

## **O PRÊMIO NOBEL DE FÍSICA DE 2019: MICHEL MAYOR E DIDIER QUELOZ, POR DETECTAR O PRIMEIRO EXOPLANETA, 51 PEGASI B**

**Rodrigo da Silva Sobrinho<sup>1</sup>, Luciano Luiz Alencar de Oliveira<sup>2</sup>**

### **Resumo**

A Astronomia, em geral, e exoplanetas, em particular, constituem temáticas que demonstram grande potencial para serem explorados no Ensino de Física, pois tratam de temas que aguçam a curiosidade e o imaginário das pessoas. Nesse sentido, ao reconhecer a importância da busca por planetas extrassolares na atualidade, o Prêmio Nobel de Física de 2019 contemplou o trabalho pioneiro e as contribuições à Astronomia dos astrônomos Michel Mayor e Didier Queloz. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar, para aplicação no Ensino de Física, as contribuições à ciência dos laureados no Prêmio Nobel de Física. Com esse artigo, espera-se contribuir com trabalhos docentes que possam debater, no contexto de sala de aula, conhecimentos relativos à Astronomia e alfabetização científica.

**Palavras-chave:** Astronomia, Ensino de Física, exoplanetas, velocidade radial, prêmio Nobel

### **THE 2019 NOBEL PRIZE IN PHYSICS: MICHEL MAYOR AND DIDIER QUELOZ, FOR DETECTING THE FIRST EXOPLANET, 51 PEGASI B.**

### **Abstract**

Astronomy, in general, and exoplanets, in particular, constitute themes that demonstrate great potential to be explored in Physics Education, as they deal with topics that arouse people's curiosity and imagination. In this sense, recognizing the importance of the search for extrasolar planets today, the 2019 Nobel Prize in Physics awarded the pioneering work and contributions to Astronomy of astronomers Michel Mayor and Didier Queloz. In this context, this work aims to present, for application in Physics Education, the contributions to science of the Nobel laureates in Physics. With this article, it is hoped to contribute to teaching work that can debate, in the classroom context, knowledge related to Astronomy and scientific literacy.

**Keywords:** Astronomy, Physics Education, exoplanets, radial velocity, Nobel Prize

### **EL PREMIO NOBEL DE FÍSICA DE 2019: MICHEL MAYOR Y DIDIER QUELOZ, POR DETECTAR EL PRIMER EXOPLANETA, 51 PEGASI B**

### **Resumen**

La Astronomía, en general, y los exoplanetas, en particular, constituyen temas que demuestran un gran potencial para ser explorados en la Enseñanza de la Física, ya que tratan temas que despiertan la curiosidad y la imaginación de las personas. En este sentido, al reconocer la importancia de la búsqueda de planetas extrassolares en la

<sup>1</sup> Doutor em Física (UFRN), IFRN – Natal Zona Norte, Professor Efetivo, e-mail: rodrigo.sobrinho@ifrn.edu.br

<sup>2</sup> Doutor em Física (UFRN), IFPA – Bragança/PA, Professor de Física, e-mail: aluciano26@yahoo.com

actualidad, el Premio Nobel de Física de 2019 premió el trabajo pionero y las contribuciones a la Astronomía de los astrónomos Michel Mayor y Didier Queloz. En este contexto, este trabajo tiene como objetivo presentar, para su aplicación en la Enseñanza de la Física, las contribuciones a la ciencia de los laureados con el Premio Nobel de Física. Con este artículo, se espera contribuir al trabajo docente que pueda debatir, en el contexto del aula, conocimientos relacionados con la Astronomía y la alfabetización científica.

