

Tutor universitario: Malavolta Luca

Laureando: Bozzato Nicolò

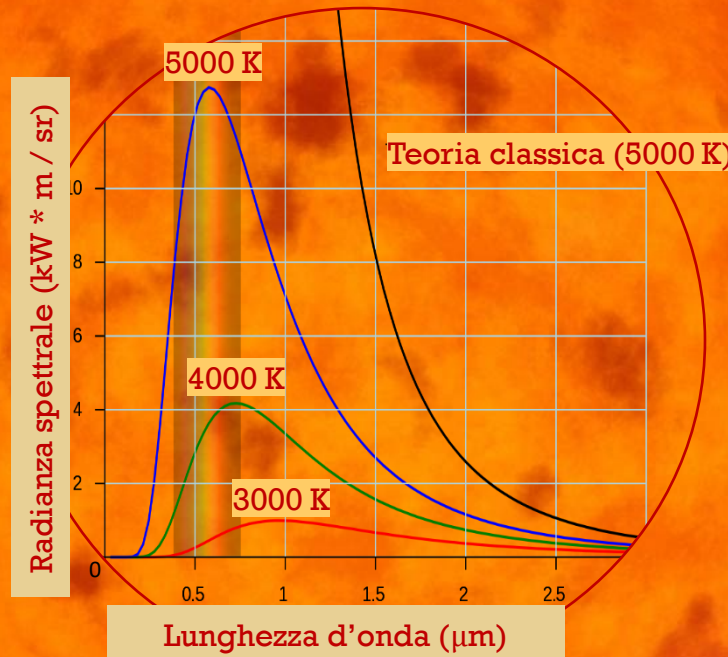
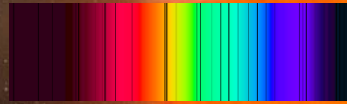
Padova, 20 novembre 2023



