

Velocidades radiales

R. Gamen

Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP

2017

Índice

- 1 Medida de velocidades radiales a través del efecto Doppler.
- 2 Correcciones geocéntricas y heliocéntricas
- 3 El sistema de referencia LSR (cinemático) y la velocidad solar al Apex.

Determinación de velocidades radiales

Utilizamos el efecto doppler sobre la radiación electromagnética:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = -\frac{\Delta\nu}{\nu_0} = \frac{v}{c} \quad (1)$$

donde $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$ y λ es medida en el espectro y λ_0 es la long. de onda en “reposo”.

En el caso relativista:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = z = \frac{1 + \frac{v}{c}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \quad (2)$$

Para saber cual es el λ_0 debo identificar la línea: a qué ión/transición pertenece?

¿Para que sirven las VRs?

- Una de las componentes de la velocidad estelar (junto a mov. propios)

¿Para que sirven las VRs?

- Una de las componentes de la velocidad estelar (junto a mov. propios)
 - Estructura galáctica.

¿Para que sirven las VRs?

- Una de las componentes de la velocidad estelar (junto a mov. propios)
 - Estructura galáctica.
 - Expansión del Universo.

¿Para que sirven las VRs?

- Una de las componentes de la velocidad estelar (junto a mov. propios)
 - Estructura galáctica.
 - Expansión del Universo.
- Determinación de distancias galácticas (suponiendo rotación galáctica).
- Dinámica de atmósferas estelares (cefeidas, expansión en WRs).

¿Para que sirven las VRs?

- Una de las componentes de la velocidad estelar (junto a mov. propios)
 - Estructura galáctica.
 - Expansión del Universo.
- Determinación de distancias galácticas (suponiendo rotación galáctica).
- Dinámica de atmósferas estelares (cefeidas, expansión en WRs).
- Dinámica de discos protoplanetarios, estrellas Be.

¿Para que sirven las VRs?

- Una de las componentes de la velocidad estelar (junto a mov. propios)
 - Estructura galáctica.
 - Expansión del Universo.
- Determinación de distancias galácticas (suponiendo rotación galáctica).
- Dinámica de atmósferas estelares (cefeidas, expansión en WRs).
- Dinámica de discos protoplanetarios, estrellas Be.
- Binarias! → **Determinación de masas!**

¿Para que sirven las VRs?

- Una de las componentes de la velocidad estelar (junto a mov. propios)
 - Estructura galáctica.
 - Expansión del Universo.
- Determinación de distancias galácticas (suponiendo rotación galáctica).
- Dinámica de atmósferas estelares (cefeidas, expansión en WRs).
- Dinámica de discos protoplanetarios, estrellas Be.
- Binarias! → **Determinación de masas!**
- Detección de exoplanetas.

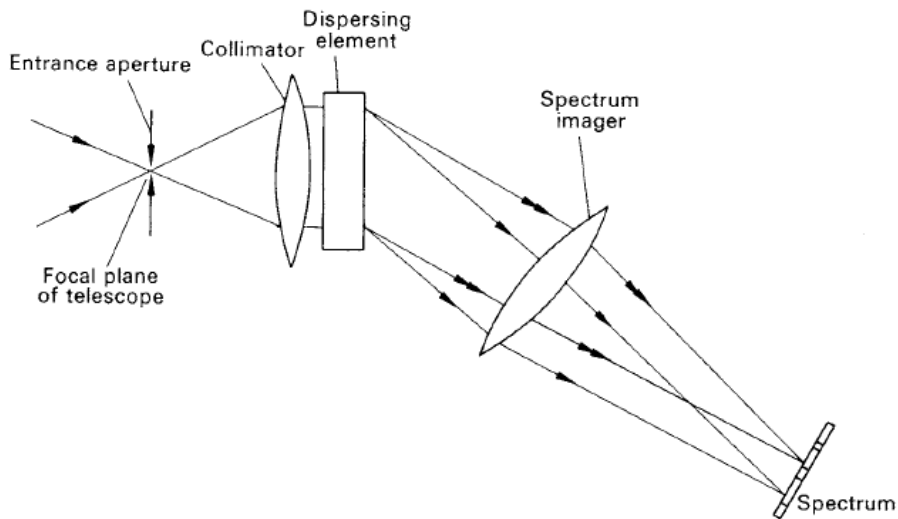
¿Para que sirven las VRs?