**Palabras clave:** Astronomía, Enseñanza de la Física, exoplanetas, velocidad radial, Premio Nobel

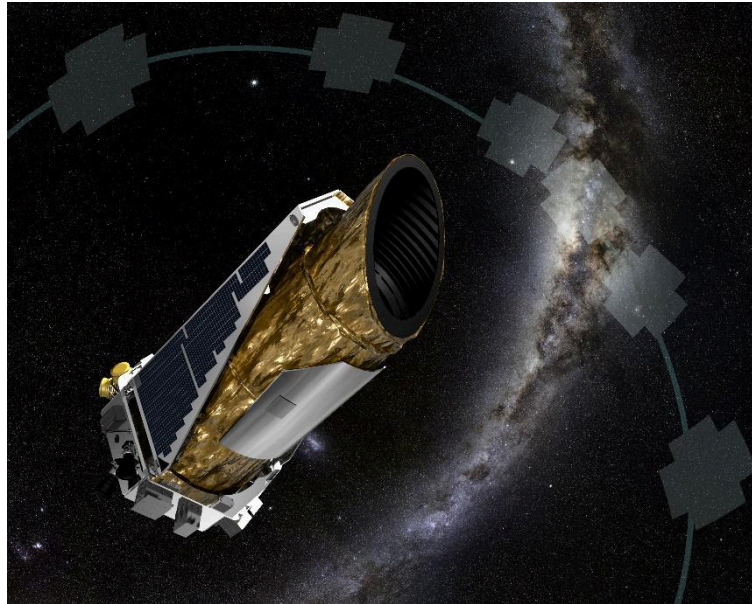
## **Introdução**

O céu sempre despertou o fascínio da humanidade. Desde os primórdios, olhamos para o espaço em busca de conhecimento e respostas para diversas questões importantes. Nesse contexto, a Astronomia nasce como ramo da ciência, sempre com um potencial inspirativo enorme. Na educação, a “Astronomia é uma excelente fonte de assuntos e temáticas que podem servir de fio condutor para o ensino de física” (SOBRINHO; DE OLIVEIRA, 2022, p. 1), isso se deve a seu notório poder de despertar o imaginário e o fascínio de adultos e crianças (BISCH, 1998). Ainda com relação ao ensino, a inserção de temas atrelados à Astronomia também é recomendada nos documentos oficiais que tratam do currículo (PCN e PCN+) (BRASIL, 1999) (BRASIL, 2002).

No contexto da Astronomia, uma das questões que mais motiva os seres humanos na atualidade é a busca por vida em outros mundos, isto é, registro de sinais de vida fora do planeta Terra. Os sinais químicos obtidos a partir de análises da atmosfera de um planeta são excelentes fontes sinalizadoras sobre a presença de vida. Desde a missão espacial do telescópio *Kepler* (Figura 01), lançado em 2009 e terminada em 2013 (devido à problemas técnicos que diminuíram sua capacidade de orientação e manutenção), e sua missão estendida, conhecida como K2 (iniciada em 2014, mesmo sobre condições de capacidade direcional diminuída), tem permitido observar evidências de mundos potencialmente habitáveis orbitando sua estrela. Apesar de algumas limitações técnicas, estudiosos têm se empenhado em detectar sinais de vida, ou marcadores biológicos, em planetas gigantes gasosos (ANGLADA-ESCUDE et al., 2016) (SALZ et al., 2018) (NIKOLOV et al., 2018) e/ou rochosos (HERBORT ET AL.,

2020) (MANSFIELD et al., 2019), buscando assinaturas do carbono, nitrogênio, fósforo, enxofre e hidrogênio em sua atmosfera.

**Figura 01** - Concepção artística da sonda Kepler



**Fonte:** SOBRINHO (2019).

Além da missão *Kepler*, recentemente foi lançado o telescópio espacial James Webb que, entre outros objetivos, tem o interesse de observar e coletar dados sobre a atmosfera de exoplanetas, podendo clarear alguns mistérios sobre a evolução planetária. Além das missões aqui mencionadas, há outras missões importantes como: Hubble, o satélite espacial pioneiro na busca por planetas em órbita de outras estrelas; *Spitzer*, um dos grandes laboratórios espaciais que possibilitou cientistas a encontrar planetas com tamanho aproximado ao da Terra orbitando sua estrela (TRAPPIST-1), mas que finalizou sua operação em 2020.

Os estudos sobre exoplanetas têm sido objetivo de muitas outras missões espaciais, embora algumas já tenham sido finalizadas, as informações obtidas até hoje permitirão estudos contínuos sobre o tema, o que possibilitará muitas outras descobertas no futuro. A ideia de buscar por mundos distantes não é tão recente quanto se pode imaginar, mas foi amplamente difundida desde a descoberta e comprovação do primeiro planeta orbitando sua estrela além do nosso sistema solar.

Em meados da década de 1990, o astrônomo suíço Michel Mayor e seu, até então, estudante de doutorado Didier Queloz descobriram um planeta orbitando a estrela 51 *Pegasi*<sup>3</sup>, pertencente a constelação de Pegasus. O planeta foi nomeado de 51 *Pegasi b*, e por ter sido detectado além do nosso sistema planetário ele é definido como um exoplaneta. Essa descoberta pioneira “desencadeou a busca por sistemas planetários de forma excepcional, inclusive no contexto do desenvolvimento instrumental” (SOBRINHO, 2019, p. 1). Graças ao pioneirismo de Michel Mayor e Didier Queloz, hoje temos a confirmação de milhares de mundos fora do Sistema Solar (SOBRINHO; OLIVEIRA, 2022).

Nesse contexto, esse artigo tem como objetivo oferecer um material textual sobre a descoberta do primeiro exoplaneta orbitando uma estrela do tipo solar pelos laureados no Prêmio Nobel de Física de 2019. Buscando assim, contribuir com a divulgação científica de temas e propostas didáticas que tratem de aspectos relativos à Astronomia. Nesse sentido, o presente artigo está dividido da seguinte maneira: na seção 2 apresentamos um resumo das carreiras acadêmicas dos laureados; na seção 3 é apresentado um breve histórico sobre exoplanetas e a técnica de detecção por velocidade radial; na seção 4 é descrito como se deu a descoberta do primeiro exoplaneta, 51 *Pegasi b*, pelos ganhadores do Nobel; na seção 5, por fim, apresentamos as considerações finais.

