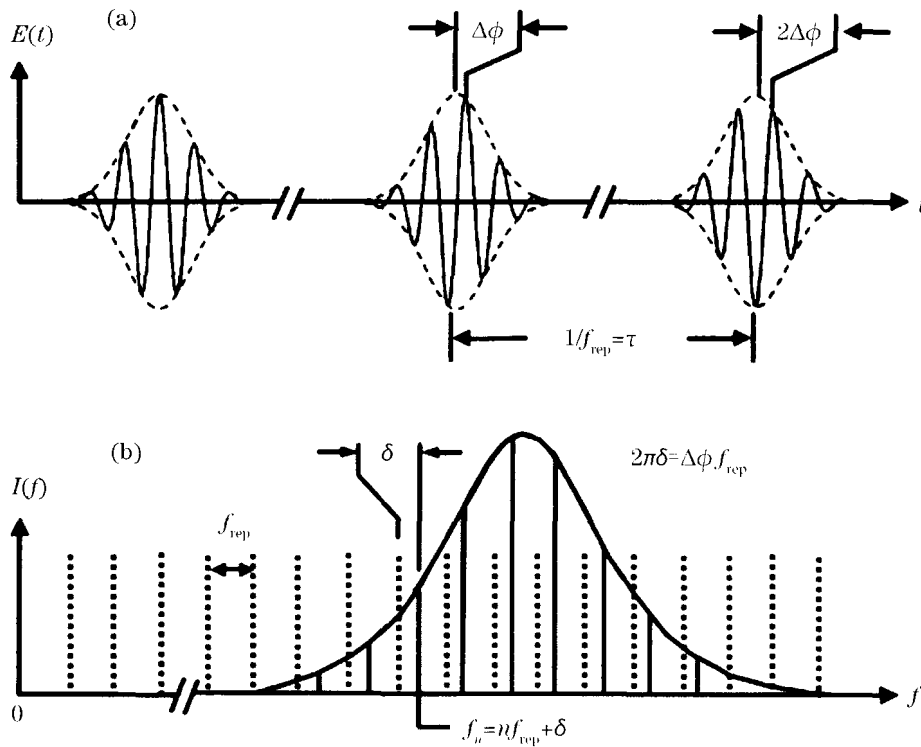


图 2 激光频率梳基本原理

(a) 时域: 虚线为飞秒脉冲包络, 实线为脉冲电场; (b) 频域: 竖实线为参与锁模的纵模

图 2 是激光频率梳的基本原理。频域中每个纵模的频率为:

$$f_n = n \times f_{\text{rep}} + \delta \quad (1)$$

$\delta$  为初始频率偏移。产生初始频率偏移的原因在于, 激光谐振腔内超短脉冲的包络以群速度传播, 而脉冲包络内的载波电场是以相速度传播。光脉冲在激光谐振腔中每传播一圈, 载波电场将相对于脉冲包络有一个相移, 这个相移将导致初始频率偏移:

$$\delta = \Delta\phi f_{\text{rep}} / 2\pi \quad (2)$$

对于普通的超短脉冲激光器,  $f_{\text{rep}}$  可以通过调节激光器的腔长来精确控制, 但是  $\delta$  的测量和控制存在一定的困难, 因此  $f_n$  将在一定范围内漂移。精确地测量和控制  $\delta$  是实现激光频率梳技术的关键。采用适当的技术, 可以使激光频率梳的光谱宽度达到一个倍频程以上。此时, 将位于光谱短波长方向的高频信号

$$f_{2n} = 2n \times f_{\text{rep}} + \delta \quad , \quad (3)$$

和位于光谱长波长方向  $f_n$  的倍频信号

$$2f_n = 2(n \times f_{\text{rep}} + \delta) \quad , \quad (4)$$

进行拍频, 并进行适当的滤波, 将能得到初始频率偏移  $\delta$ :

$$2f_n - f_{2n} = 2(n \times f_{\text{rep}} + \delta) - (2n \times f_{\text{rep}} + \delta) = \delta \quad . \quad (5)$$

根据测量的  $\delta$ , 通过控制激光器的泵浦功率或激光谐振腔内的色散<sup>[32]</sup>, 能够达到稳定  $\delta$  的目的。由于  $\delta$  和  $f_{\text{rep}}$  都能被精确地锁定到系统内的原子钟上, 具有与  $\delta$  和  $f_{\text{rep}}$  相同精度的  $f_n$  能够用来进行光谱定标。由于激光频率梳谱线之间间隔均匀, 谱线强度差异不大, 光谱可以覆盖整个可见光范围, 同时还具有长期的稳定性和很好的可重复性, 诸多优点使其非常适合用来进行天文光谱定标<sup>[33]</sup>。激光频率梳技术获得 2005 年诺贝尔奖之后不久, 人们就积极开始探索其在天文方面的应用。