- Una de las componentes de la velocidad estelar (junto a mov. propios)
 - Estructura galáctica.
 - Expansión del Universo.
- Determinación de distancias galácticas (suponiendo rotación galáctica).
- Dinámica de atmósferas estelares (cefeidas, expansión en WRs).
- Dinámica de discos protoplanetarios, estrellas Be.
- Binarias! → **Determinación de masas!**
- Detección de exoplanetas.
- Astrosismología.

¿Para que sirven las VRs?

- Una de las componentes de la velocidad estelar (junto a mov. propios)
 - Estructura galáctica.
 - Expansión del Universo.
- Determinación de distancias galácticas (suponiendo rotación galáctica).
- Dinámica de atmósferas estelares (cefeidas, expansión en WRs).
- Dinámica de discos protoplanetarios, estrellas Be.
- Binarias! → **Determinación de masas!**
- Detección de exoplanetas.
- Astrosismología.
- ???

Espectrógrafos:



Espectrógrafos:

- con ranura
- sin ranura

- dispersor: prisma
- dispersor: red (simple, echelle)

- objeto simple
- multiobjeto

- adosado al telescopio
- de banco

- alimentado directamente (o por espejos)
- alimentado por fibras ópticas

Espectrógrafos:

Algunas relaciones matemáticas útiles para describirlos:

Ecuación de red:

$$\lambda = \frac{a}{m}(\sin \alpha + \sin \beta) \quad (3)$$

¿ Cómo cambia β respecto a λ ?

$$\delta \lambda = \frac{a}{m} \cos \beta \delta \beta \quad (4)$$

$$\frac{\delta \beta}{\delta \lambda} = \frac{m}{a \cos \beta} \quad (5)$$

Si quiero calcularlo “en distancia” sobre el plano focal del espectrógrafo, multiplico por “f”. Defino dispersión lineal:

$$f \frac{\delta\beta}{\delta\lambda} \quad (6)$$

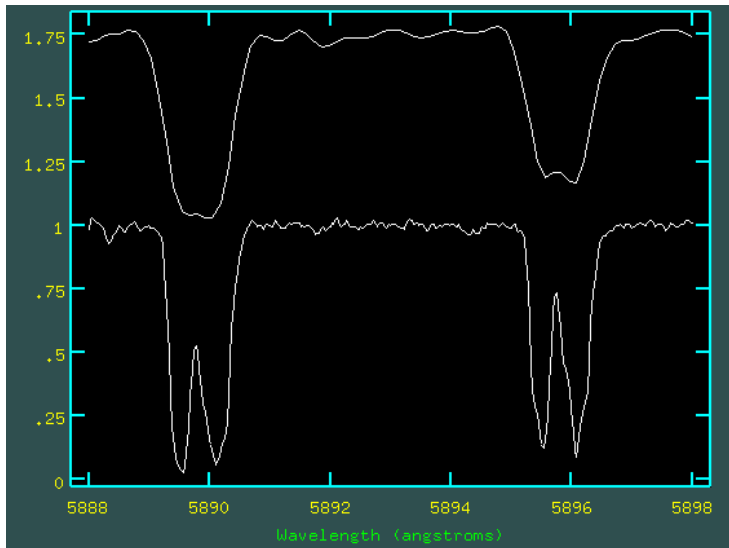
Se suele utilizar la dispersión lineal recíproca. Se mide en unidades de longitud de onda por unidad de distancia del detector (mm o pixel). i.e. \AA mm^{-1} o \AA px^{-1} .