ATMOSPHERES OF EXTREME EXOPLANETS

IL SINGOLARE CASO DI WASP-76B

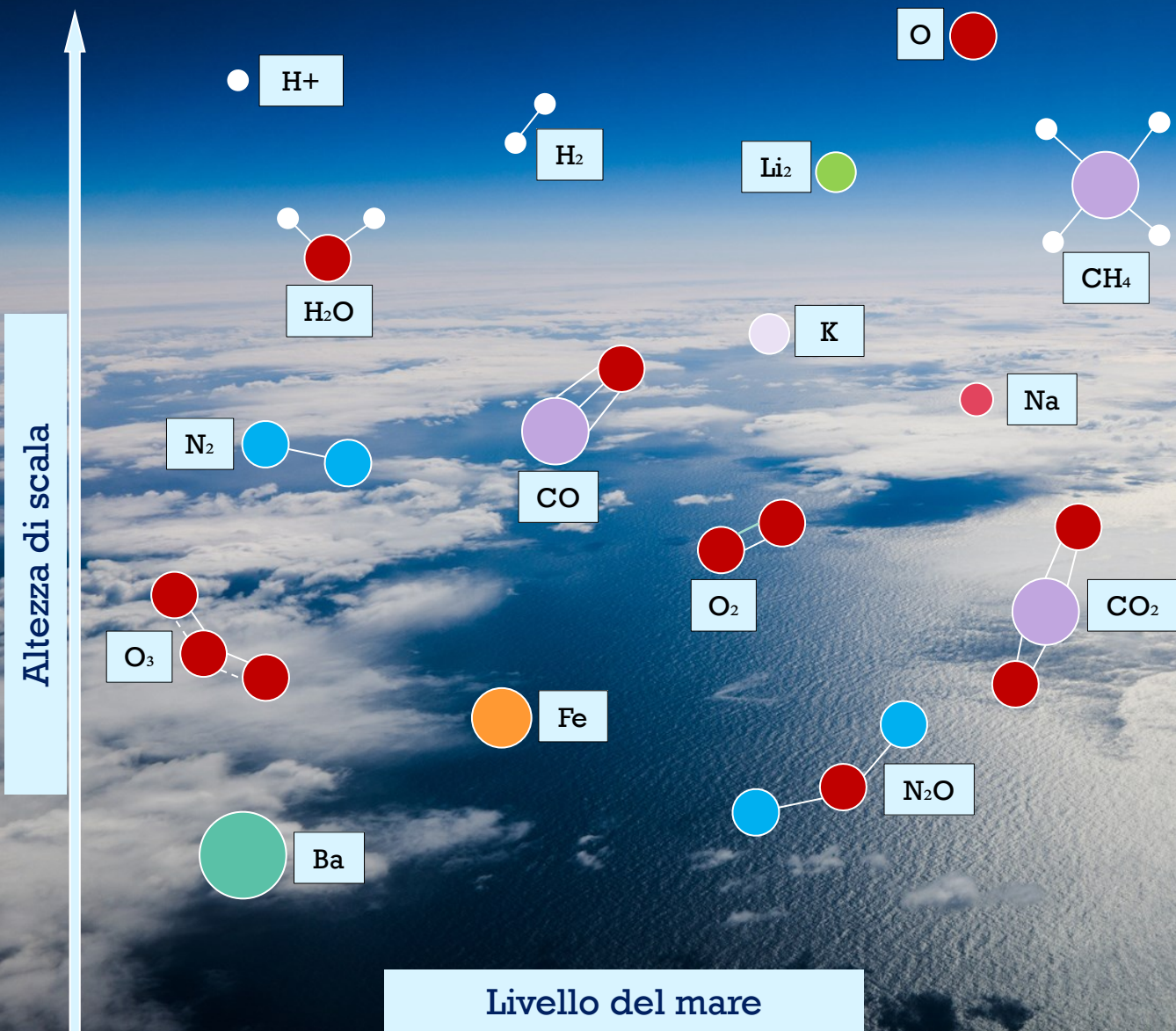
SPETTROSCOPIA



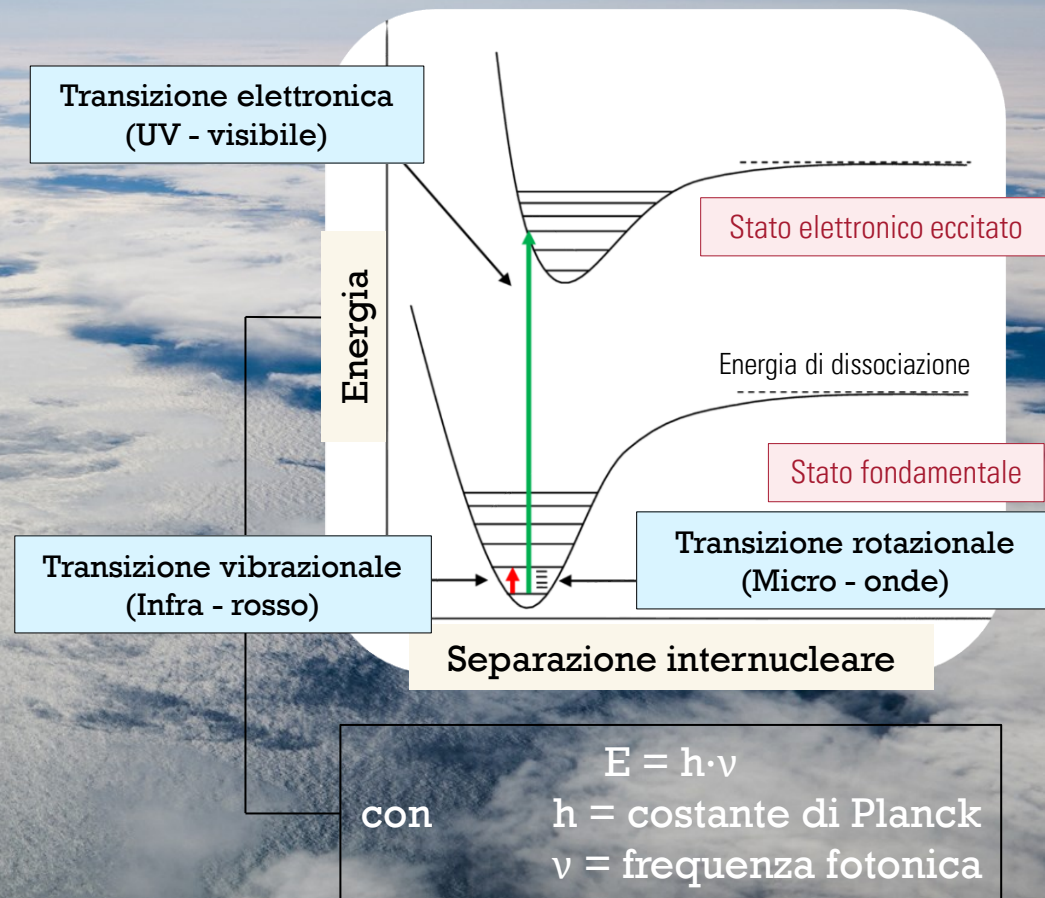
L'atmosfera esoplanetaria imprime una traccia nello spettro di emissione della stella ospite

Radiazione di corpo nero in forza delle oscillazioni atomiche di agitazione termica

