

A special planet on our cosmic doorstep: Proxima Centauri b

Ein besonderer Planet vor unserer kosmischen Haustüre:
Proxima Centauri b

Martin Kürster

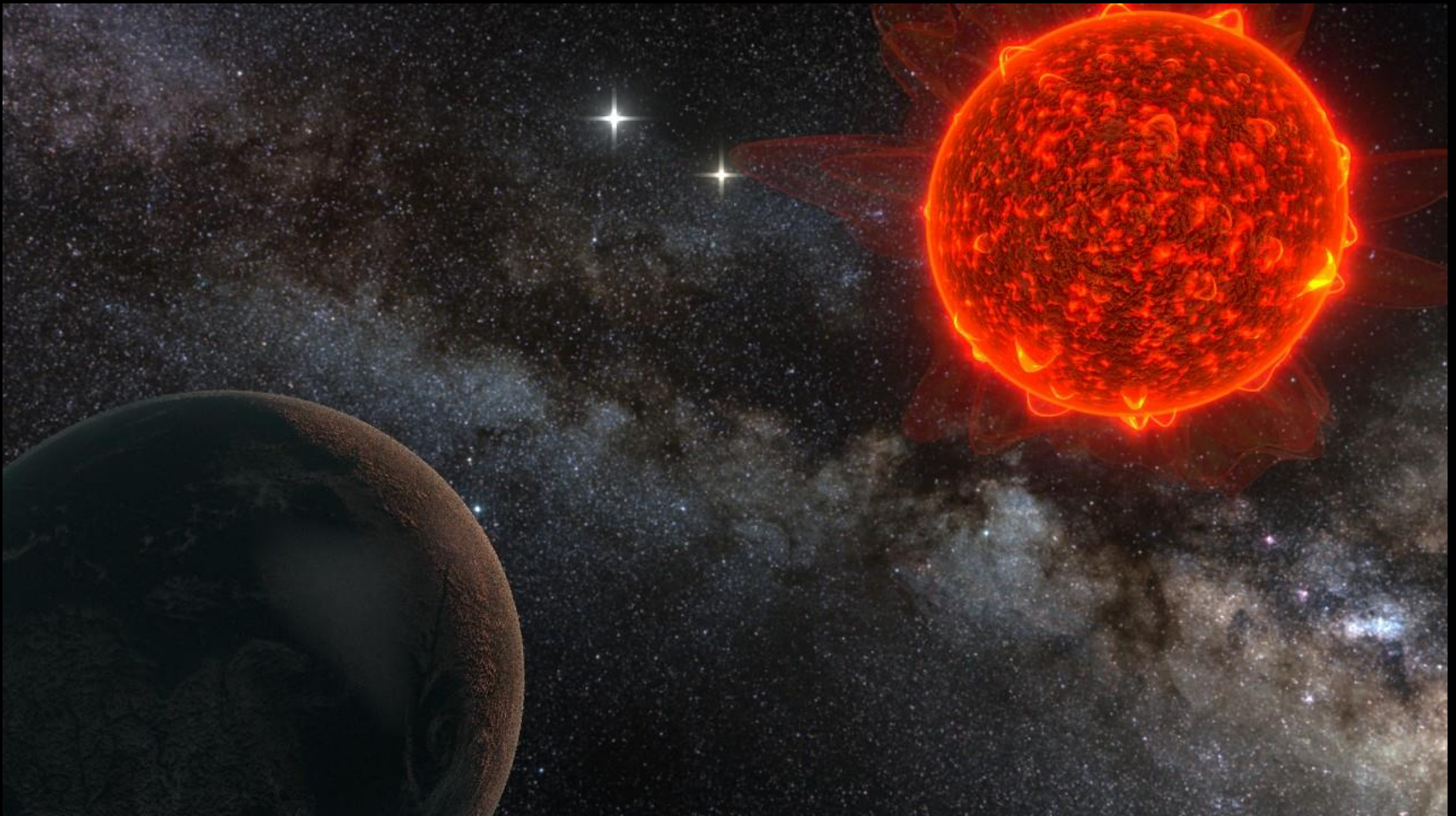
ESO La Silla, Chile

Artist's impression

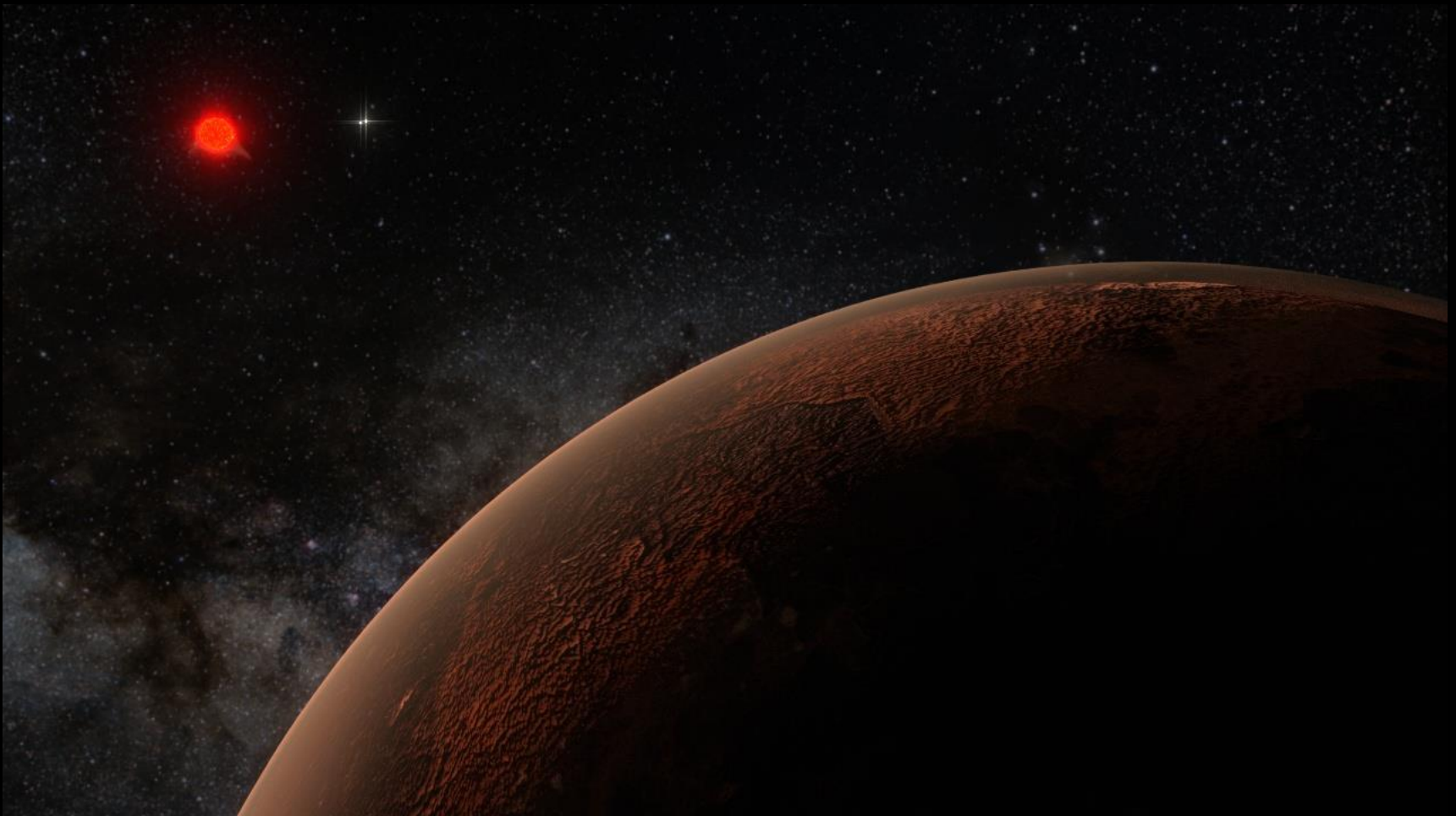
Ricardo Ramirez Reyes



Artist's impression



Artist's impression



Artist's impression



Artist's impression

© ESO / M. Kornmesser

Auf nach Proxima Centauri b!