根据激光频率梳自身的精度, 人们预计基于此项技术的视向速度测量精度将达到  $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$  量级<sup>[34]</sup>。2008 年, 德国马克斯-普朗克量子光学研究所 (MPQ) 与 ESO 合作将激光频率梳安装到德国真空太阳塔望远镜上, 用于观测太阳光谱, 如图 3<sup>[35]</sup>。图中如梳齿状排列的亮线, 即为激光频率梳产生的定标光谱。在这个近红外工作的基础上, 2010 年, 他们用激光频率梳给 ESO 工作于可见光波段的 HARPS 进行定标, 取得了  $15 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  的重复定标精度<sup>[36]</sup>。

与激光频率梳通常小于 1 GHz 的纵模间隔相比, 现代高分辨率天文光谱仪的分辨本领依然十分有限。以其现有的分辨本领, 只有当激光频率梳的纵模间隔达到 10 GHz 以上时, 光谱仪才能分辨。为此, 许多研究小组都在进行不懈的努力, 通过提高纵模间隔以适应现有光谱仪的分辨本领。早在 2007 年, 德国马克斯-普朗克研究所利用掺铒光纤激光频率梳 (纵模间隔 250 MHz), 通过腔外法布里-珀罗腔将模间隔提高到 15 GHz<sup>[37]</sup>。采用将两个法布里-珀罗腔级联, 可以将边模抑制比提高到 70 dB<sup>[38]</sup>, 从而进一步提高定标光谱的质量。针对法布里-珀罗腔所引入的谱线移动, 必须采取相应的措施进行修正, 以保证  $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$  量级的定标精度<sup>[39]</sup>。与采用法布里-珀罗腔进行模间隔展宽不同, 还有其它技术可以直接产生具有大纵模间隔的光谱。2010 年, 美国哈佛大学和 MIT 的研究小组研制出在可见光范围内, 重复频率为 20~50 GHz 的激光频率梳<sup>[40]</sup>。以微谐振腔为基础的光学频率梳也可以在芯片大小的体积内直接产生 10~1 000 GHz 模间隔的光谱<sup>[41,42]</sup>。

近年来我国的激光频率梳技术也有了长足的发展。中科院物理所研制的钛宝石激光频率梳的纵模间隔已经达到 350 MHz, 脉冲宽度小于 10 fs, 稳定性和精确度均达到国际先进水平<sup>[43]</sup>。北京大学研制的掺铒光纤激光器的纵模间隔也达到了 220 MHz<sup>[44]</sup>。