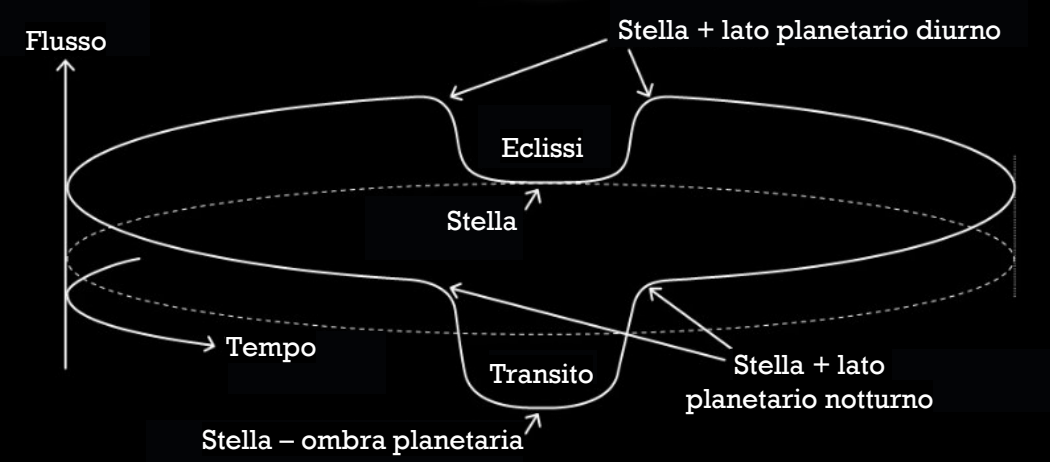
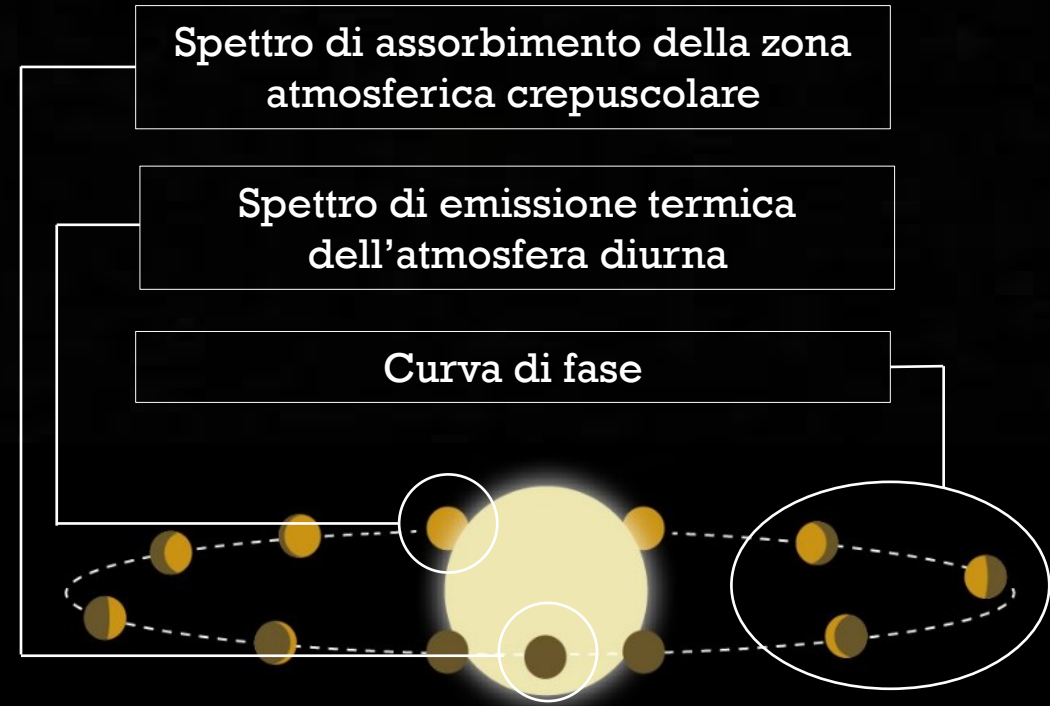
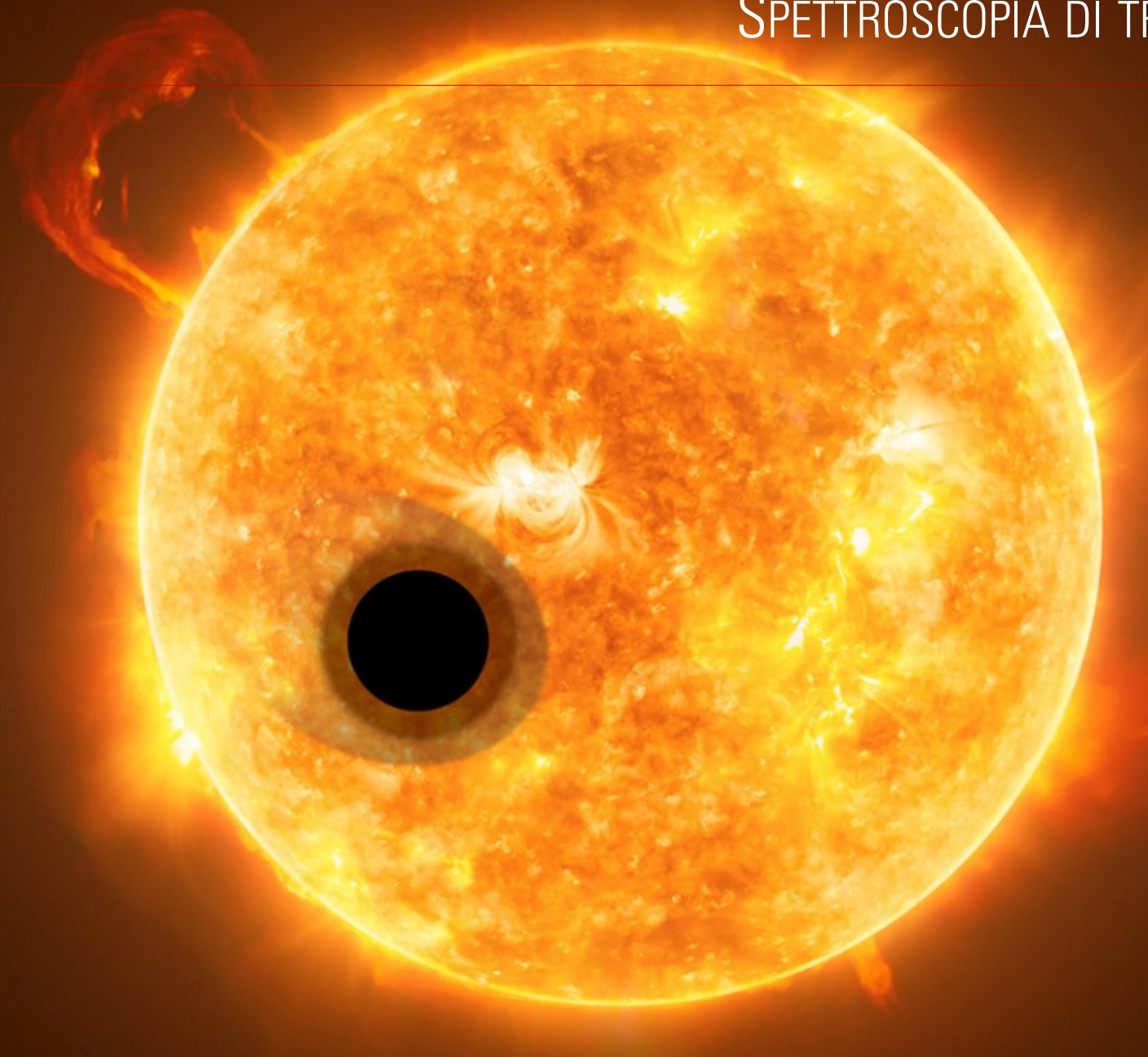
MODELLO ATMOSFERICO