Der erdgroße Planet bei unserem nächsten Nachbarstern ist ein lohnendes Forschungsziel

Von den bislang seit 1995 entdeckten rund 3500 Exoplaneten sorgt einer seit kurzem für Diskussionen nicht nur unter Astronomen, sondern auch in der Öffentlichkeit. Es ist Proxima Centauri b, dessen Entdeckung am 25. August des Jahres bekanntgegeben wurde. Das Besondere: Er ist erdgroß und umkreist den uns am nächsten benachbarten Stern. Jetzt werden alte und neue Raumflugpläne zu dem Planeten diskutiert.

VON BERNHARD MACKOWIAK

Berlin. Sci-Fi-Autoren wussten es schon immer: Bei dem unserer Sonne nächsten Stern Proxima Centauri, „nur“ 4,2 Lichtjahre entfernt, also rund 40 Billionen Kilometer, musste mindestens ein Planet sein. Und deshalb hatten sie verschiedene Sternenschiffe entworfen.

Auch renommierte Organisationen wie die British Interplanetary Society und die seit 12. April an die Öffentlichkeit getretene Initiative „Breakthrough Starshot“ (Durchbruch: Sternenschuss) haben sich über solche Flüge Gedanken gemacht: Auf der Basis heutiger weiter zu entwickelnder Technik soll entweder ein Riesenraumschiff namens Daedalus/Icarus den Weg dorthin antreten oder eine Flotte von Nanosonden. Weshalb aber beflügelt die Entdeckung Proxima Centauri b die wissenschaftlich-technischen Spekulationen; und wie realistisch sind solche Sternflugprojekte?

„Die geringe Entfernung zu unserer Sonne und die erdähnlichen physikalischen Eigenschaften sind sicherlich die Hauptgründe“, sagt Dr. Martin Kürster vom Max-Planck-Institut für Astronomie in Heidelberg. Er ist einer der Co-Autoren der Veröffentlichung in „Nature“ vom 25. August dieses Jahres über die Entdeckung von Proxima Centauri b. „Es ist natürlich schwer zu sagen, ob Proxima Centauri

b der erdähnlichste Planet ist“, fährt er fort, „aber es ist ein erdähnlicher und ein uns sehr naher.“

Was die Astronomen gern wissen würden, ist, wie viele solcher Planeten es überhaupt in der Milchstraße gibt. Werden also die Astronomen jetzt gleich beim ersten Nachbarstern sozusagen fündig, so liegt doch der Schluss sehr nahe, dass diese Art Planet ziemlich häufig ist.

Gründe genug, um per Sternenschiff einmal bei Proxima Centauri b vorbeizuschauen. Es ist ein Planet, der nach bisherigen Erkenntnissen eine minimale Masse vom 1,27-fachen der Erde hat, sein Zentralgestirn in 11,2 Tagen umläuft, und zwar in einem Abstand, der etwa ein Zwanzigstel desjenigen der Erde zur Sonne beträgt.

„Wonach wir jetzt suchen“, so Kürster, „ist eine Atmosphäre. Sie ist eine Voraussetzung für die Entstehung von Leben neben der Tatsache, dass ein oder der Planet in der sogenannten habitablen Zone liegt, also jenem Abstand vom Zentralstern und damit Temperaturbereich, dass flüssiges Wasser auf der Oberfläche existieren kann.“

Die in den 1970er Jahren projektierte Daedalus ist als ein zweistufiges, vollautomatisch arbeitendes Raumschiff gedacht, mit einer Startmasse von 54.000 Tonnen. Die Saturn-V-Rakete (2934,8 Tonnen) würde dagegen klein aussehen. Als Antrieb sollen Deuterium und Helium-3 durch Fusion gezündet werden, um bis auf zwölf Prozent der Lichtgeschwindigkeit zu beschleunigen. In 50 Jahren sollte der sechs Lichtjahre entfernte Barnards Pfeilstern erreicht werden, von dem Astronomen und Missionsplaner damals annahmen, dass er Planeten besäße – ein Irrtum, wie sich später herausstellte.

In einem 70-stündigen Vorbeiflug sollten die entsprechenden Daten und Bilder gesammelt und zur Erde gefunkt werden. Und das wür-



So stellt sich ein Künstler die Oberfläche des Planeten Proxima Centauri b bei dem Stern Proxima Centauri vor.

Foto: Esa

de wegen der Entfernung von sechs Lichtjahren eine Weile dauern. Schon die genannten Zahlen lassen an der Realisierung zweifeln – ganz zu schweigen von den astronomischen Kosten, weshalb Neuerfinder auch von einem 100-Jahre-Sternenschiff-Projekt sprechen.

Dagegen geht die Initiative „Breakthrough Starshot“ von einer nur 20-jährigen Entwicklungszeit aus, einer ebenso langen Reisezeit, für die bisher konventionelle Raumschiffe mehr als 30.000 Jahre brauchen würden, plus der nötigen Laufzeit für die Funksignale zur Erde. Finanziert wird das Projekt zunächst mit 100 Millionen Dollar

von dem russischstämmigen amerikanischen Internetmilliardär Yuri Milner. Weitere Unterstützer sind zahlreiche bekannte Persönlichkeiten aus Physik und Astronomie, darunter Stephen Hawking.

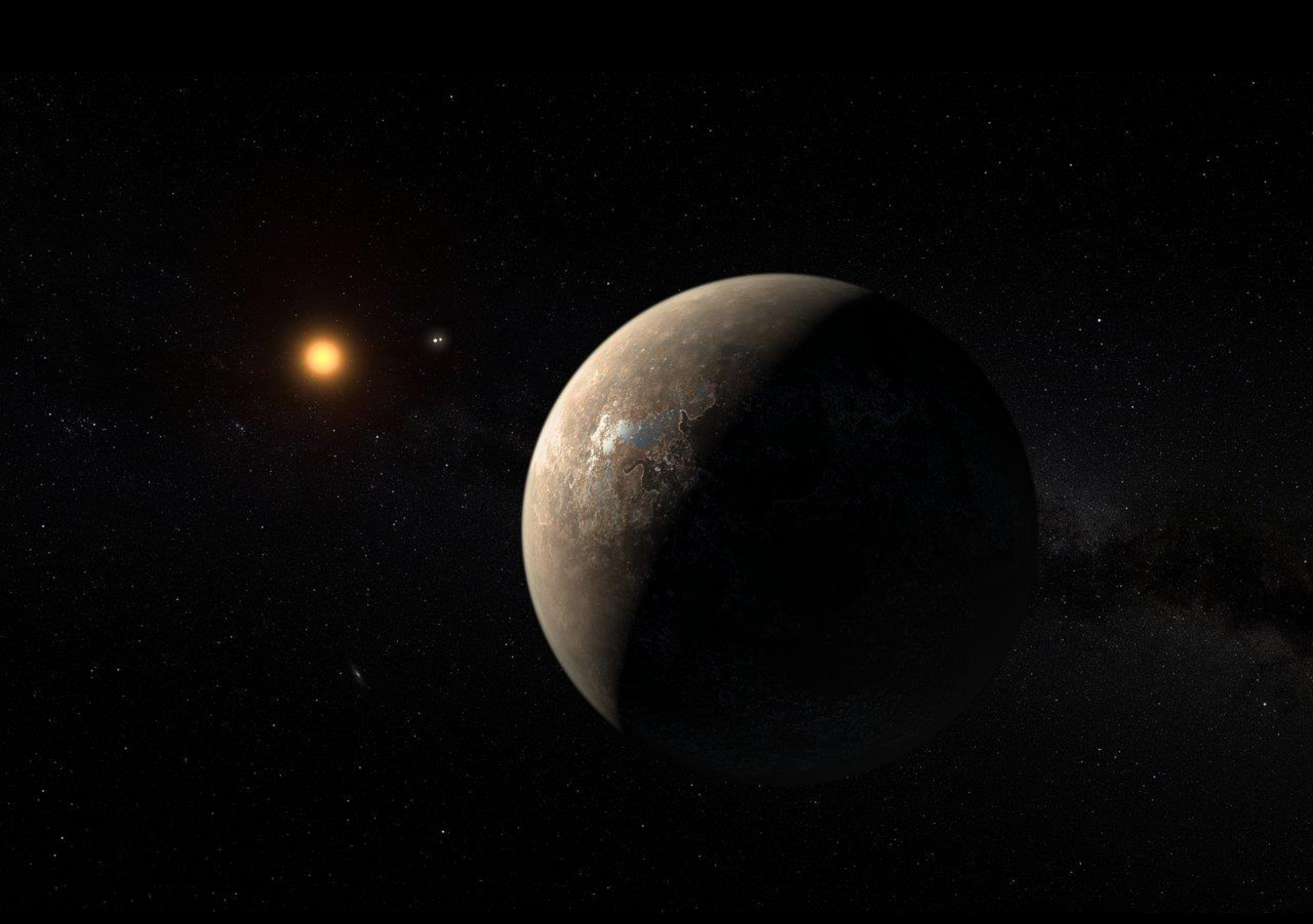
Geplant ist eine Art Miniaturraumschiff von der Größe eines elektronischen Mikrochips – englisch „Starchip“.

