

## 如何探测系外行星？宇宙中还有其他生命吗？

Michel Mayor\*

日内瓦大学天文学系 (瑞士, 日内瓦)

### 少年审稿人



ANUSHKA

年龄：15



FAYDH

MOHAMMED

年龄：16



YUTONG

年龄：11

我们可以向自己提出的一个最有趣、激动人心、引人遐想的问题是：宇宙中其他地方是否存在生命？这个问题激发了一代代科幻作家、科学家和好奇的人们的想象力。在这篇文章中，我将介绍我们如何在太阳系外发现了第一颗围绕类日恒星运行的行星（系外行星）——我因这一工作获得2019年诺贝尔物理学奖。我还将告诉你，自这项发现以来科学家取得的进展，以及探索宇宙中其他地方是否存在生命这一问题所面临的挑战。我们离解答这个长期存在的问题还有多远？让我们一探究竟。

米歇尔·马约尔 (Michel Mayor) 发现了一颗围绕类太阳恒星运行的系外行星，并对我们理解宇宙演化和地球在宇宙中的位置做出了很多贡献。他与迪迪埃·奎洛兹 (Didier Queloz) 教授共同获得了2019年诺贝尔物理学奖。

你能想象在宇宙的某个地方或许存在着其他生命形式吗？起初，这种想法似乎有点异想天开或难以理解。但是，作为一名天体物理学家，我可以告诉你，这实际上是很有可能的。为什么呢？因为宇宙中有非常多的行星，数量多得难以想象，其中一些行星的条件可能很适合形成生命。在深入探讨宇宙中其他生命的可能性之前，先来看看我们是如何发现太阳系之外的行星的吧。

## 宜居行星

### (Habitable planet)

满足生命体生存必须条件的行星。

## 光谱线

### (Spectral line)

一条特定波长的光线，由原子吸收或发射出来。

<sup>1</sup> 点击[这里](#)了解更多关于光线谱的知识。

<sup>2</sup> 点击[这里](#)了解更多。  
图 1 中也有相关解释。

## 多普勒效应

### (Doppler effect)

一束波的测量波长（频率）随着其源头朝向或远离观察者而改变的物理效应。

## 如何探索宜居行星

在寻找可能承载我们所知的生命形式的**宜居行星**时，我们要找的是与地球相似的行星。一个必要条件就是，这些行星应该围绕一颗能够辐射热量和光线的恒星运行。这颗恒星能为生命的发展提供合适的温度和能量产生的条件，就像太阳对地球的作用一样。但是，当一颗暗淡的行星（如地球）旁边有一颗明亮的恒星（如太阳）时，科学家并不能直接探测到该行星，因为行星反射的光线被明亮恒星的光线所掩盖。例如，太阳的亮度比围绕它运行的每一颗行星所反射的光都要高十亿倍。因此，我们需要开发间接的方法来探测行星的存在。其中一种方法涉及到检测这颗行星对附近恒星的运动速度造成的变化。要理解这种方法，我们必须熟悉两个概念——光谱线和多普勒效应。

## 光谱线

你可能知道，每个原子的能级都与其原子核周围电子的运动相对应。当光穿过一个原子时，与原子能级相对应的特定波长的光被原子吸收，接着原子又会自发地发射出光，但其频率与被吸收光的频率稍有不同（即发生了偏移）。每种原子（铁、氢、钙等）的偏移都是特定的。这意味着，如果我们能够检测到与原子相互作用后的发射光，分析它的波长，就能得到该原子的特定“指纹”。光谱在与原子相互作用之前是连续的，而探测到的光谱上可以看到特定波长的减弱（暗线）或增强（亮线）。这些线被称为**光谱线**<sup>1</sup>。