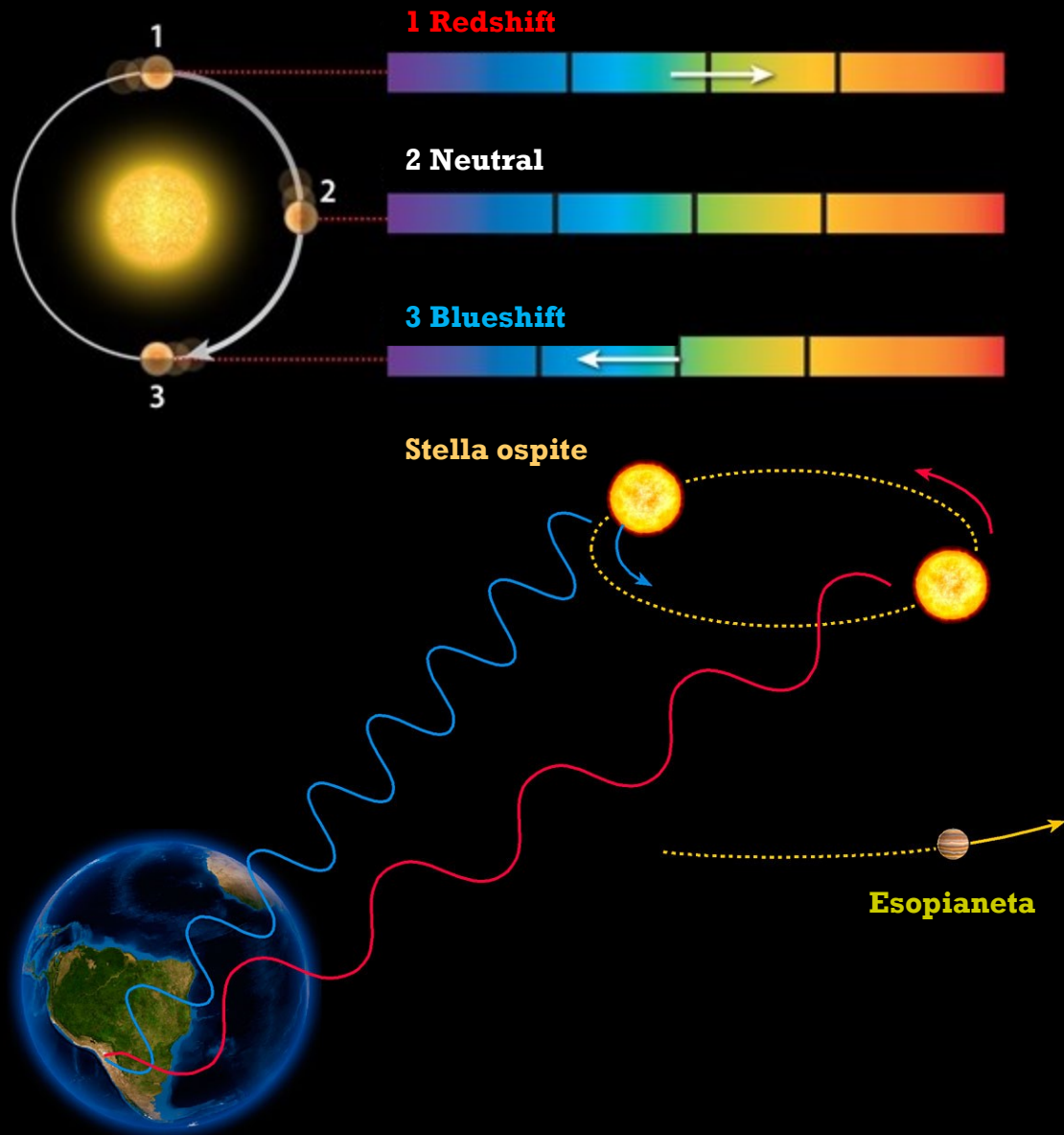
Bande spettrali differenti codificano le composizioni chimiche di regioni atmosferiche differenti, interessate da specifici processi chimico-fisici