Es soll mit einem sogenannten Wafer beschichtet werden, der Steuercomputer, Energiequelle, Kamera, Empfänger und Sender enthält. Zur Fortbewegung dient ein einige Meter großes Lichtsegel, das aber nur wenige Schichten von Atomen dick ist. Eine große Gruppe von La-

sern mit einer Gesamtleistung von 100 Gigawatt soll es zehn Minuten über eine Strecke von zwei Millionen Kilometer bestrahlen und so auf 20 Prozent der Lichtgeschwindigkeit bringen.

Über die notwendigen Komponenten wie Mikrokameras oder Photonenantrieb mit Lasern ist in anderen Zusammenhängen schon geforscht worden. Dr. Kürster findet die Diskussion interessant, kennt aber auch die Schwierigkeiten – beispielsweise was geschieht, wenn dieses so beschleunigte „Raumschiff“ von einem interstellaren Staubkorn getroffen wird. Und dann der Energieaufwand. Er

ist gigantisch: Er beträgt mehr, als alle Kernkraftwerke der Erde zurzeit aufbringen. „Von daher ist das eine interessante Diskussion. Aber die Verwirklichung in 20 Jahren, mit einem Aufwand ähnlich dem für die bisher größten internationalen Forschungsprojekte wie CERN, da wird es, gelinde gesagt, noch einige Verzögerungen geben und damit viele Erd- und noch weitaus mehr Proxima-Centauri-b-Umläufe.“



Artist's impression

nature

THE INTERNATIONAL WEEKLY JOURNAL OF SCIENCE

NEAR HORIZON

*A warm terrestrial planet in orbit around
Proxima Centauri, closest star to the Sun* **PAGES 408 & 437**



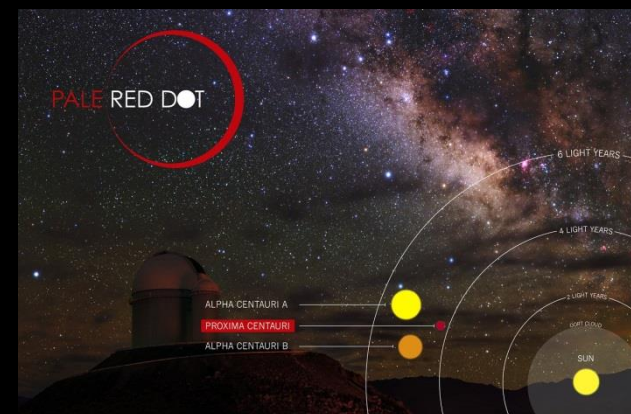
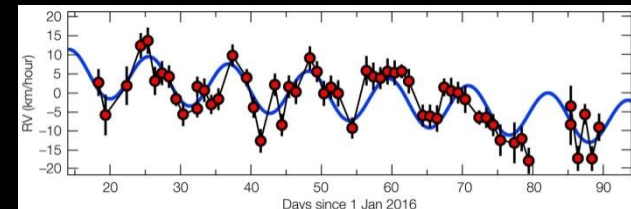
[NATURE.COM/NATURE](https://www.nature.com/nature)