## **2 – Os Laureados**

Michel Mayor (Figura 02) nasceu no dia 12 de janeiro de 1942 em *Lausanne* na Suíça. Recebeu o título de Mestre em Física Teórica pela Universidade de *Lausanne* em 1966 (PLANETARY SOCIETY, 2021). Obteve o título de Doutor em Astrofísica pela Universidade de Genebra em 1971 (UNIVERSITÉ DE GENÈVE, 2021a). Sua tese de Doutorado tratou sobre a dinâmica das galáxias espirais. Para o estudo em seu Doutorado, Michel Mayor desenvolveu um novo tipo de espectrógrafo, um instrumento que, entre outras possibilidades com aplicações científicas, é capaz de medir a

---

<sup>3</sup>A estrela 51 *Pegasi* é conhecida por apresentar características semelhantes ao Sol, como velocidade de rotação, temperatura e brilho, por isso é comumente chamada de **estrela do tipo solar**.

velocidade radial das estrelas, o qual foi utilizado como uma das bases teóricas de seu trabalho (UNIVERSITÉ DE GENÈVE, 2021a).

**Figura 02** - Michel Mayor



**Fonte:** UNIVERSITÉ DE GENÈVE (2021)

Professor de Astrofísica desde 1984, Michel Mayor atualmente é Professor Emérito do Departamento de Astronomia da Universidade de Genebra, onde atuou como diretor do Departamento de Astronomia de 1998 a 2004 (UNIVERSITÉ DE GENÈVE, 2021a). Mayor desenvolveu trabalhos na Universidade de Cambridge, no Observatório Europeu do Sul (ESO) no Chile e na Universidade do Haváí (THE NOBEL PRIZE, 2021). No ano de 1988 o astrônomo suíço foi convidado a trabalhar em um novo espectrógrafo, *ELODIE fibre-fed spectrograph* (Figura 08), no observatório *Haute-Provence* na França, projetado por Michel Mayor e seus colaboradores., que foi implementado no final de 1993. ELODIE podia fazer medições de velocidade radial com uma precisão de cerca de 10 m/s, tonando possível, à vista de Mayor, notar a presença de outros mundos. Atualmente, Michel Mayor é membro da Academia Francesa de Ciências, da Academia Nacional de Ciências dos Estados Unidos e da Academia de Artes e Ciências (UNIVERSITÉ DE GENÈVE, 2021a). Além disso, é membro honorário da *Royal Astronomical Society*.

Didier Queloz (Figura 03) nasceu em 23 de fevereiro de 1966 em Genebra, Suíça. Estudou Física, Astronomia e Astrofísica no *Collège de Saussure*, na

Universidade de Genebra (UNIVERSITÉ DE GENÈVE, 2021b). Obteve o título de Doutor em Física em 1995, com um trabalho que lhe rendeu o prêmio de melhor tese em Física Geral em 1996 pela Sociedade Suíça de Física.

**Figura 03** - Didier Queloz



**Fonte:** UNIVERSITÉ DE GENÈVE (2021)

Didier Queloz é membro da *Royal Society* e professor de Filosofia Natural da Universidade de Cambridge. Também ministra aulas de Astronomia no Observatório da Universidade de Genebra (UNIVERSITÉ DE GENÈVE, 2021b). Ele também é membro do *Trinity College* em Cambridge. Em 2013, o suíço Didier Queloz obteve a cátedra na Universidade de Cambridge. Atualmente tem dedicado seus estudos na detecção de planetas semelhantes à Terra (UNIVERSITÉ DE GENÈVE, 2021b).

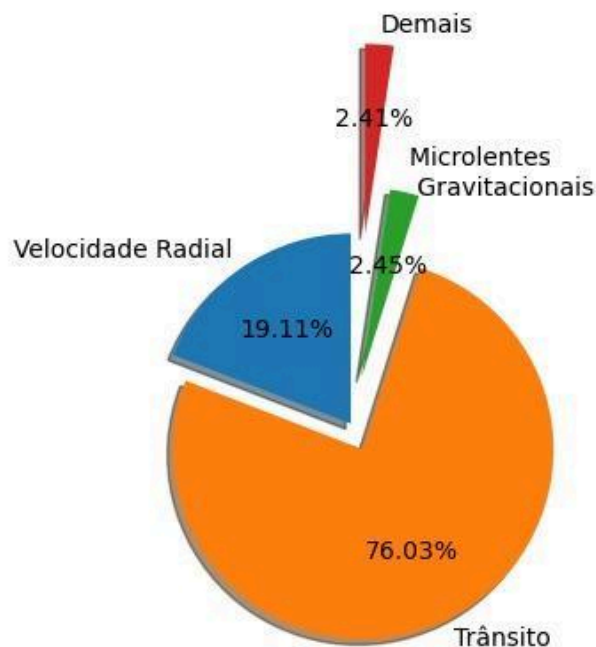
### **3 – Exoplanetas e velocidade radial**

Exoplanetas, ou planetas extrassolares, são corpos planetários que orbitam uma estrela diferente do Sol (SOBRINHO; DE OLIVEIRA, 2022). Desde meados do século XVI se especulam a existência de tais objetos celestes. Porém, “foi somente quatro séculos mais tarde que se pôde, efetivamente, conhecer os primeiros planetas em órbita de estrelas distantes” (SOBRINHO; DE OLIVEIRA, 2022, p. 1).