## 遥远行星的光谱线

每颗恒星周围的大气层中都有特定的原子组合。所以，通过探测穿过恒星大气层的光，我们就能得到它独特的谱线指纹，这是由恒星大气层中各种各样的原子产生的。我们可以利用这些光谱线上的微小偏移来推断出围绕这颗恒星运行的行星的存在。这些小的偏移是由多普勒效应引起的。

## 多普勒效应

你有没有注意到，当一辆救护车鸣笛向你驶来时，警报器的音调会发生变化——它朝你开来的时候音调变得更高、更尖锐，离开时音调变得更低、更柔和？实际上，警报器发出的声音并没有改变。变化的是当救护车接近你时，每个声波到达你的时间比前一个声波要短，导致了声波频率的增加。这使得警笛声在接近你时变得急促，在远离你时变得平缓<sup>2</sup>（图 1）。这种观察到的频率变化称为**多普勒效应**。

任何类型的波都遵循这一规律，包括光。因此，当像恒星这样的发光物体向我们移动时，它的光谱将会向短波长、高频率移动（称为蓝

图 1

多普勒效应。当一辆救护车鸣笛向你（右边的人）驶来时，警报器的声音比它远离你（左边的人）的时候更快地到达（频率更高）。这种效应是从观察者的角度看到的频率变化。警笛声的频率实际上没有变化。

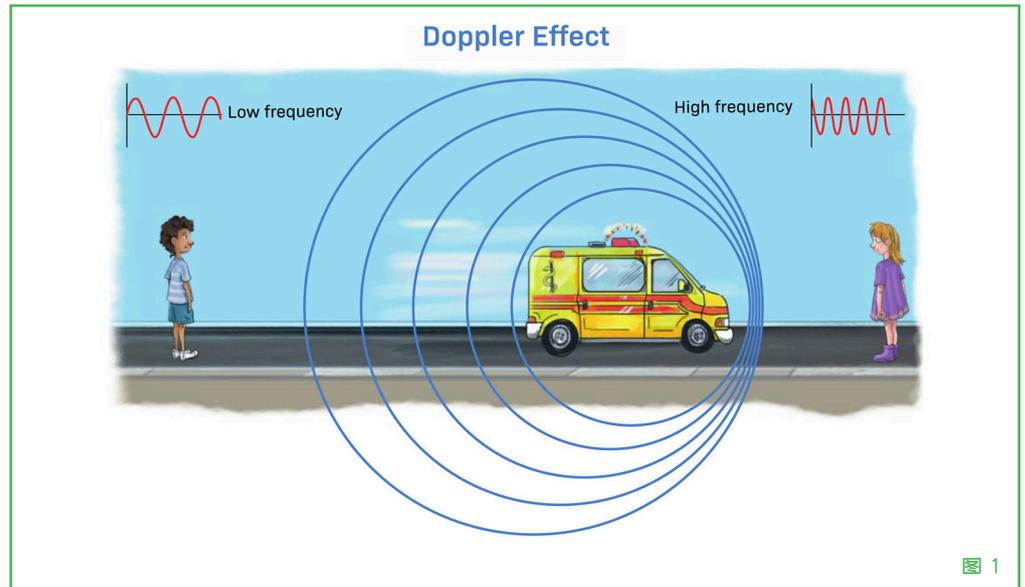


图 1

<sup>3</sup> [点击这里观看视频。](#)

图 2

利用多普勒效应探测系外行星。一颗看不见的系外行星围绕着一颗遥远的恒星运行，导致这颗恒星沿着椭圆轨道运动。这颗恒星有时向地球移动（1），有时远离地球（2）。由于多普勒效应，我们看到恒星发出的光谱线频率发生了变化，当恒星向地球移动时，频率会更高（蓝色），当远离地球时，频率会更低（红色）。这种变化可以用来推断系外行星的存在（图源ESO）。