25 August 2016 £10

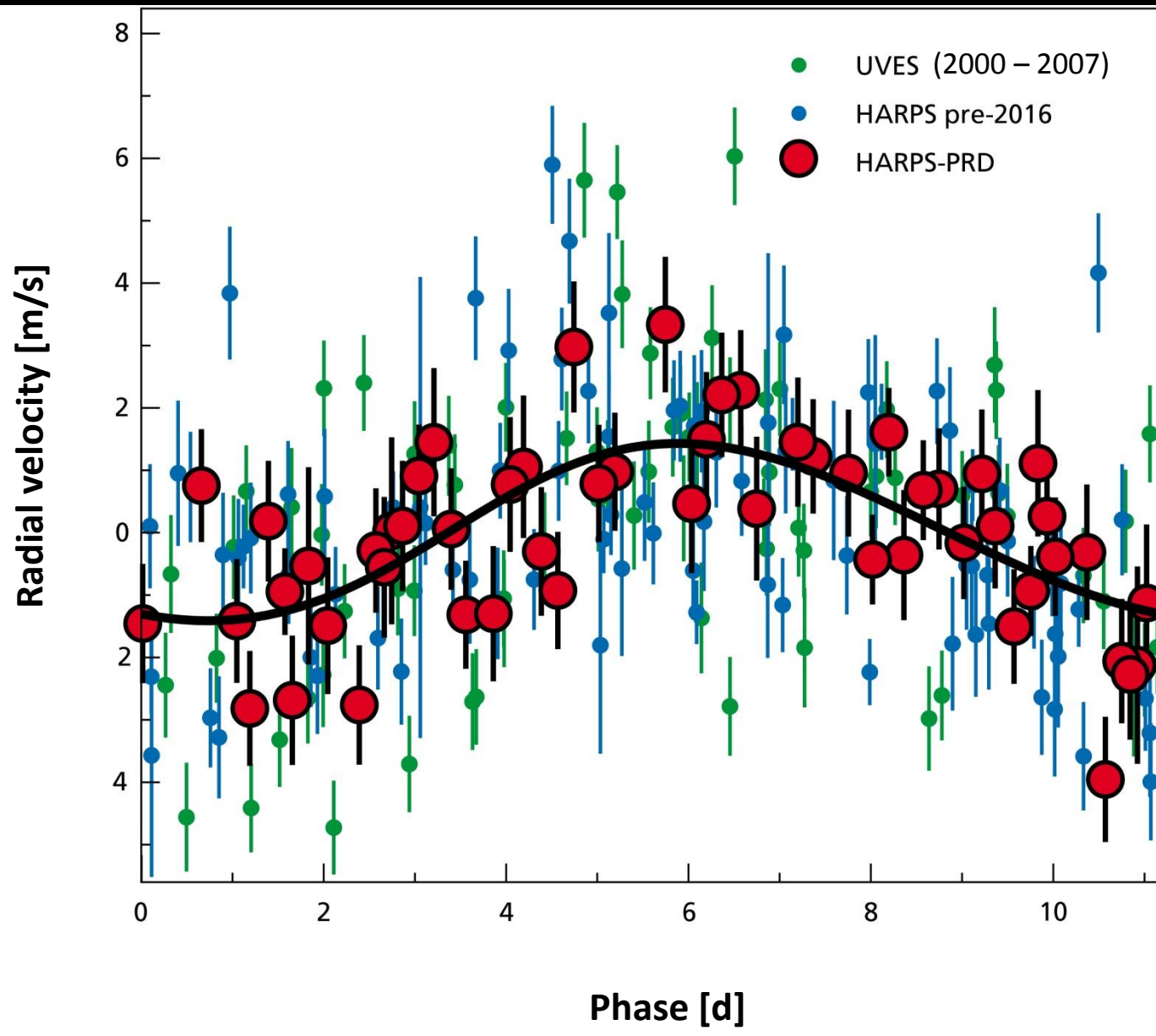
Vol. 536, No. 7617

A terrestrial planet candidate in a temperate orbit around Proxima Centauri

Guillem Anglada-Escudé¹, Pedro J. Amado², John Barnes³, Zaira M. Berdiñas², R. Paul Butler⁴, Gavin A. L. Coleman¹, Ignacio de la Cueva⁵, Stefan Dreizler⁶, Michael Endl⁷, Benjamin Giesers⁶, Sandra V. Jeffers⁶, James S. Jenkins⁸, Hugh R. A. Jones⁹, Marcin Kiraga¹⁰, Martin Kürster¹¹, María J. López-González², Christopher J. Marvin⁶, Nicolás Morales², Julien Morin¹², Richard P. Nelson¹, José L. Ortiz², Aviv Ofir¹³, Sijme-Jan Paardekooper¹, Ansgar Reiners⁶, Eloy Rodríguez², Cristina Rodríguez-López², Luis F. Sarmiento⁶, John P. Strachan¹, Yiannis Tsapras¹⁴, Mikko Tuomi⁹ & Mathias Zechmeister⁶

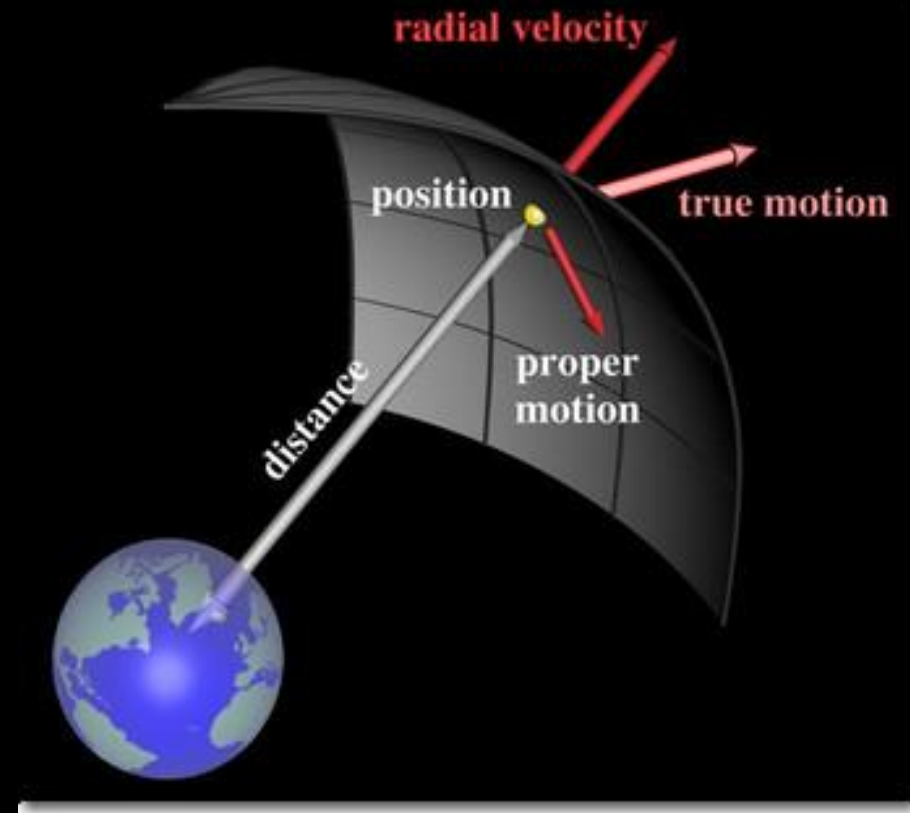
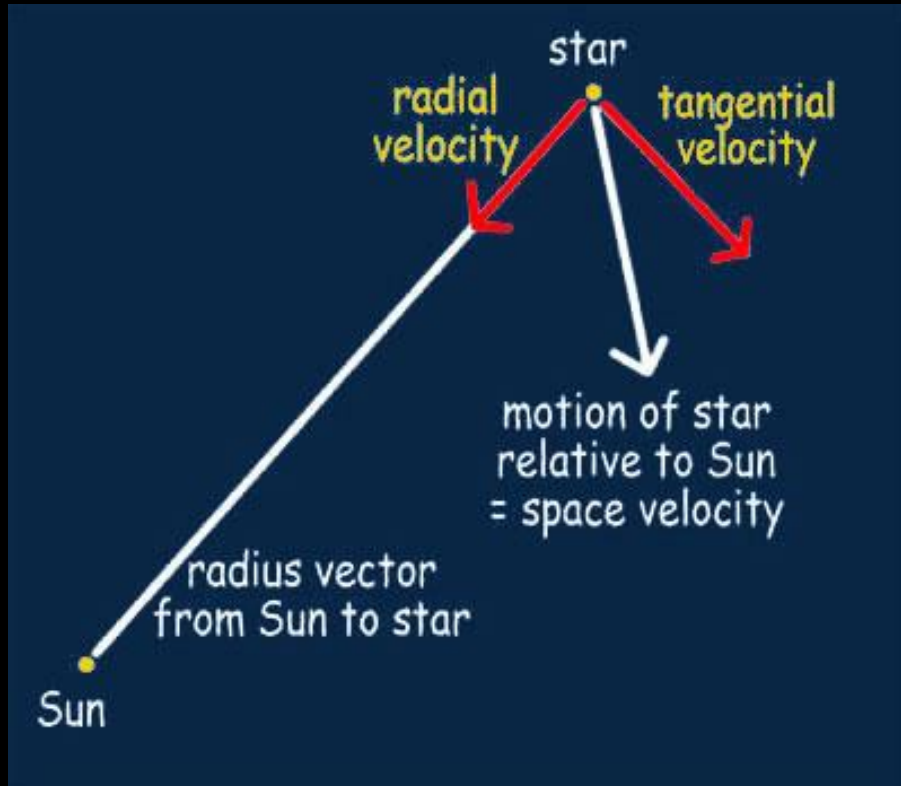