SPETTROSCOPIA DI TRANSITO



SPETTROSCOPIA DOPPLER AD ALTA RISOLUZIONE

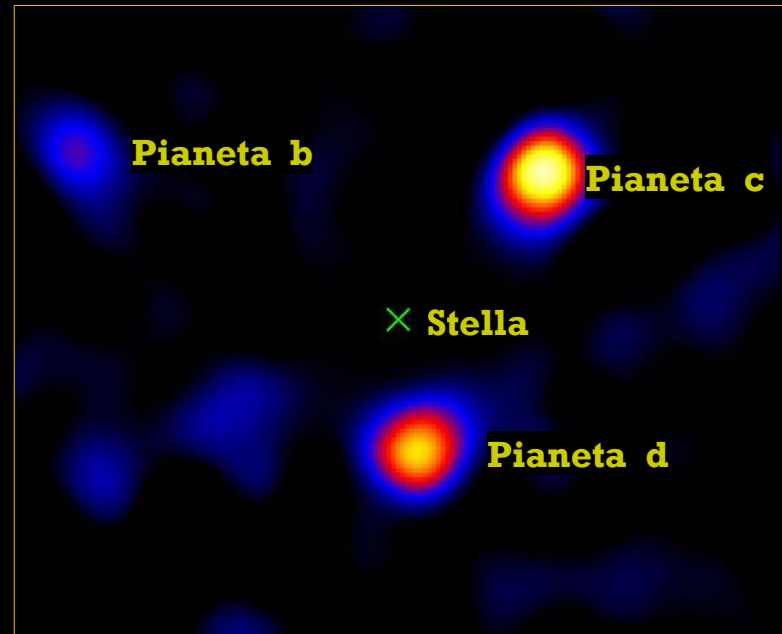


Variazioni periodiche delle lunghezze d'onda delle linee spettrali (effetto Doppler)

Dinamica atmosferica

Moto orbitale

IMAGING DIRETTO



Osservazione diretta della radiazione di origine planetaria mediante un coronografo

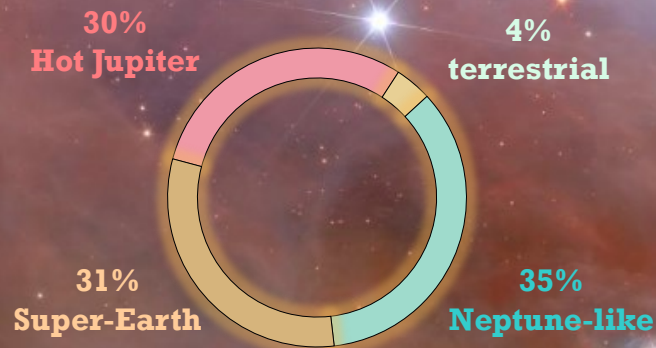
ULTRA-HOT JUPITER

Pianeta extrasolare gigante
altamente irradiato

Massa confrontabile con
quella di Giove

Raggio orbitale compreso tra
0.015 e 0.5 UA

5000+ esopianeti scoperti



Temperature solitamente
superiori ai 2000 K

Maggiore possibilità
di transito

Rigonfiamento
volumetrico

Bassa eccentricità orbitale

Blocco mareale

Forte rimescolamento
atmosferico

Processo di migrazione

WASP-76B

WASP-76A
stella di classe F

637 ly

Distanza dal
Sistema Solare

1.83

R^G

0.92

M^G

1.81 g

Periodo
di rotazione/rivoluzione

88°

Inclinazione
orbitale

2500 K

Temperatura
superficiale diurna

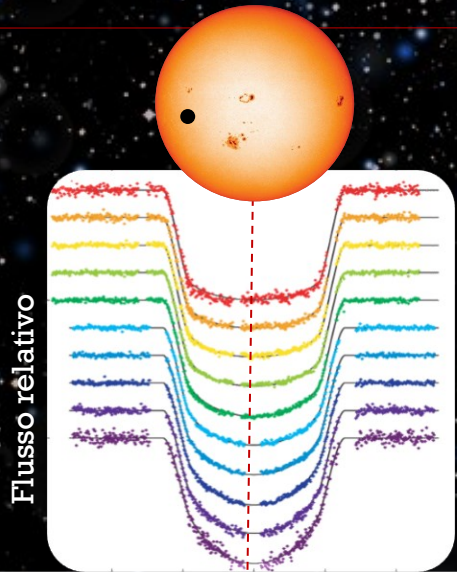
0.12 km/s

Velocità
radiale

RILEVAMENTI PRINCIPALI

H	Li	Na	Mg	K	Ca+	V
Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Sr+	Ba

INFLUENZE SPETTRALI



Limb Darkening

Diminuzione dell'intensità dell'emissione monocromatica stellare in prossimità del perimetro del disco visibile

Flusso relativo

Tempo dal centro del transito



Movimento di WASP-76A

Moto dovuto all'influenza gravitazionale esoplanetaria & moto del sistema pianeta-stella

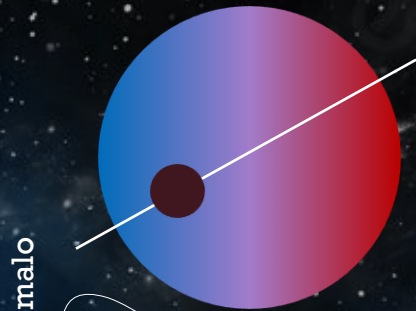
Compagna stellare

WASP-76A appartiene ad un sistema binario

WASP-76B altera le profondità di transito e di eclissi

Effetto Rossiter-McLaughlin

Ombra Doppler originata dal transito di WASP-76b sul disco della stella rotante WASP-76A