A detecção de um exoplaneta pode ocorrer de forma direta ou indireta. Na detecção direta de exoplanetas usa-se a técnica de imageamento, que consiste em obter uma imagem do planeta que orbita sua estrela. Para que o exoplaneta seja observado diretamente por um telescópio, sua superfície deve refletir a luz oriunda de sua estrela. Como o brilho de uma estrela é mais intenso que o seu planeta, isso acarreta limitações no uso da técnica de detecção direta de exoplanetas por imageamento. Por essa razão, astrônomos preferem usar técnicas de detecção indireta para buscar planetas em órbita de estrelas distantes.

A detecção indireta se divide nas técnicas de velocidade radial, trânsito planetário, *pulsar timing*, microlentes gravitacionais e astrometria. A maioria dos planetas detectados na atualidade utilizaram a técnica de trânsito planetário, conforme é ilustrado na Figura 04.

**Figura 04** - Distribuição percentual de exoplanetas detectados pelas técnicas de trânsito planetário (76,03%), velocidade radial (19,11%), microlentes gravitacionais (2,45%) e as demais técnicas (2,41%)

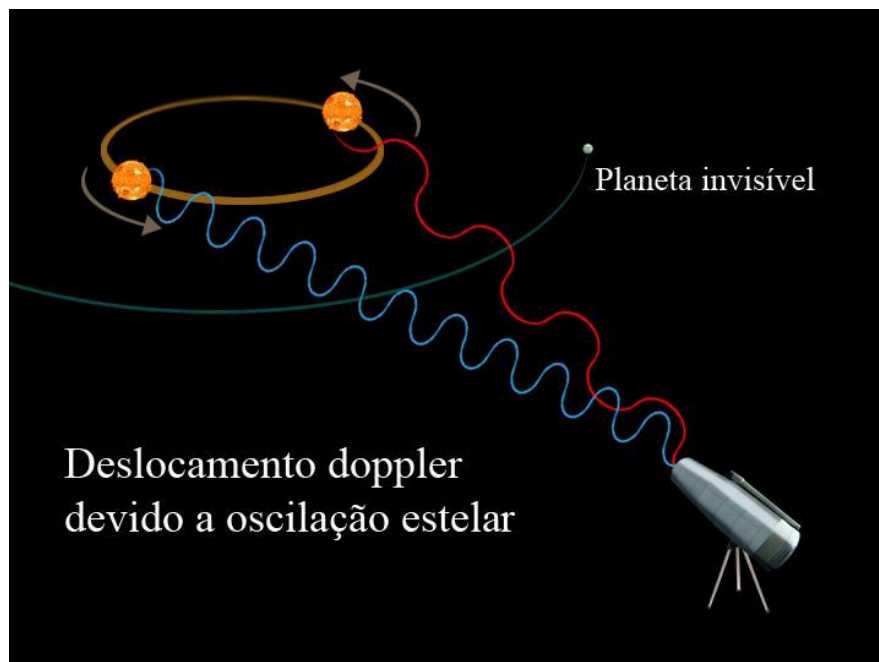


Fonte: SOBRINHO; DE OLIVEIRA (2022)

A técnica de detecção de exoplanetas por velocidade radial consiste na variação da velocidade radial da estrela devido as perturbações causadas nela pela presença de um planeta. Essa perturbação também pode ser causada pela presença de uma outra estrela, e nesse caso, temos a configuração de um sistema binário.

A presença de um corpo massivo orbitando a estrela faz com que ela orbite o centro de massa do sistema (Figura 05). Isso, por sua vez, causa uma variação em sua velocidade radial que pode ser notado no desvio nas linhas espectrais da estrela, por efeito Doppler (THE INTERNET ENCYCLOPEDIA OF SCIENCE, 2021), comparadas com os comprimentos de onda medidas em laboratório. Conforme é mostrado na Figura 04, cerca de 19% dos exoplanetas detectados atualmente foi devido ao método da velocidade radial, incluindo 51 *Pegasi b*, descoberto por Mayor e Queloz em 1995.

**Figura 05** - Ilustração do efeito Doppler causado pelo movimento de uma estrela orbitada por um planeta



Fonte: Adaptada de: <https://imgur.com/ICsUlcC>

O astrônomo russo-americano Otto Struve (1897 – 1963) foi o primeiro a propor a possibilidade do uso de espectrógrafos (instrumentos usados para dispersar a luz formando um espectro de comprimentos de onda) na detecção de exoplanetas.