<https://palereddot.org>

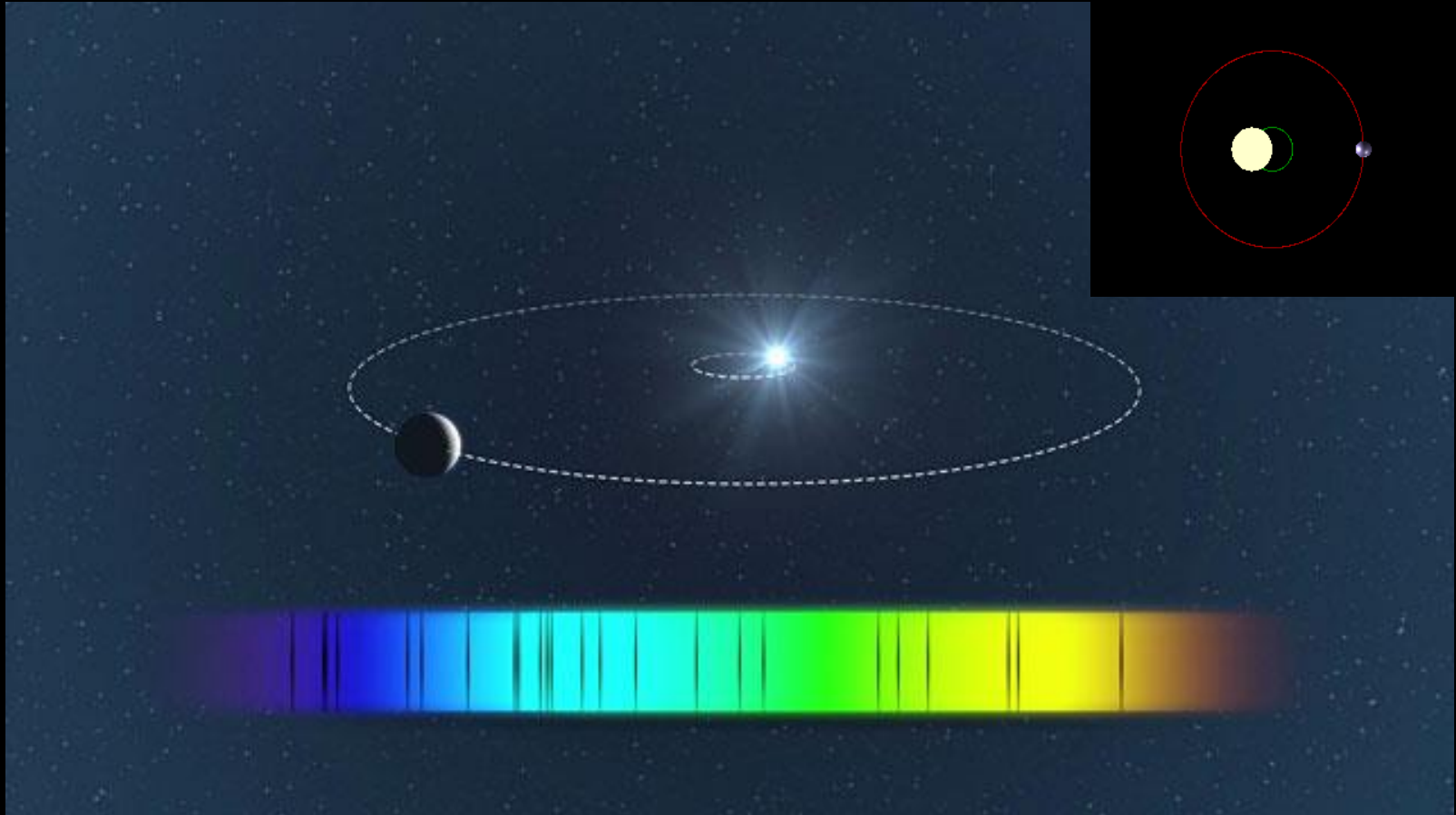


- **UVES:**
Ultra-Violet Echelle Spectrograph
– ESO VLT
- **HARPS:**
High Accuracy Radial velocity Planet Searcher
– ESO La Silla, 3.6m

Radial velocity (RV)



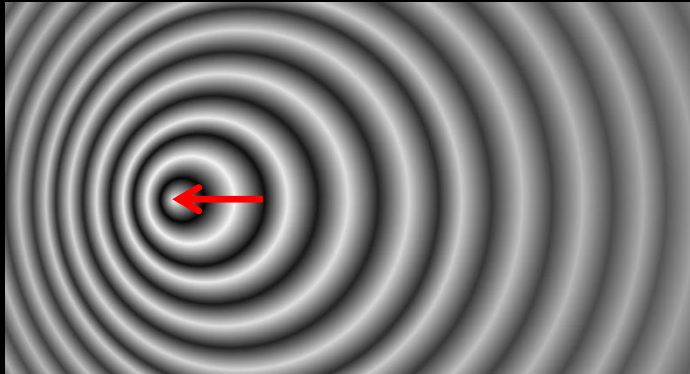
Planet search with radial velocities



Top: A star and a planet in orbit around a common center of mass

Bottom: A stellar spectrum with Fraunhofer lines

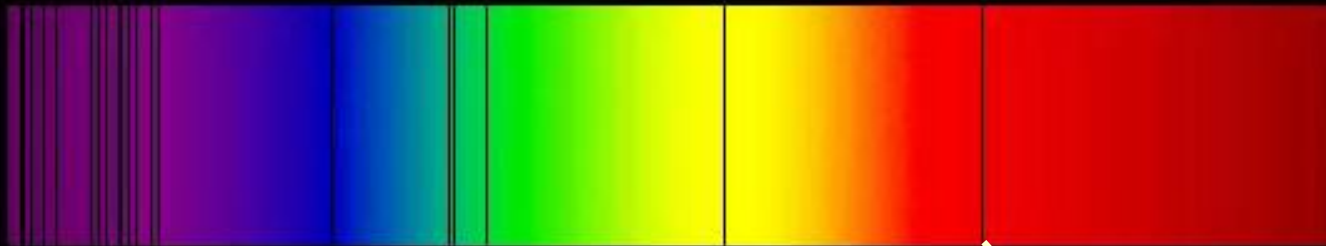
Spectral line redshift Doppler effect



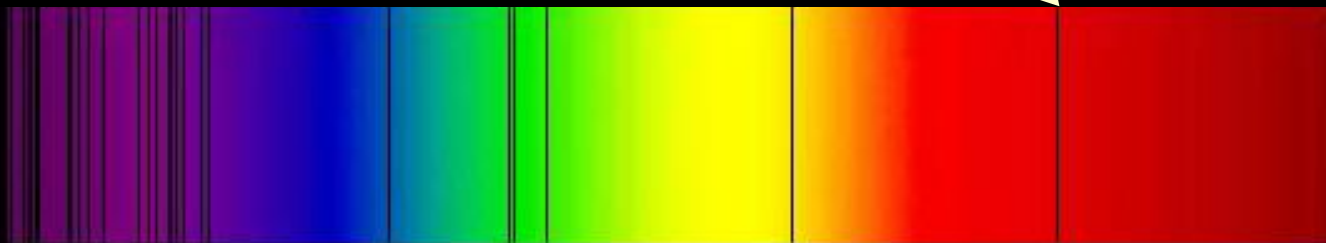
Doppler effect for waves:

→ Wave maxima are denser in the direction of movement

- Water waves – Boat
- Sound – Racing car
- Light – Spectral lines



Fraunhofer lines in the spectrum of the Sun



Lines in spectrum of a celestial object moving away from us



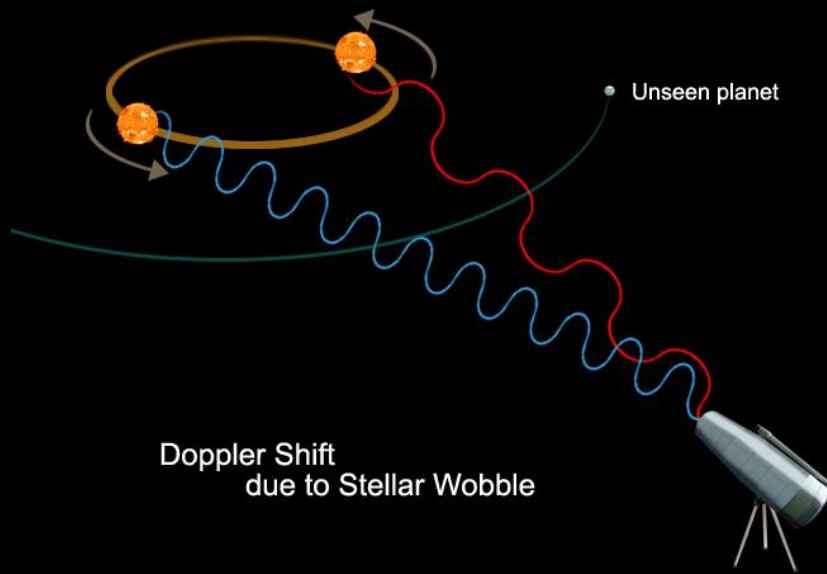
Christian Andreas
Doppler
(1803 – 1853)