El parámetro que mejor caracteriza un espectrógrafo es la resolución espectral:

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} \quad (7)$$

Resolución:

Es la capacidad de un receptor para discriminar entre distintas λ .



¿ A mayor resolución, mejor precisión en determinar VRs ?

Ongoing:

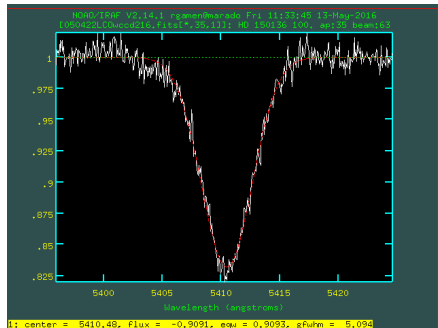
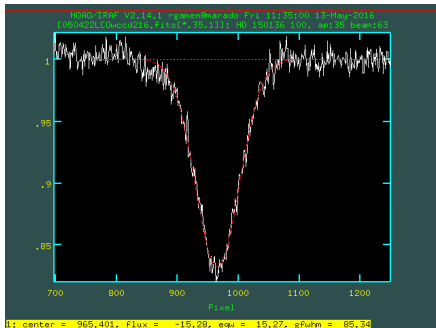
Keck 10-m	HIRES	Keck	85 000	3 → 1	1996
AAT 3.9-m	UCLES	Anglo-Australian	80 000	3	1998
Euler 1.2-m	CORALIE	Geneva	50 000	7 → 3	1998
HET 9.2-m	HRS	U. Texas/McDonald	60 000	3	1998
ESO VLT 8-m	UVES	ESO	47 000	30	2000
TNG 3.6-m	SARG	INAF, Italy	46 000	3	2001
Tautenburg 2-m	échelle	Thüringer LS	67 000	3-10	2001
OAO 1.9-m	HIDES	Okayama	70 000	6	2001
ESO 3.6-m	HARPS	Geneva	115 000	0.3-1	2003
MPG 2.2-m	FEROS	Max Planck-ESO	48 000	10	2003
Magellan 6.5-m	MIKE	Magellan	50 000	5	2004
Subaru 8.2-m	HDS	NAOJ	60 000	4-5	2004
BOAO 1.8-m	BOES	Bohyunsan, Korea	90 000	6	2004
Xinglong 2.2-m	CES	China	44 000	30	2005
OHP 1.9-m	SOPHIE	OHP, replaces ELODIE	75 000	3	2006
Sloan 2.5-m	MARVELS*	SDSS/Keck	11 000	3-20	2008
Magellan 6.5-m	PFS	Carnegie	38 000	1	2009
Mt Abu 1.2-m	échelle	PARAS, India	70 000	3-5	2009
APF 2.4-m	APF	Lick	80 000	1	2009
WHT 4.2-m	HARPS-N	SAO-Geneva	115 000	0.3-1	2010

Near infrared:

ESO VLT 8-m	CRIRES	ESO (1-5 μm)	100 000	10-20	2007
Palomar 5-m	TEDI*	Berkeley (0.9-2.4 μm)	20 000	5	2007
Gemini 8.1-m	PRVS	Gemini (0.9-1.7 μm)	50 000	10	study

Future:

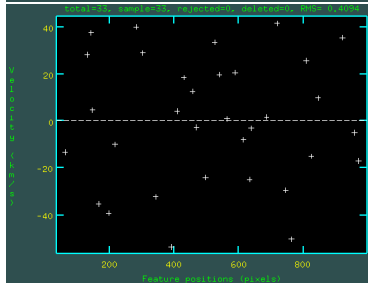
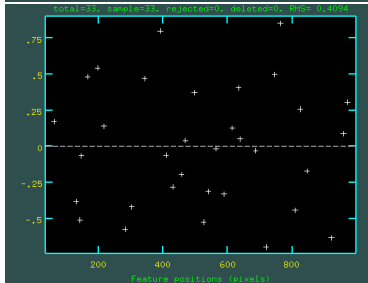
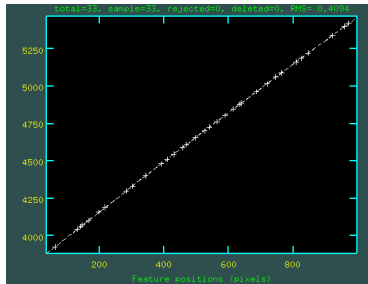
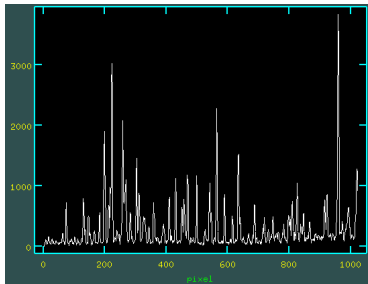
ESO VLT 4×8-m	ESPRESSO	ESO	140 000	0.1	2014?
E-ELT 42-m	CODEX	ESO	150 000	0.01	2016?
TMT 30-m	MIRES	TMT (2.5-10 μm)	120 000	-	2018?
GMT 7×8.4-m	SHARPS	SAO	150 000	-	2018?

¿ Cómo obtengo el espectro calibrado en λ ?

Se debe obtener otro espectro de una lámpara de comparación cuyas transiciones son conocidas (He–Ne–Ar, Th–Ar, Fe, etc.).

La obtención de la lámpara de comparación no se hace de cualquier modo. Depende del espectrógrafo que estoy usando.

La forma en que se transforman las medidas en pixeles a long. de onda es lo fundamental!



HARPS como ejemplo del espectrógrafo más preciso de la actualidad:

- Significa *High Accuracy Radial velocity Planet Searcher*.

HARPS como ejemplo del espectrógrafo más preciso de la actualidad:

- Significa *High Accuracy Radial velocity Planet Searcher*.
- Está instalado dentro de una cápsula de vacío a condiciones muy precisas y controladas (T constante).

HARPS como ejemplo del espectrógrafo más preciso de la actualidad:

- Significa *High Accuracy Radial velocity Planet Searcher*.
- Está instalado dentro de una cápsula de vacío a condiciones muy precisas y controladas (T constante).
- Alimentado por 2 fibras. Una en la estrella y otra en el cielo **o una lámpara de comparación**.

HARPS como ejemplo del espectrógrafo más preciso de la actualidad:

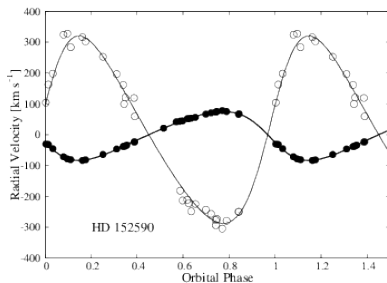
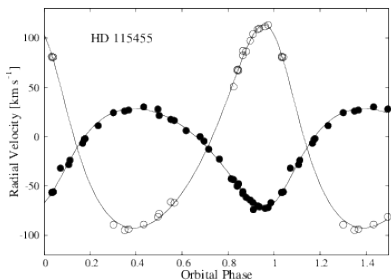
- Significa *High Accuracy Radial velocity Planet Searcher*.
- Está instalado dentro de una cápsula de vacío a condiciones muy precisas y controladas (T constante).
- Alimentado por 2 fibras. Una en la estrella y otra en el cielo **o una lámpara de comparación**.
- Opera entre 3780–6910 Å; $R=115\,000$; Errores de $\sim 1 \text{ m s}^{-1}$.

HARPS como ejemplo del espectrógrafo más preciso de la actualidad:

- Significa *High Accuracy Radial velocity Planet Searcher*.
- Está instalado dentro de una cápsula de vacío a condiciones muy precisas y controladas (T constante).
- Alimentado por 2 fibras. Una en la estrella y otra en el cielo **o una lámpara de comparación**.
- Opera entre 3780–6910 Å; $R=115\,000$; Errores de $\sim 1\text{ m s}^{-1}$.