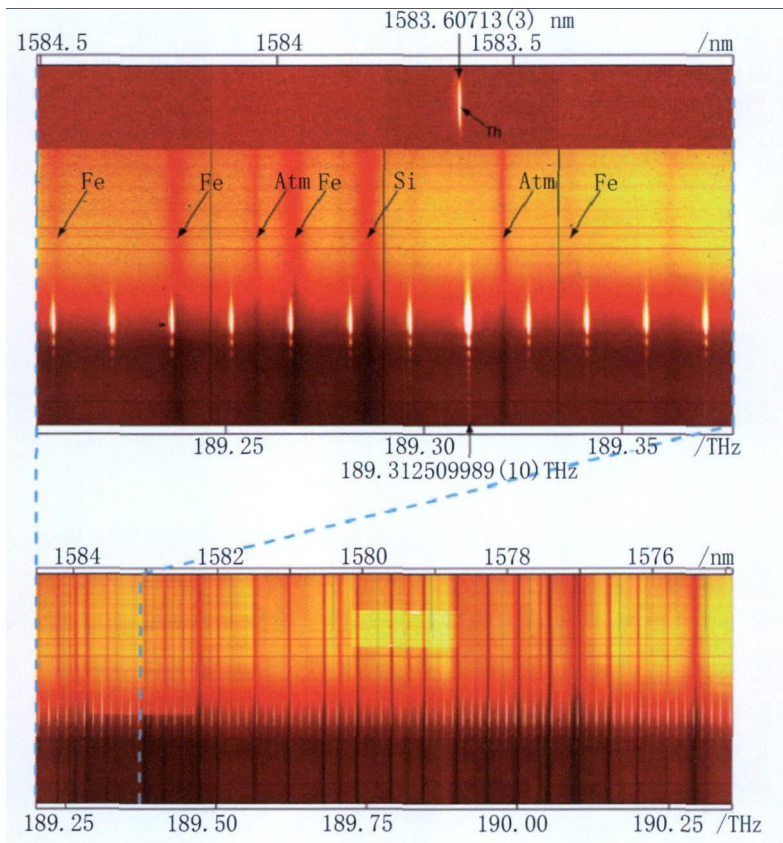


图 3 激光频率梳定标的太阳光谱，上图为局部放大

目前视向速度测量主要还是采用碘吸收谱线和钪钷灯同步定标。从视向速度测量的发展趋势来看，采用激光频率梳作为光谱定标源，开展其在太阳系外行星探测方面的应用研究，将会成为视向速度测量的下一个研究热点。

## 6 总结与展望

高精度天体视向速度测量，特别是太阳系外类地行星探测是当前天文研究的一个热点。从探测的技术手段方面来看，一方面，人们通过各种方式提高天文光谱仪的稳定性，以确保天体视向速度测量的精度。面对太阳系外类地行星探测的苛刻要求，如何控制天文光谱仪的工作环境，使之达到要求，仍是人们正在研究的一个课题。另一方面，激光频率梳技术的日趋成熟，为视向速度测量提供了一个高精度的光谱定标源。将激光频率梳技术与望远镜和光谱仪有机地结合起来，充分发挥激光频率梳的巨大潜力，使激光频率梳技术走出实验室，真正地投入到天文观测中，也是目前的一个重点研究方向。随着各项相关技术的突破，人们将发现更多的太阳系外类地行星并能对其进行深入的研究。

## 参考文献:

- [1] Dominik M, Zarnacki J C. *Philosophical Transactions of the Royal Society a-Mathematical Physical and Engineering Sciences*, 2011, 369: 499
- [2] Cocconi G, Morrison P. *Nature*, 1959, 184: 844
- [3] Drake F D. *Physics Today*, 1961, 14: 40
- [4] Tarter J, Ackermann R, Barott W, et al. *Acta Astronautica*, 2011, 68: 340
- [5] Penny A. *Astronomy & Geophysics*, 2011, 52: 21
- [6] Latham D W, Mazeh T, Stefanik R P, et al. *Nature*, 1989, 339: 38
- [7] Wolszczan A, Frail D A. *Nature*, 1992, 355: 145
- [8] Mayor M, Queloz D. *Nature*, 1995, 378: 355
- [9] Butler R P, Wright J T, Marcy G W, et al. *ApJ*, 2006, 646: 505
- [10] Benedict G F, McArthur B E, Forveille T, et al. *ApJ*, 2002, 581: L115
- [11] Charbonneau D, Brown T M, Latham D W, et al. *ApJ*, 2000, 529: L45
- [12] Mao S, Aczynski B. *ApJ*, 1991, 374: L37
- [13] Bond I A, Udalski A, Jaroszynski M, et al. *ApJ*, 2004, 606: L155
- [14] Serabyn E, Mawet D, Burruss R. *Nature*, 2010, 464: 1018
- [15] Griffin R. *MNRAS*, 1973, 162: 243
- [16] Campbell B, Walker G A H. *PASP*, 1979, 91: 540
- [17] Struve O. *The Observatory*, 1952, 870: 199
- [18] Cumming A. *MNRAS*, 2004, 354: 1165
- [19] Perruchot S, Kohler D, Bouchy F, et al. *Ground-Based and Airborne Instrumentation for Astronomy II*, Pts 1-4, McLean IS, Casali MM, eds. *BELLINGHAM: SPIE*, 2008, 7014: J140
- [20] Rupprecht G, Pepe F, Mayor M, et al. *Ground-Based Instrumentation for Astronomy*. *BELLINGHAM: SPIE*, 2004, 5492: 148
- [21] Vogt S S, Butler R P, Rivera E J, et al. *ApJ*, 2010, 723: 954
- [22] Pepe F, Cristiani S, Rebolo L R, et al. *Ground-Based and Airborne Instrumentation for Astronomy III*. *BELLINGHAM: SPIE*, 2010, 7735: 77350F
- [23] Pasquini L, Cristiani S, Garcia L R, et al. *Ground-Based and Airborne Instrumentation for Astronomy III*. *BELLINGHAM: SPIE*, 2010, 7735: 77352F
- [24] Grupp F, Udem T, Holzwarth R, et al. *Ground-Based and Airborne Instrumentation for Astronomy III*. *BELLINGHAM: SPIE*, 2010, 7735: 773573
- [25] Strassmeier K G, Woche M, Ilyin I, et al. *Ground-Based and Airborne Instrumentation for Astronomy II*. *BELLINGHAM: SPIE*, 2008, 7014: N140
- [26] Grupp F, Brucalassi A, Lang, F, et al. *Techniques and Instrumentation for Detection of Exoplanets V*. *BELLINGHAM: SPIE*, 2011, 8151: 815119
- [27] Marcy G W, Butler R P. *PASP*, 1992, 104: 270
- [28] Baranne A, Queloz D, Mayor M, et al. *A&AS*, 1996, 119: 373
- [29] Murphy M T, Udem T, Holzwarth R, et al. *MNRAS*, 2007, 380: 839
- [30] Holzwarth R, Udem T, Hansch T W, et al. *Physical Review Letters*, 2000, 85: 2264
- [31] Udem T, Holzwarth R, Hansch T W. *Nature*, 2002, 416: 233
- [32] Jones D J, Diddams S A, Ranka J K, et al. *Science*, 2000, 288: 635
- [33] Braje D A, Kirchner M S, Osterman S, et al. *European Physical Journal D*, 2008, 48: 57
- [34] Li C H, Benedick A J, Fendel P, et al. *Nature*, 2008, 452: 610
- [35] Steinmetz T, Wilken T, Araujo-Hauck C, et al. *Science*, 2008, 321: 1335
- [36] Wilken T, Lovis C, Manescau A, et al. *MNRAS*, 2010, 405: L16
- [37] Schmidt P O, Kimeswenger S, Kaeuff H U. *ESO ASTROPHYSICS SYMPOSIA*, Kaufer A, Kerber F, eds. *BERLIN: SPRINGER-VERLAG*, 2008: 409
- [38] Steinmetz T, Wilken T, Araujo-Hauck C, et al. *Applied Physics B-Lasers and Optics*, 2009, 96: 251