Joseph von
Fraunhofer
(1787 – 1826)

www.sternenhimmel-aktuell.de

Planet search with radial velocities: Method



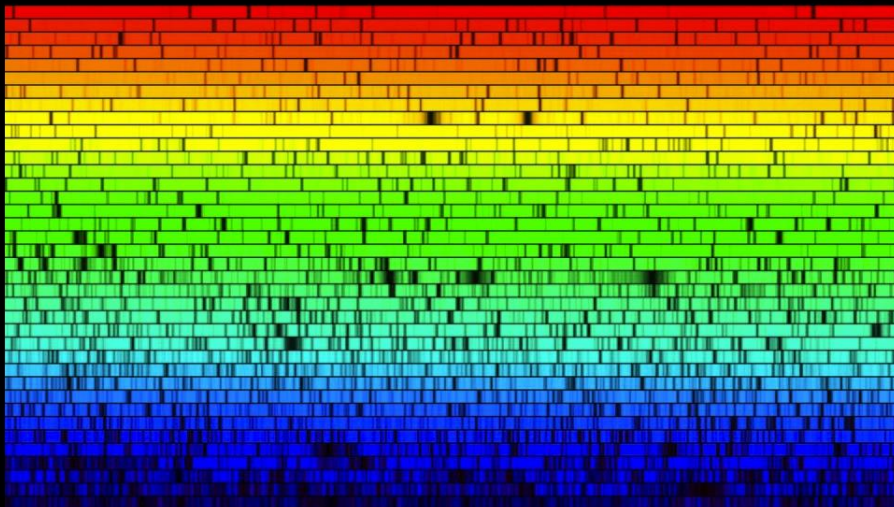
UNSHIFTED



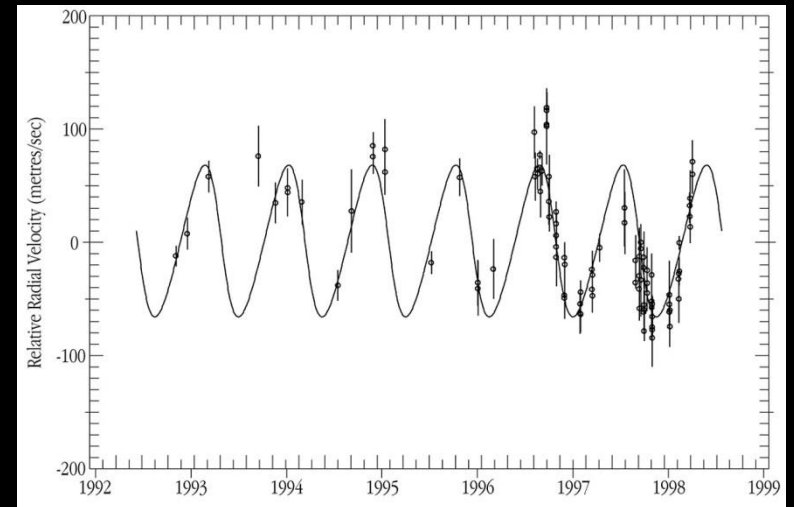
REDSHIFTED



BLUESHIFTED



Echelle spectrum



RV data and Keplerian orbit fit – example: Iota Horologii b

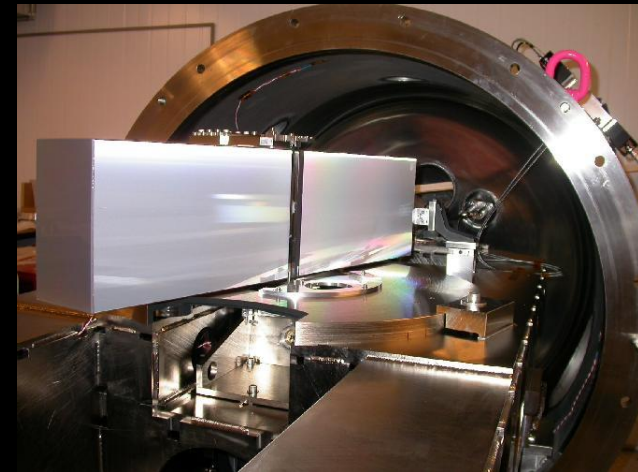
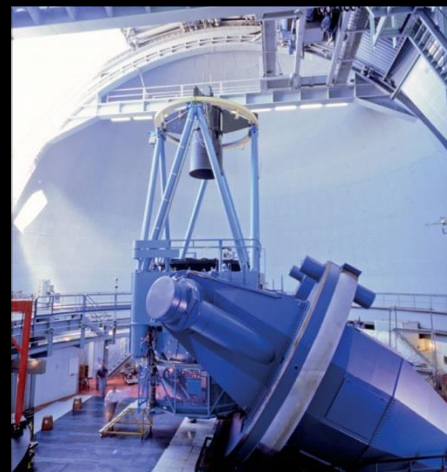
Planet search with radial velocities: Instrument



ESO La Silla Observatory, Chile



3.6m telescope



HARPS spectrograph

Proxima Centauri b



Artist's impression

© R. Ramirez Reyes / J. Jenkins / Universidad de Chile

Why Proxima Centauri ?

- **Nearest star to Earth: 4.25 Light years away**
 - Common proper motion companion to the Alpha Centauri A+B binary star system
 - Separated from Alpha Centauri A+B by
 - 15 000 × the distance between Earth and Sun
 - 0.237 light years or 0.056 times the distance to the Sun
- **It belongs to the by far most abundant type of star**
 - Faint red dwarf star – "M dwarf"
 - No M dwarf is visible to the naked eye
 - Proxima's total luminosity is 0.00155 solar
 - Brightness in the visible light is 0.00005 solar
 - Light maximum lies in the near-infrared
 - X-ray brightness ~ solar
 - 70 – 80 % of all stars are "M dwarfs"
 - There are ~ 300 000 000 000 M dwarfs in our Milky Way Galaxy
- **Other characteristics**
 - Mass = 0.12 solar masses
 - Radius = 0.14 solar radii
 - Age ~ 4 850 000 000 years
 - Rotation period ~ 83 days
 - Habitable zone = 0.042 – 0.082 × the distance between Earth and Sun
→ orbital periods in the range 9.1 – 25 days

The story of the discovery

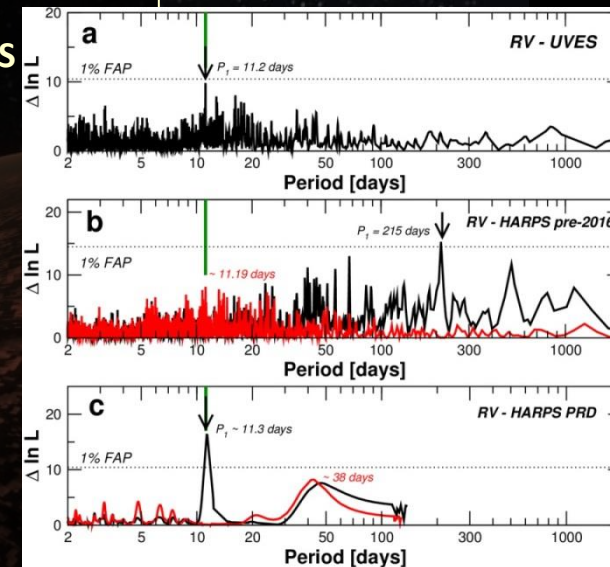
1993 – 1997: • First moderately precise RV measurements with ESO CAT+CES (Kürster et al. 1999)