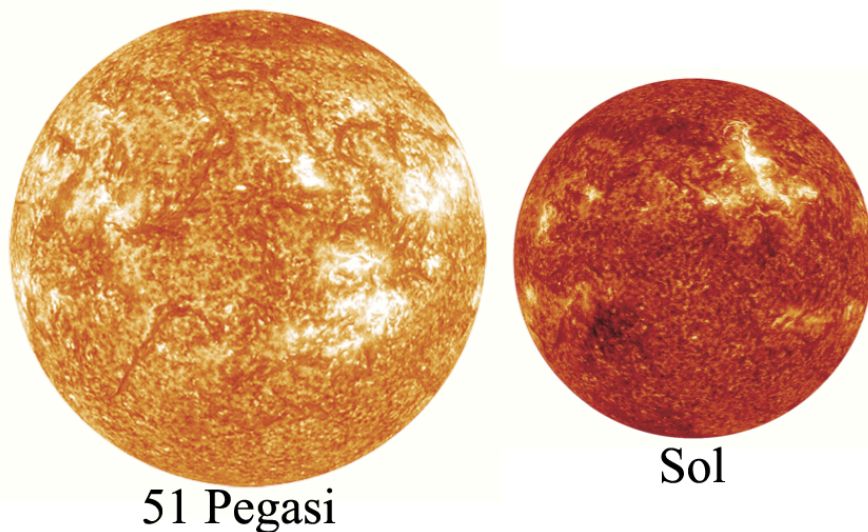
Struve teorizou que um grande planeta, como Júpiter, poderia causar oscilações no brilho de sua estrela hospedeira (STRUVE, 1952). Otto Struve previu que o efeito Doppler causado pela variação na velocidade radial poderia, então, ser detectado por espectrógrafos sensíveis, contudo a tecnologia da década de 1950 não permitia medições tão precisas como as atuais. Naquela época, suas medidas apresentavam erros de até 1000 m/s, o que impossibilitou possíveis detecções planetárias (STRUVE, 1952).

Só com o avanço na tecnologia dos espectrômetros, nas décadas de 1980 e 1990, e muito graças as contribuições de Michel Mayor e seus colaboradores, foi possível a detecção dos primeiros exoplanetas. Nesse cenário, 51 *Pegasi* b foi o primeiro planeta extrassolar detectado, e a sua descoberta foi anunciada em outubro de 1995 (MAYOR; QUELOZ, 1995). Essa descoberta pode ser atribuída ao desenvolvimento de espectrógrafos ópticos muito estáveis e com resolução espectral temporal maior, tornando possível detectar sinais cada vez menores da variação da luminosidade da estrela, quando o planeta atravessa o disco de sua estrela. Desde então, a lista de exoplanetas descobertos não para de crescer.

#### **4 – O exoplaneta 51 *Pegasi* b**

51 *Pegasi* b é um exoplaneta que orbita a estrela do tipo solar 51 *Pegasi*, que dista 50 anos-luz da Terra. Isso significa que se viajarmos em uma espaçonave da Terra à estrela 51 *Pegasi*, com uma velocidade de 300 mil quilômetros por segundo (velocidade da luz), demoraríamos 50 anos para chegarmos até lá. 51 *Pegasi* é cerca de 23% maior que o nosso Sol e possui 11% a mais de massa que nossa estrela (MAYOR; QUELOZ, 1995). A Figura 06 mostra uma comparação entre as dimensões do Sol e da estrela 51 *Pegasi*.

**Figura 06** - Comparação de tamanho entre 51 Pegasi e o Sol

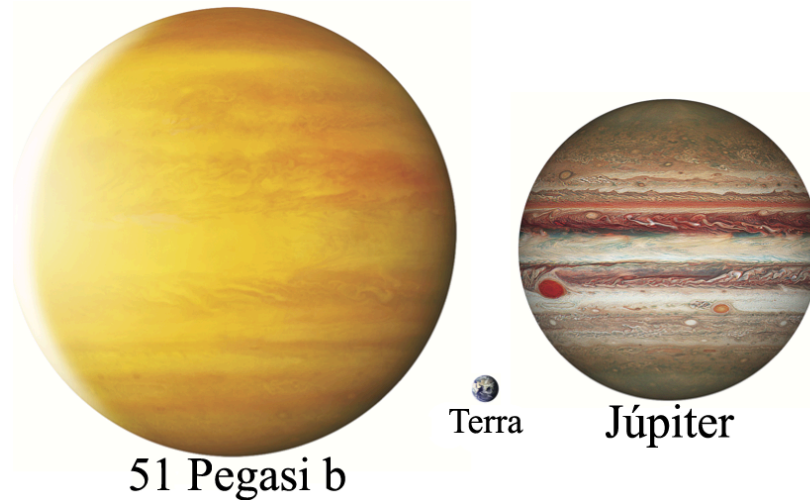


**Fonte:** Adaptada de:

<https://www.spokesman.com/stories/2020/oct/06/strange-new-worlds-51-pegasi-b-and-search-exoplanet/>

Com relação ao exoplaneta 51 *Pegasi* b, ele é cerca de 50% maior do que Júpiter (Figura 07) e possui 47% menos massa do que nosso planeta gigante. Esse exoplaneta orbita sua estrela hospedeira a cada 4 dias (MAYOR; QUELOZ, 1995), portanto, podemos concluir que ele tem uma velocidade incrível. Por efeito de comparação, o período de translação da Terra em torno do Sol, ou seja, seu período orbital, é de aproximadamente 365 dias. Além disso, a temperatura na superfície de 51 *Pegasi* b é de aproximadamente 1000 °C, pois ele se encontra a apenas 0,05 UA (unidades astronômicas) de sua estrela hospedeira, uma distância menor que a de Mercúrio ao Sol (cerca de 0,4 UA). Só por efeito de comparação, a distância da Terra ao Sol (sua órbita) é de 1,0 UA.