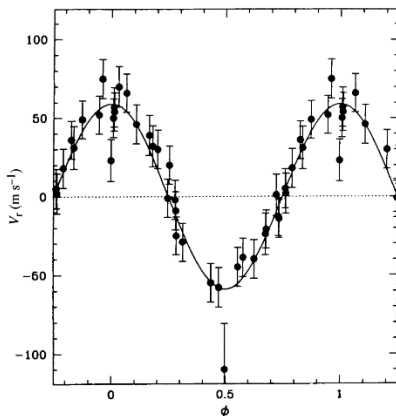


Curvas de VR para determinar masas (mínimas) estelares:

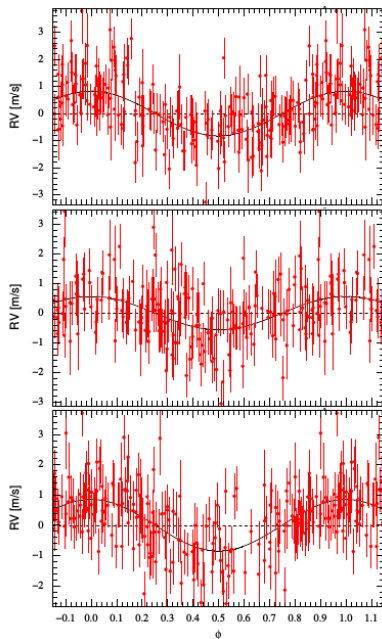


... cursar Sistemas Estelares para entender ...

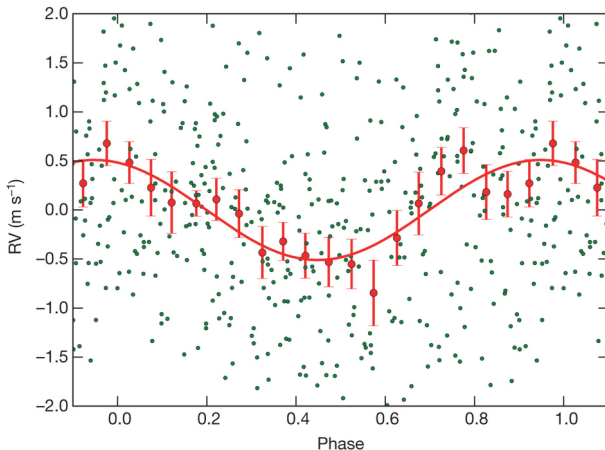
Primer exoplaneta confirmado: 51 Pegasi b (Mayor, Queloz, 1995, Nature, 378, 355) con ELODIE.



Otros con HARPS:
3 planetas alrededor de HD 20794
($P=18$ d, 40 d, 90 d).
Pepe et al (2011, A&A, 534, 58).



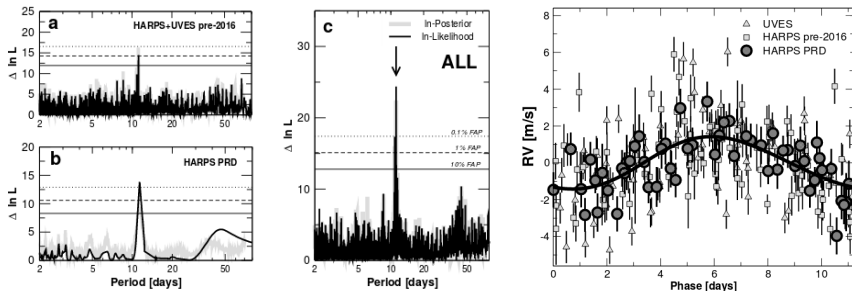
Otro con HARPS: An Earth-mass planet orbiting α Centauri B.



$P=3.236$ d.

Dumusque, Pepe, Lovis et al. (2012, Nature, 491, 207)

A terrestrial planet candidate in a temperate orbit around Proxima Centauri (Anglada-Escudé et al., 2016, Nature, 536, 437).