2000 – 2007: • ESO VLT+UVES precision RV measurements (Endl & Kürster 2008)

2003: • HARPS goes "on-sky"
→ Pre-PRD HARPS RV data are collected with ESO 3.6m+HARPS (Bonfils et al. 2013)

Jan – Mar 2016: • PRD public relations campaign with ESO 3.6m+HARPS

- Interested laypersons look over the shoulders of professionals searching for a potentially Earth-like planet around Proxima
→ Scientists explain the methodology in web blogs
- Evidence for a short-period signal mounts
- A highly significant signal is found in the PRD data that gets even stronger when Pre-PRD data and UVES data are added
- Reanalysis of the UVES data by P. Butler enhances their precision a bit
→ The instruments get better, and so do the data analysis methods
- The data are carefully scrutinized and compared with ancillary observations from other telescopes to exclude the possibility that the signal is produced by the activity of the star and not by a planet
- The HARPS+UVES data together show that the signal has been stable for 16 years



The planetary hypothesis is sound!

The story of the discovery – part 2

Spring 2016:

- The finding is submitted to the journal Nature
 - A terrestrial planet in the habitable zone around Proxima Centauri
 - Consequence:
the results from the PRD public relations campaign are subjected to embargo due to Nature's rules

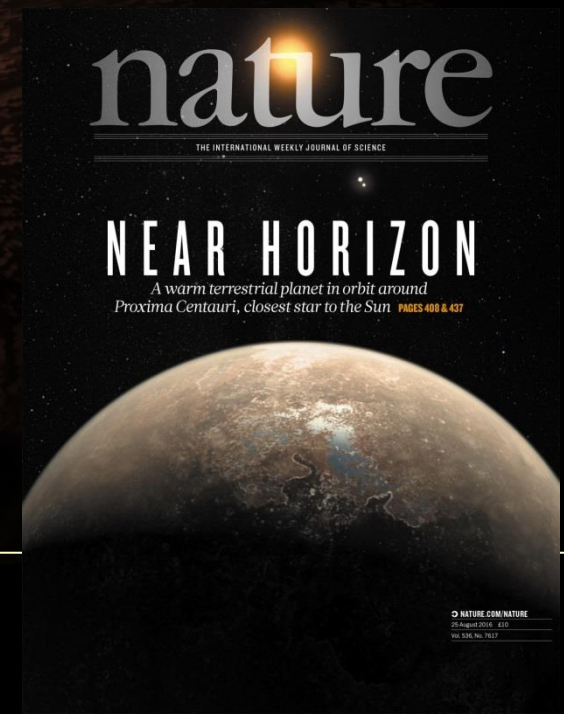
12.08.2016:

- *Der Spiegel* leak
 - *Der Spiegel* hints at a pending announcement of the discovery by ESO, due end of Sep 2016
 - Apart from this *Der Spiegel* has very little detailed information beyond the PRD outreach material
 - Was *Der Spiegel* unaware of the Nature embargo?
 - All other media who report the discovery worldwide basically copied the article from *Der Spiegel*
- Nervousness among the authors:
 - Will Nature reject the publication?

24.08.2016:

- Nature publishes the article (Anglada-Escudé et al. 2016)

Front
page!



What do we know about Proxima Centauri b ?

Orbital period = 11.2 days → **in the habitable zone
where liquid water is possible**

RV signal = 1.38 m/s

Eccentricity < 0.35

Mass \geq 1.27 Earth masses
→ minimum mass, but also most probable mass

Distance from star = 0.049 × the distance between Earth and Sun

Mean temperature = -39°C -- if the planet has no atmosphere
-- larger if there is a greenhouse effect

Irradiance = 0.65 × the energy the Earth receives from the Sun

Average incoming X-ray flux \sim 400 × the flux the Earth receives from the Sun

Is Proxima Centauri b habitable ?

The **habitable zone** around a star is defined as the region in which

- a rocky planet has
- the right separation from its star
- where liquid water could be possible
- if it has a suitable atmosphere

Liquid water is generally seen as a necessary condition for life as we know it

So far, we do not know whether Proxima b has an atmosphere

Future research will concentrate on the search for an atmosphere and, if one is found, on its characterization (→ see later)

Possible complications

(1) Proxima is a "flare star"

- "Coronal mass ejections" – strong bombardment of its close-in planet with charged particles, X-rays, extreme UV radiation
- Some people believe that this can lead to the early loss of an atmosphere
- Certainly not clear if this is suitable for the development of life
- However, a bit below the surface of a potential ocean or of the solid ground, life that has developed would be shielded from the radiation

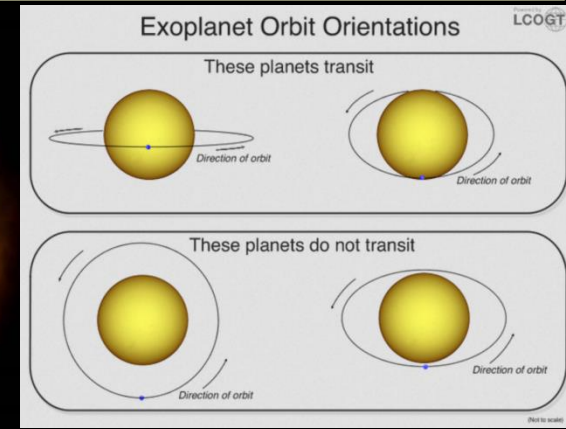
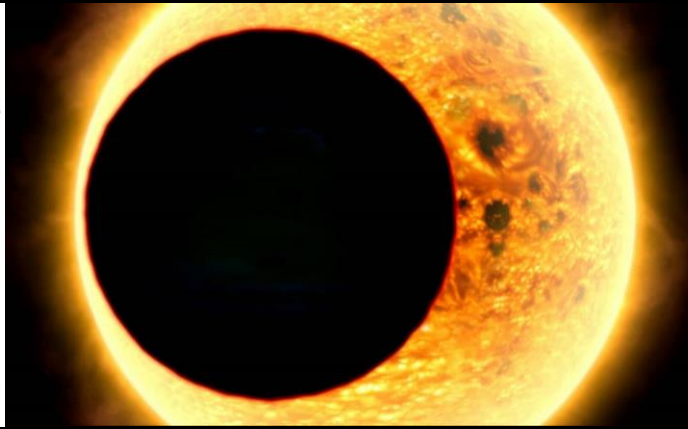
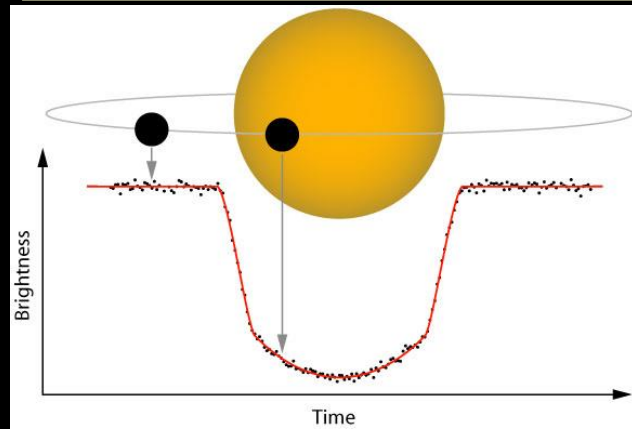
(2) Synchronous rotation