**Figura 07** - Comparação no tamanho do exoplaneta 51 *Pegasi b* com a Terra e Júpiter



**Fonte:** Adaptado de:

<https://www.spokesman.com/stories/2020/oct/06/strange-new-worlds-51-pegasi-b-and-search-exoplanet/>

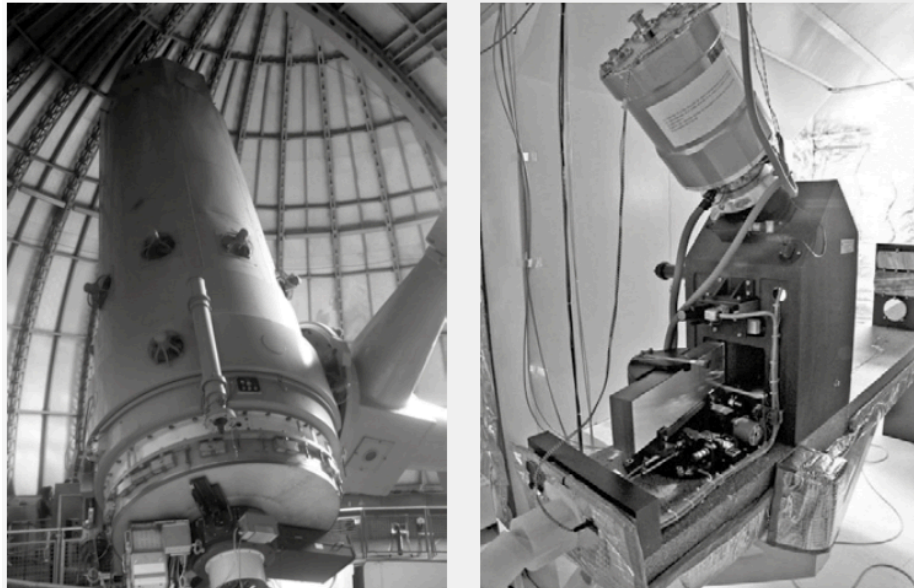
#### **4.1 – Como se deu a descoberta de 51 *Pegasi b***

Na época da descoberta do exoplaneta 51 *Pegasi b* (década de 1990) diversos grupos de astrônomos vinham examinando dados sobre velocidade radial de várias estrelas, na tentativa de identificar movimentos orbitais provocados pela presença de um companheiro massivo (planeta joviano ou anã marrom). Porém, a precisão dos espectrógrafos da época era da casa de 15 m/s. Como já mencionado anteriormente, a precisão necessária para detectar um planeta como Júpiter orbitando o nosso Sol é de cerca de 13 m/s. Esse fato limitava a busca por planetas semelhantes a Terra, restringindo a busca então à detecção de exoplanetas com massas comparáveis a de Júpiter.

Michel Mayor e Didier Queloz estavam monitorando, desde abril de 1994, a velocidade radial de 142 estrelas anãs do tipo G e K, utilizando um espectrógrafo com precisão de 13 m/s, desenvolvido por Michel Mayor e seus colaboradores. Depois de 18 meses de medidas, um pequeno número de estrelas, dentro da amostra, mostrava variação significativa na velocidade radial. Entre elas, os autores reportaram a descoberta de um companheiro massivo, com massa mínima de 0,5 vezes a massa de Júpiter, orbitando a 0,05 UA a estrela do tipo solar 51 *Pegasi*. Porém, devido a restrições originadas da velocidade de rotação da estrela em questão e de sua baixa

emissão cromosférica, o erro estimado ao companheiro massivo detectado era de  $2M_J$  (duas vezes a massa de Júpiter), o que adiou a confirmação da detecção (MAYOR; QUELOZ, 1995).