Observaciones de HARPS revelan la presencia de un pequeño planeta (masa mínima 1.3 $M_{\text{terrestres}}$) en un período orbital de ~ 11.2 d a una distancia de ~ 0.05 UA.

The HARPS search for southern extra-solar planets.

XXXVI. Eight HARPS multi-planet systems hosting 20 super-Earth and Neptune-mass companions * * * * *

S. Udry¹, X. Dumusque¹, C. Lovis¹, D. Ségransan¹, R. Diaz¹, W. Benz², F. Bouchy^{1,3}, A. Coffinet¹, G. Lo Curto⁴, M. Mayor¹, C. Mordasini², F. Motalebi¹, F. Pepe¹, D. Queloz¹, N.C. Santos^{5,6}, A. Wyttenbach¹, R. Alonso⁷, A. Collier Cameron⁸, M. Deleuil³, P. Figueira⁵, M. Gillon⁹, C. Moutou^{3,10}, D. Pollacco¹¹, and E. Pompei⁴

¹ Observatoire astronomique de l'Université de Genève, 51 ch. des Maillettes, CH-1290 Versoix, Switzerland

² Physikalisches Institut, Universität Bern, Silderstrasse 5, CH-3012 Bern, Switzerland

³ Aix Marseille Université, CNRS, LAM (Laboratoire d'Astrophysique de Marseille) UMR 7326, 13388, Marseille, France

⁴ European Southern Observatory, Karl-Schwarzschild-Str. 2, D-85748 Garching bei München, Germany

⁵ Instituto de Astrofísica e Ciências do Espaço, Universidade do Porto, CAUP, Rua das Estrelas, 4150-762 Porto, Portugal

⁶ Departamento de Física e Astronomia, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre, 4169-007 Porto, Portugal

⁷ Instituto de Astrofísica de Canarias, 38025, La Laguna, Tenerife, Spain

⁸ School of Physics and Astronomy, University of St Andrews, North Haugh, St Andrews, Fife KY16 9SS

⁹ Institut d'Astrophysique et de Géophysique, Université de Liège, Allée du 6 Août 17, Bat. B5C, 4000, Liège, Belgium

¹⁰ Canada France Hawaii Telescope Corporation, Kamuela, 96743, USA

¹¹ Department of Physics, University of Warwick, Coventry, CV4 7AL, UK

Received XXX; accepted XXX

ABSTRACT

Context. We present radial-velocity measurement of eight stars observed with the HARPS Echelle spectrograph mounted on the 3.6-m telescope in La Silla (ESO, Chile). Data span more than ten years and highlight the long-term stability of the instrument.

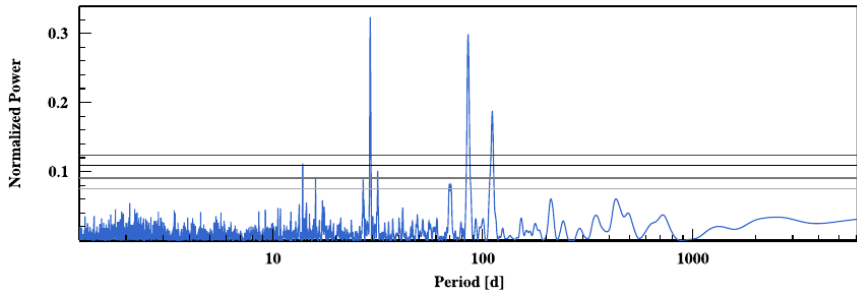
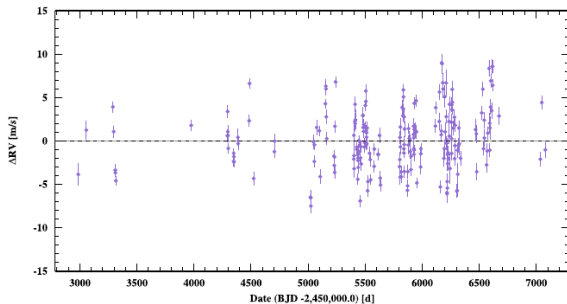
Aims. We search for potential planets orbiting HD 20003, HD 20781, HD 21693, HD 31527, HD 45184, HD 51608, HD 134060 and HD 136352 to increase the number of known planetary systems and thus better constrain exoplanet statistics.