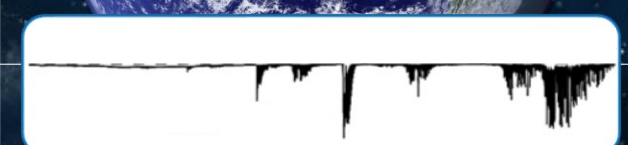


Redshift anomalo

Tempo

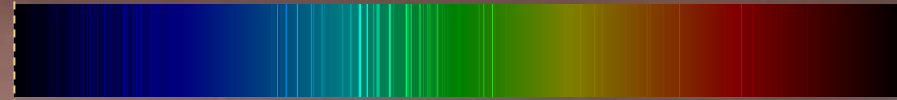
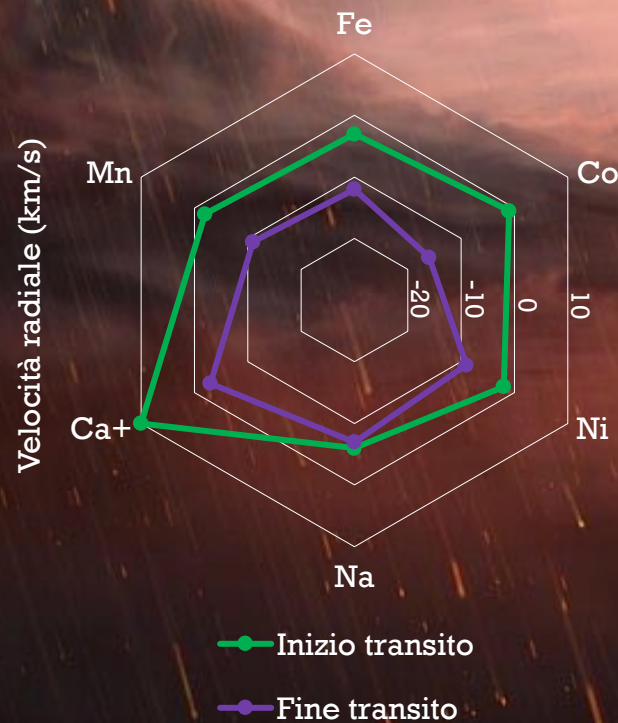
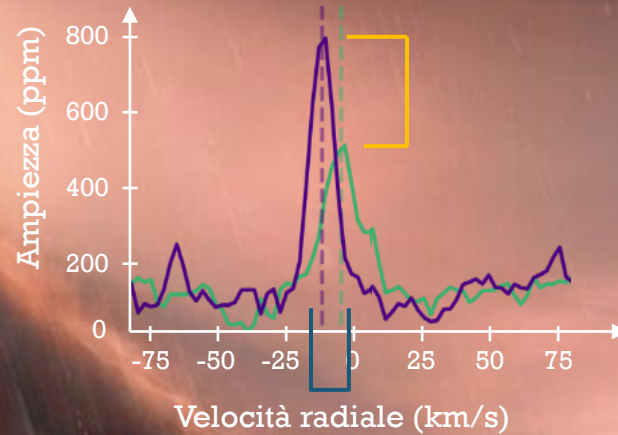
Contaminazione tellurica

Assorbimento da parte delle molecole di H_2O , CO_2 e O_2 presenti nell'atmosfera terrestre



ASSORBIMENTO ASIMMETRICO DEL FERRO & VENTO GIORNO-NOTTE

Fe



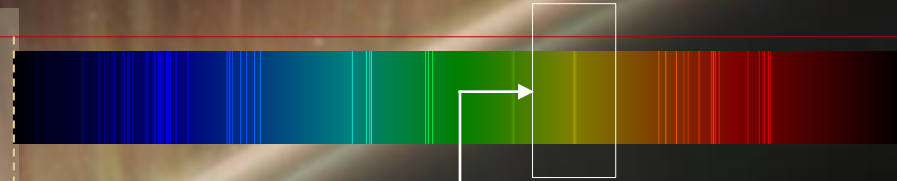
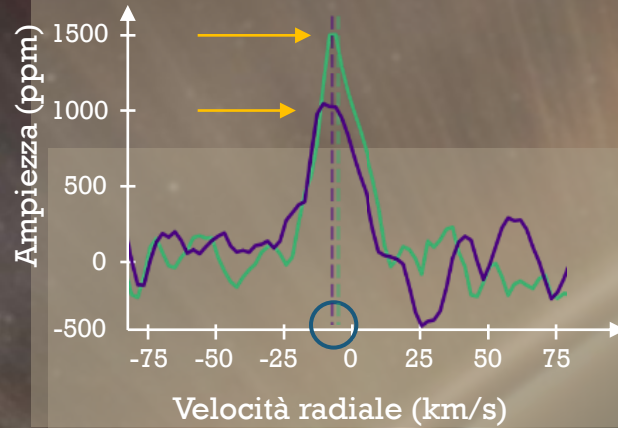
Blueshift anomalo
al bordo serale
nel segnale spettrale di
correlazione incrociata