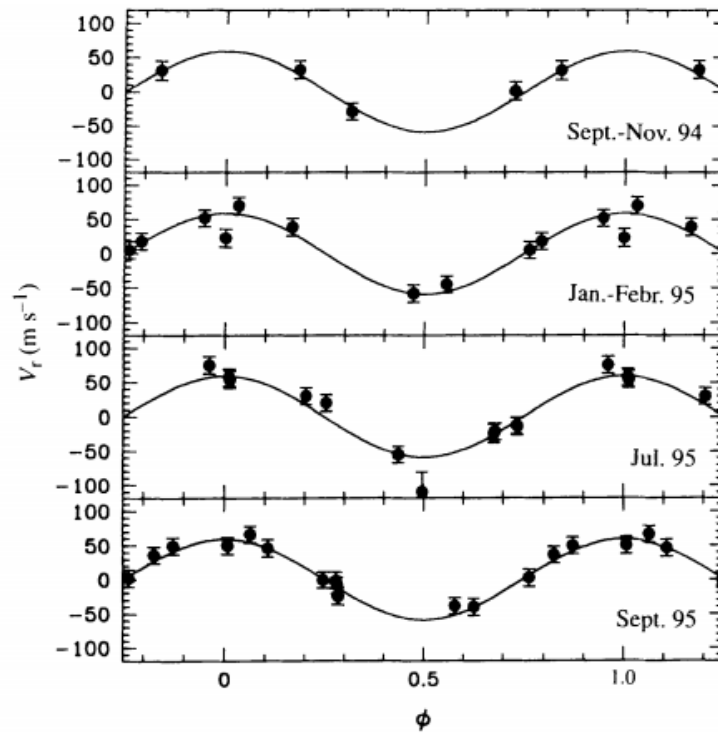
**Figura 08** - Espectrógrafo ELODIE *fibre-fed* do Observatório de *Haute-Provence*, França



**Fonte:** THE NOBEL PRIZE (2021)

A primeira observação confirmada de 51 *Pegasi* b ocorreu alguns meses depois, em setembro de 1994. Em janeiro de 1995 então, foi calculado um primeiro período orbital de 4,23 dias. Essa medida foi então confirmada depois de intensivas observações durante oito noites consecutivas em julho de 1995 e oito noites em setembro de 1995. As medidas que levaram a descoberta de 51 *Pegasi* b foram feitas pelo mais atual espectrógrafo da época, o ELODIE (Figura 08), projetado por Michel Mayor e seus colaboradores. Este instrumento permitiu medidas de velocidade radial com precisão de 13 m/s para estrelas de até 9 magnitudes.

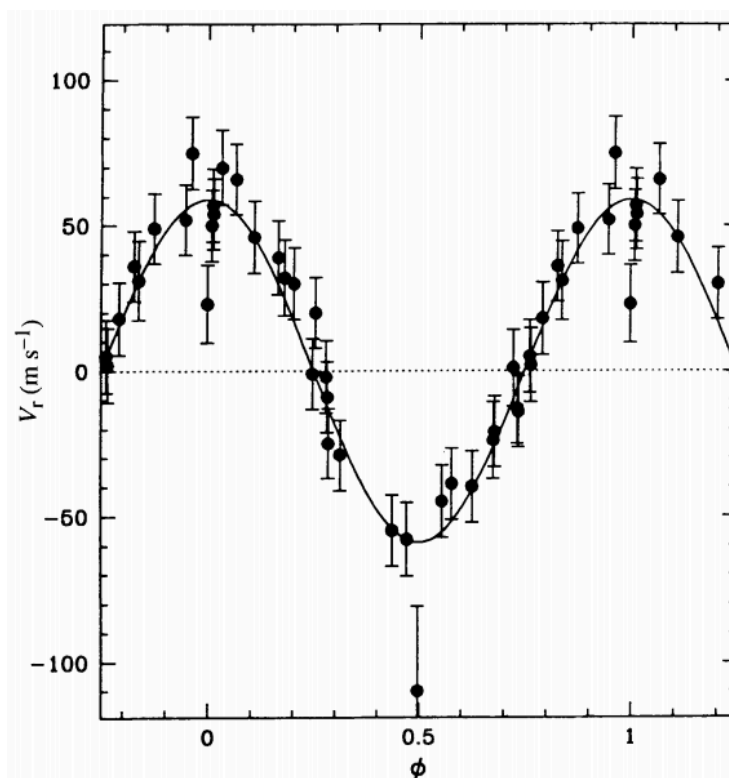
**Figura 09** - Movimento orbital da estrela 51 *Pegasi* para quatro épocas diferentes. A linha sólida representa o melhor ajuste para o movimento orbital



**Fonte:** MAYOR; QUELOZ (1995)

Na Figura 09 é mostrado o diagrama de fase da velocidade radial ( $V_r$ ), em diferentes períodos de observação da estrela 51 *Pegasi*. O sinal observado na figura é causado por um companheiro orbital de massa mínima igual a 0,47 vezes a massa do planeta Júpiter ( $0,47M_J$ ) que orbita sua estrela. Esses dados revelaram pela primeira vez aos astrônomos suíços a presença de um exoplaneta orbitando uma estrela do tipo solar. A linha sólida representa um ajuste para a variação periódica da velocidade radial, e o termo  $\phi$  é a superposição de  $V_r$  para o período de 4,23 dias.

**Figura 10** - Diagrama de fase da velocidade radial para o movimento orbital de 51 *Pegasi*. A linha sólida representa o melhor ajuste aos dados



**Fonte:** MAYOR; QUELOZ (1995)

Já na Figura 10 é mostrado o ajuste compatível com uma órbita circular de curto período inferido da alteração da velocidade radial da estrela 51 *Pegasi*. Os dados também mostraram que a excentricidade dessa órbita era em torno de  $e = 0,09 \pm 0,06$ , que equivale a uma órbita quase circular. Tanto na Figura 09 como na Figura 10, uma velocidade radial positiva indica que a estrela está se afastando do observador. Caso seu valor seja negativo, isso significa que a estrela está se aproximando do observador.