- [39] Li C H, Glenday A G, Benedick A J, et al. *Optics Express*, 2010, 18: 13239  
[40] Benedick A J, Chang G Q, Birge J R, et al. *Optics Express*, 2010, 18: 19175  
[41] Del'Haye P, Schliesser A, Arcizet O, et al. *Nature*, 2007, 450: 1214  
[42] Kippenberg T J, Holzwarth R, Diddams S A. *Science*, 2011, 332: 555  
[43] Zhang W, Han H, Zhao Y, et al. *Optics Express*, 2009, 17: 6059  
[44] Ma D, Cai Y, Zhou C, et al. *Optics Letters*, 2010, 35: 2858

## The Progress in High Precision Astronomical Radial Velocity Technique

JIANG Ming-da<sup>1,2,3</sup>, XIAO Dong<sup>1,2</sup>, ZHU Yong-tian<sup>1,2</sup>

(1. National Astronomical Observatories / Nanjing Institute of Astronomical Optics and Technology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210042, China; 2. Key Laboratory of Astronomical Optics and Technology, Nanjing Institute of Astronomical Optics and Technology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210042, China; 3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Discovering extrasolar planet has been pursued for a long time. Since the detection of the first extrasolar planet was reported two decades ago, over seven hundred extrasolar planets were reported. Although the new technique is emerging, the radial velocity measurement is still the most productive technique for extrasolar planet hunting. As the earth 'twin' is becoming the next goal, the precision of radial velocity measurement has to be dramatically improved. First of all, various techniques were adopted to guarantee the stability of an astronomical spectrograph. One successful spectrograph is the HARPS, ESO operating in a vacuum tank. Another effort is put the spectrograph into a regulated instrument case whose temperature and air pressure are kept constant, like the PEPSI spectrograph. In the last decade, the laser frequency comb emerges as an ideal calibration source for the astronomical spectrograph. Based on a femtosecond laser referencing to a stable oscillator such as atomic clocks, the laser frequency comb could generate evenly distributed calibration lines in a wide spectral range with the precision of absolute frequencies better than  $10^{-10}$ . It would ensure the precision of radial velocity measurement achieving centimeters per second, much better than current precision, meter per second. As a broad range of laser frequency combs suitable for astronomical application are developing in the laboratories around the world, and the radial velocity measurement calibrated with laser frequency comb would bring more earth 'twin' into our scope in the near future.

**Key words:** spectrograph; radial velocity measurement; laser frequency comb