Vento giorno-notte,
nubi mattutine e
pioggia sul lato notturno

Assorbimento differenziale
del ferro neutro
nel terminatore

AMPLIAMENTO DEL DOPPIETTO DI SODIO & VENTO VERTICALE

Na



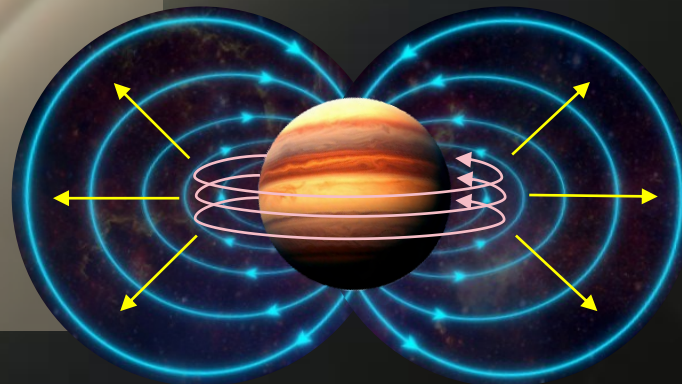
Le ampie FWHM delle linee spettrali D1 e D2 di Na suggeriscono Doppler termico e abbondanze super-solari

Vento verticale

Minima differenza di velocità radiale tra inizio e fine transito

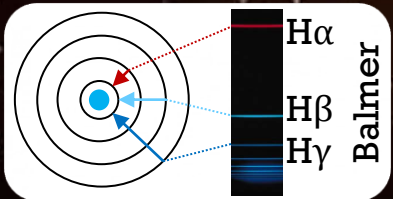
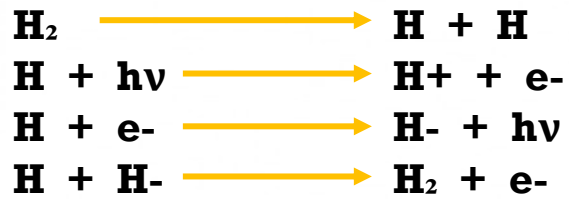
Temperatura di condensazione del sodio: 800 K

Modello atmosferico a due zone



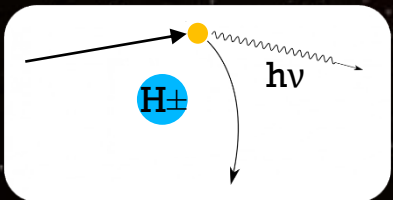
OPACITÀ H^- , NUBI DI Al_2O_3 E TiO_2 & EFFETTO SERRA

H^-



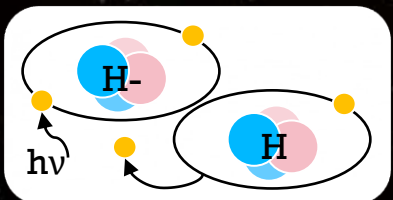
$H\alpha$

Driver di opacità H^-



Bremsstrahlung termico

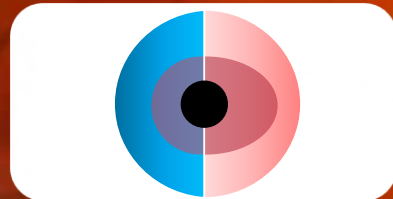
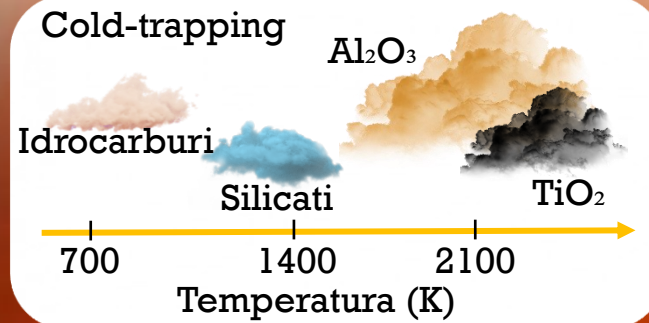
Radiazione prodotta per deviazione elettronica



Transizione bound-free

Foto-assorbimento nell'IR, ottico e UV

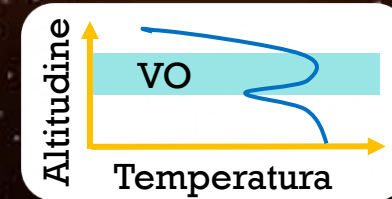
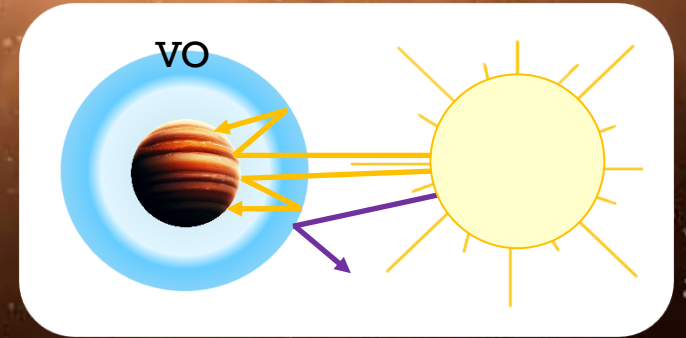
Al_2O_3 e TiO_2