Os dados também mostraram que o período orbital do planeta era em torno de 4,23 dias. Um período bem curto, comum de ser encontrado em estrelas que formam um sistema binário, mas não esperado para um planeta, o que causou surpresa em Michel Mayor e Didier Queloz a princípio. Para excluir a possibilidade do companheiro massivo da estrela 51 *Pegasi* ser outra estrela e não um planeta, os autores realizaram um rigoroso teste estatístico, que revelou uma probabilidade de menos de 1% do sistema ser binário.

Com base nos dados observados, Mayor e Queloz, não tinham dúvidas sobre a causa da mudança da velocidade radial da estrela 51 *Pegasi*. Estava descoberto o primeiro exoplaneta orbitando uma estrela do tipo solar. Após a descoberta feita pelos astrônomos suíços, outra equipe do *Liky Observatory* e do Centro de Astrofísica do *Havard-Smithsonian*, confirmaram, de forma independente, a detecção de 51 *Pegasi b*.

## 5 – Considerações finais

Este artigo teve como objetivo mostrar as contribuições científicas dos laureados no Prêmio Nobel de Física de 2019, Michel Mayor e Didier Queloz, pela descoberta do primeiro exoplaneta, como motivador para o ensino de Física por meio de temas ligados à Astronomia. Sabendo que é necessário a elaboração de propostas educativas que abordem temas relevantes e instigantes para o aluno.

Desse modo, a abordagem da temática exoplaneta, por ser um assunto que naturalmente desperta a curiosidade dos discentes, por estar ligados às histórias de ficção científica e a busca por vida fora da Terra, promovem nos alunos interesses que proporcionam uma maior probabilidade de compreensão dos conteúdos do currículo de Física.

Este trabalho objetiva também promover a divulgação científica de um tema tão relevante para a ciência. Assim, espera-se que este texto sirva como incentivo para introdução às ciências para jovens estudantes e como material de referência para elaboração de aulas de Astronomia por professores da Educação Básica.

## Referências

ANGLADA-ESCUDE, G.; AMADO, P. J.; BARNES, J.; et al. 2016, **Nature**, 536, 437.

BISCH, S. M. **Astronomia no Ensino Fundamental: Natureza e Conteúdo do Conhecimento de Estudantes e Professores**. São Paulo: USP, 1998, 301 p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Educação, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **parâmetros curriculares nacionais: ensino médio**. Brasília: MEC, 1999. 364 p.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **PCN+ ensino médio: orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília: MEC, 2002. 244 p.
- HERBORT, O.; WOITKE, P.; HELLING, Ch.; ZERKLE, A. 2020, **Astronomy & Astrophysics (A&A)**, 636, A71.
- MANSFIELD, M.; KITE, E. S.; HU, R.; et al. 2019, **The Astrophysical Journal (ApJ)**, 886, 141M.
- MAYOR, M.; QUELOZ, D. 1995, **Nature**, 378, 355.
- NIKOLOV, N.; SING, D. K.; FORTNEY, J. J.; et al. 2018, **Nature**, 557, 526.
- Planetary Society**, <https://www.planetary.org/profiles/michel-mayor>. Acesso em 18/08/2021.
- SALZ, M.; CZESLA, S.; SCHNEIDER, P. C.; et al. 2018, **Astronomy & Astrophysics (A&A)**, 620, A97.
- SOBRINHO, R. S.; OLIVEIRA, L. L. A. Exoplanetas e sistemas extra-solares: uma sequência didática para o ensino da Gravitação Universal no ensino médio. **Física na Escola**, Vol. 20, 2022.
- SOBRINHO, R. S. **Excesso no infravermelho em estrelas análogas rotacionais do Sol**: à procura de exo-cinturões de asteroides. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2019.
- STRUVE, O. 1952, **The Observatory**, 72, 199.
- The Cavendish Laboratory**, Nobel Prize Edition, <https://www.phy.cam.ac.uk/files/documents/cavmag-23-2020-main-layout-online.pdf>, Acesso em 27/08/2021.



**The Internet Encyclopedia of Science**, Radial velocity method,

[https://www.daviddarling.info/encyclopedia/R/radial\\_velocity\\_method.html](https://www.daviddarling.info/encyclopedia/R/radial_velocity_method.html), Acesso em 24/08/2021.

**The Nobel Prize**, <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2019/mayor/facts/>. Acesso em 18/08/2021.

**Université de Genève**,

<https://www.unige.ch/sciences/astro/nobel2019/fr/michel-mayor/bio/>. Acesso em 18/08/2021.

**Université de Genève**,

<https://www.unige.ch/sciences/astro/nobel2019/fr/didier-queloz/cv-bio/>. Acesso em 18/08/2021.