- Because of its proximity to the star tidal forces must have synchronized orbital and rotation period of the planet
- Options:
 - Both periods are equal so that the planet always shows its star the same side (like our Moon does to us)
 - The planet has permanent day and night-sides
 - Uncomfortable climate
 - Periods are locked in a ratio 2/3
 - A bit better, but not all that much
- Also in this rough climate, life that has developed may find its neeches

I don't worry much that existing life could survive, rather about its emergence

Future research - the search for an atmosphere

Transit observations reveal the existence of atmospheres and enable studies of them
The star light passes through the planetary atmosphere which imprints its spectral signatures



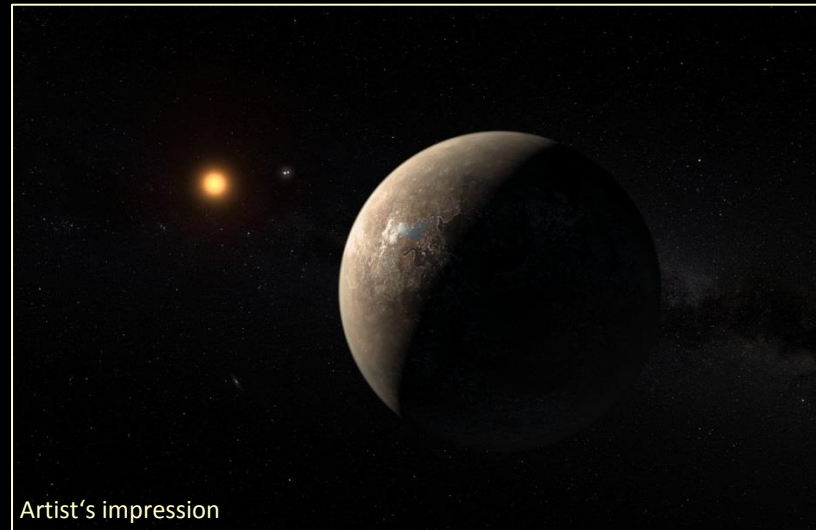
The orientation of the orbit matters!

- For Proxima b we have not found any transits yet, but cannot exclude them either
- There is a geometrical chance of 1.5% that transits occur
- They would dim the light of the star by $\sim 0.5\%$

Potential alternative:

- An interesting combination of upgraded versions of ESO VLT+SPHERE and the future ESPRESSO spectrograph has been proposed three weeks ago by Lovis et al. (2016)
- Purpose: Collect reflected light from the planet and use it to study its atmosphere
- Observational effort: 20 – 40 nights!

Future research – when will we get an image?



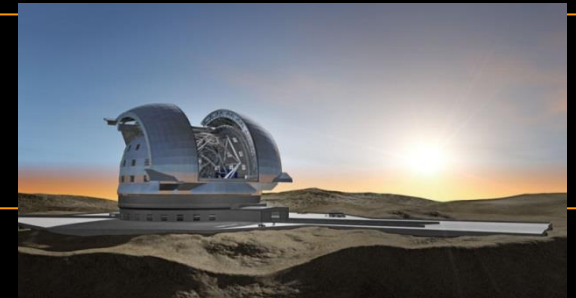
© ESO / M. Kornmesser

- Apparent max. separation Proxima – Proxima b: 37 Milliarcseconds
- Visible light brightness Proxima / Proxima b: $\sim 10\,000\,000$

→ Current telescopes+instruments such as ESO VLT+SPHERE cannot resolve the two objects

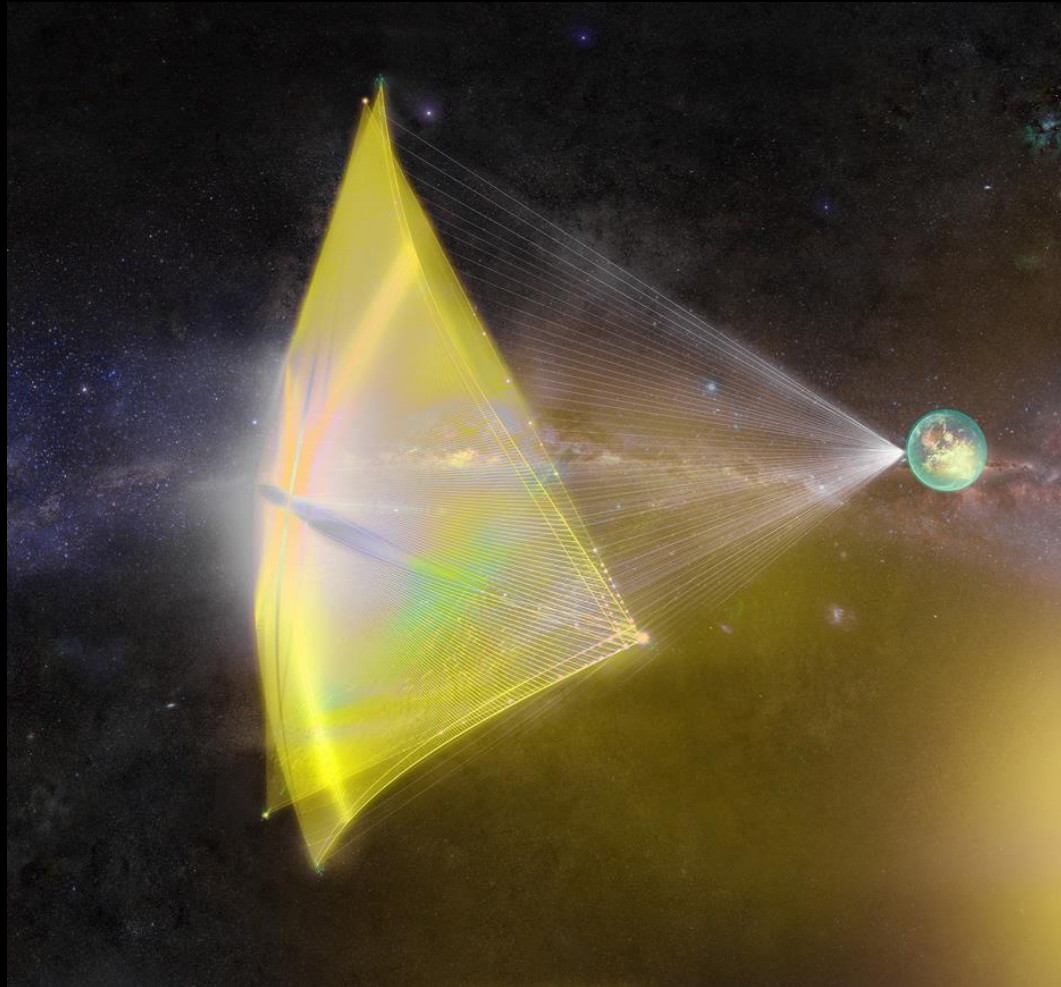


The E-ELT is planned to provide a higher resolution which may just be sufficient to find a little pale red dot – we will see this in about 10 years from now



... or perhaps ?

Or perhaps the "**Breakthrough Starshot**" mission will send us detailed images



→ in 45 years (or so)

Tip:

AstroViews 17 – Planet bei Proxima Centauri

– an interview in German that Klaus Jäger made with me

<http://www.spektrum.de/news/eine-erdgrosse-welt-im-umlauf-um-unseren-naechsten-nachbarstern-proxima-centauri/1420729>

<http://www.spektrum.de/video/astronomie/>

Published by the magazine "*Sterne und Weltraum*" and produced by Dr. Klaus Jäger, Max-Planck-Institut für Astronomie

AstroViews on YouTube:

<https://www.youtube.com/playlist?list=PL9BE806CD0702F112>



Thank you very much