Blueshift jump

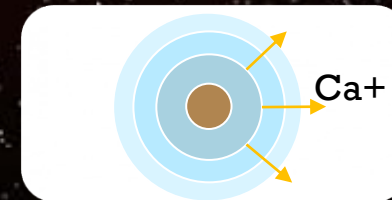
Nubi sul bordo mattutino

VO



Inversione termica

Effetto Serra



Fuga idrodinamica

Vento planetario

L'INSOSTENIBILE PESANTEZZA DEL BARIO

Ba

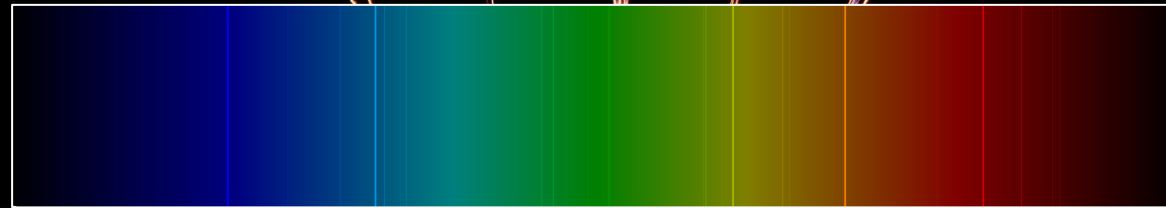


«L'aspetto sconcertante e controintuitivo è:

Perché

c'è un elemento così pesante negli strati superiori dell'atmosfera di WASP-76b?»

Tomás Azevedo Silva



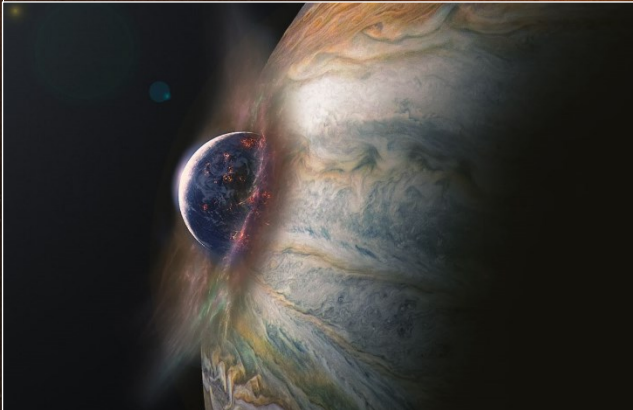
IMPLICAZIONI SUL PROCESSO DI FORMAZIONE ED EVOLUZIONE

Ipotesi fondamentale

La composizione chimica del disco protoplanetario da cui è nato WASP-76b coincideva con quella della stella WASP-76A

Originato per coalescenza di gas e polveri al di là della frost line

Migrazione interna di tipo II con possibile assorbimento di un pianeta roccioso analogo a Mercurio



BIBLIOGRAFIA

***Un ringraziamento speciale ai miei professori
Luca Malavolta e Roberta Bertani***

- Madhusudhan Nikku ~ Exoplanetary Atmospheres: Key Insights, Challenges and Prospects (2019)
- Edwards Billy ~ ARES I: WASP-76b, a tale of two HST spectra (2020)
- Kesseli Aurora Y. ~ An Atomic Spectral Survey of WASP-76b: Resolving Chemical Gradients and Asymmetries (2022)
- Kesseli Aurora Y. ~ Confirmation of Asymmetric Iron Absorption in WASP-76b with HARPS (2021)
- Ehrenreich David ~ Nightside condensation of iron in an ultrahot giant exoplanet (2020)
- Seidel J.V. ~ Hot Exoplanet Atmospheres Resolved with Transit Spectroscopy (HEARTS). A broadened sodium feature on the ultra-hot giant WASP-76b (2019)
- Madhusudhan Nikku ~ Exoplanetary Atmospheres: Chemistry, Formation Conditions and Habitability (2016)
- Shweta Dalal ~ Detection and characterization of exoplanets using Doppler spectroscopy (2020)
- Jacobs Bob ~ A strong H α opacity signal in the near-infrared emission spectrum of the ultra-hot Jupiter KELT-9b (2022)
- Erin M. May ~ Spitzer phase curve observations and circulation models of the inflated ultra-hot Jupiter WASP-76b (2021)
- Taberner H. M. ~ ESPRESSO high resolution transmission spectroscopy of WASP-76 b (2020)
- Wardenier Joost P. ~ Modelling the effect of 3D temperature and chemistry on the cross-correlation signal of transiting ultra-hot Jupiters: A study of 5 chemical species on WASP-76b (2023)
- Seidel J. V. ~ Wind of change: retrieving exoplanet atmospheric winds from high-resolution spectroscopy (2019)
- Smette A. ~ Molecfit: A general tool for telluric absorption correction? I. Method and application to ESO instruments (2015)
- Allart R. ~ Automatic model-based telluric correction for the ESPRESSO data reduction software. Model description and application to radial velocity computation (2022)
- Sharon Xuesong Wang ~ Characterizing and Mitigating the Impact of Telluric Absorption in Precise Radial Velocities (2018)
- Pelletier Stefan ~ Vanadium oxide and a sharp onset of cold-trapping on a giant exoplanet (2021)
- Savel Arjun B. ~ No umbrella needed: Confronting the hypothesis of iron rain on WASP-76b with post-processed general circulation models (2021)
- Seidel J. V. ~ Into the storm: diving into the winds of the ultra-hot Jupiter WASP-76 b with HARPS and ESPRESSO (2021)
- Azevedo Silva T. ~ Detection of barium in the atmospheres of the ultra-hot gas giants WASP-76b and WASP-121b (2022)
- Deibert Emily K. ~ ExoGemS High-Resolution Transmission Spectroscopy of WASP-76b with GRACES (2023)
- Deibert Emily K. ~ Detection of Ionized Calcium in the Atmosphere of the Ultra-Hot Jupiter WASP-76b (2021)

***La dedica
a mia madre, a mio padre
a mio fratello, a mia sorella***