Methods. After a preliminary phase looking for signals using generalized Lomb-Scargle periodograms, we perform a careful analysis of all signals to separate *bona-fide* planets from spurious signals induced by stellar activity and instrumental systematics. We finally secure the detection of all planets using the efficient MCMC available on the Data and Analysis Center for Exoplanets (DACE web-platform), using model comparison whenever necessary.

Results. In total, we report the detection of twenty new super-Earth to Neptune-mass planets, with minimum masses ranging from 2 to 30 M_{Earth} , and periods ranging from 3 to 1300 days. By including CORALIE and HARPS measurements of HD 20782 to the already published data, we also improve the characterization of the extremely eccentric Jupiter orbiting this host.

Key words. Planetary systems – Techniques: RVs – Techniques: spectroscopy – Methods: data analysis – Stars: individual: HD 20003, HD 20781, HD 20782, HD 21693, HD 31527, HD 45184, HD 51608, HD 134060, HD 136352

.05153v1 [astro-ph.EP] 15 May 2017



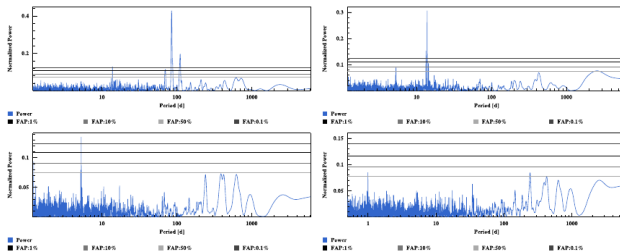
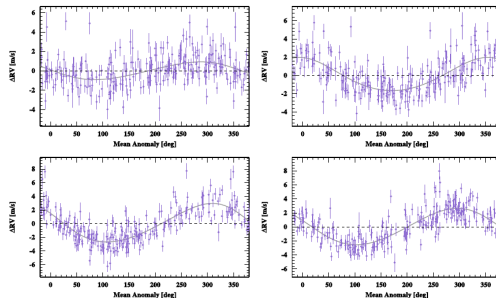


Fig. 6. GLS periodogram of the residuals at each step, after removing one planet after the other in the analysis of HD 20781 (from left to right and top to bottom). The GLS periodogram of the raw RVs is shown in Fig. 1



Param.	Units	HD20781b	HD20781c	HD20781d	HD20781e
P	[d]	$5.3135^{+0.0010}_{-0.0010}$	$13.8905^{+0.0033}_{-0.0034}$	$29.1580^{+0.0102}_{-0.0100}$	$85.5073^{+0.0983}_{-0.0947}$
K	[m s ⁻¹]	$0.91^{+0.15}_{-0.15}$	$1.81^{+0.16}_{-0.16}$	$2.82^{+0.17}_{-0.16}$	$2.60^{+0.14}_{-0.14}$
e		$0.10^{+0.11}_{-0.07}$	$0.09^{+0.09}_{-0.06}$	$0.11^{+0.05}_{-0.06}$	$0.06^{+0.06}_{-0.04}$
ω	[deg]	$84.04^{+141.70}_{-108.41}$	$7.44^{+53.87}_{-70.21}$	$60.99^{+30.79}_{-30.03}$	$70.59^{+61.40}_{-67.58}$
T_P	[d]	$55503.2027^{+2.0979}_{-1.5934}$	$55503.5204^{+2.0425}_{-2.6815}$	$55511.3258^{+2.4394}_{-2.4382}$	$55513.3912^{+14.3623}_{-16.0090}$
T_C	[d]	$55503.2888^{+0.2361}_{-0.2384}$	$55506.4386^{+0.3546}_{-0.4385}$	$55513.2432^{+0.4250}_{-0.4410}$	$55517.4714^{+1.3596}_{-1.4838}$
A_r	[AU]	$0.0529^{+0.0024}_{-0.0027}$	$0.1004^{+0.0046}_{-0.0051}$	$0.1647^{+0.0076}_{-0.0083}$	$0.3374^{+0.0155}_{-0.0170}$
$M.\sin i$	[M _{Jup}]	$0.0061^{+0.0012}_{-0.0011}$	$0.0168^{+0.0022}_{-0.0021}$	$0.0334^{+0.0038}_{-0.0037}$	$0.0442^{+0.0049}_{-0.0049}$
$M.\sin i$	[M _{Earth}]	$1.93^{+0.39}_{-0.36}$	$5.33^{+0.70}_{-0.67}$	$10.61^{+1.20}_{-1.19}$	$14.03^{+1.56}_{-1.56}$

Correcciones geocéntricas y heliocéntricas

Las velocidades radiales (VR) que medimos en realidad es la VR del objeto respecto a la Tierra. Debemos corregir:

- Velocidad de la rotación terrestre.

Correcciones geocéntricas y heliocéntricas

Las velocidades radiales (VR) que medimos en realidad es la VR del objeto respecto a la Tierra. Debemos corregir:

- Velocidad de la rotación terrestre.
- Velocidad de la traslación terrestre.

Correcciones geocéntricas y heliocéntricas

Las velocidades radiales (VR) que medimos en realidad es la VR del objeto respecto a la Tierra. Debemos corregir:

- Velocidad de la rotación terrestre.
- Velocidad de la traslación terrestre.
- Velocidad del Sol en el espacio (respecto al LSR).

Velocidad del Sol respecto al LSR

Source	Data	U_{\odot} (km s ⁻¹)	V_{\odot} (km s ⁻¹)	W_{\odot} (km s ⁻¹)
This study (2014)	LSS-GAC DR1	7.01±0.20	10.13±0.12	4.95±0.09
Bobylev & Bajkova (2014)	Young objects	6.00±0.50	10.60±0.80	6.50±0.30
Coşkunoğlu et al. (2011)	RAVE DR3	8.50±0.29	13.38±0.43	6.49±0.26
Bobylev & Bajkova (2010)	Masers	5.50±2.2	11.00±1.70	8.50±1.20
Breddels et al. (2010)	RAVE DR2	12.00±0.60	20.40±0.50	7.80±0.30
Schönrich et al. (2010)	Hipparcos	11.10 ^{+0.69} _{-0.75}	12.24 ^{+0.47} _{-0.47}	7.25 ^{+0.37} _{-0.36}
Reid et al. (2009)	Masers	9.0	20	10
Francis & Anderson (2009)	Hipparcos	7.50±1.00	13.50±0.30	6.80±0.10
Bobylev & Bajkova (2007)	F & G dwarfs	8.70±0.50	6.20±2.22	7.20±0.80
Piskunov et al. (2006)	Open clusters	9.44±1.14	11.90±0.72	7.20±0.42
Mignard (2000)	K0-K5	9.88	14.19	7.76
Dehnen & Binney (1998)	Hipparcos	10.00 ±0.36	5.25±0.62	7.17±0.38
Binney et al. (1997)	Stars near South Celestial Pole	11.00±0.60	5.30±1.70	7.00±0.60
Mihalas & Binney (1981)	Galactic Astronomy (2nd Ed.)	9.00	12.00	7.0
Homann (1886)	Solar neighborhood stars	17.40±11.2	16.90±10.90	3.60±2.30

Huang et al (2015, MNRAS, 449, 162)

Velocidad del Sol respecto al LSR

Para determinar el movimiento del LSR, se necesitan conocer las velocidades “espaciales” de todas las estrellas de la vecindad solar: distancias, velocidades radiales y movimientos propios.

... continuará ...