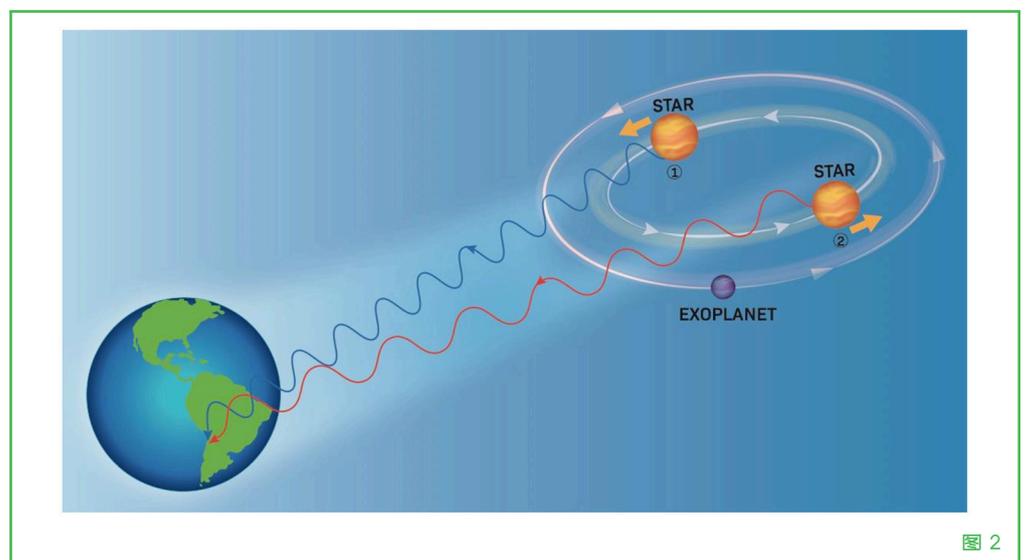


图 2

### 互相关技术

使用多普勒效应来探测看不见的行星的存在，是一个很大的挑战。由系外行星引起的恒星速度的变化仅有几米每秒，甚至更小。这样微小的变化意味着，恒星光谱线的多普勒频移还不到其发射波长的十亿分之

互相关技术

(Cross-correlation technique)

一种利用多普勒效应对来自遥远恒星的光谱线的影响来探测太阳系外行星的方法。

光谱仪

(Spectrometer)

一种用来检测和分析光谱的设备,我们使用它来分析来自系外恒星和行星的光。

图 3

使用 CORAVEL 光谱仪进行互相关测量。(A) 工作人员站在位于智利拉西拉天文台 (La Silla Observatory) 的 CORAVEL 光谱仪前。(B) 原始的 CORAVEL 板及其孔洞 (黑色条纹), 我们使用这块平板, 借助互相关技术探测从飞马座 51 到达的许多 (暗) 谱线的多普勒频移。(C) CORAVEL 望远镜收集来自恒星的光线, 并投射到带孔的板上。当黑线与板上的孔对齐时, 到达光探测器的光量最少 (左图, “对齐”)。围绕这颗恒星运行的行星的存在引发了多普勒效应, 黑线移动之后不再与孔对齐, 此时大量的光通过平板并到达探测器 (右图, “未对齐”)。检测到的光量增加反映出光谱线位置的变化, 使我们能够推断出存在一颗围绕恒星运行的行星。[图源: (A) ESO 和 (B) 参考文献 [1]。]

一 (1/1,000,000,000) [1]。这是一个非常小的变化, 仅靠一条光谱线的多普勒频移是无法精确测量的。

那么, 我们用什么办法提高这一测量的精度呢? 我们使用了另一个巧妙的技巧, 称为互相关技术。该技术在 20 世纪 80 年代到 90 年代得到了优化, 在我们探测太阳系外行星的工作中发挥了重要作用。

这一技术的关键思想是, 在对感兴趣的恒星进行测量时, 我们不是只关注一条谱线的偏移, 而是关注多普勒效应导致的所有谱线的集体偏移。为此, 我们使用了称为 CORAVEL 光谱仪的设备 (图 3A) [1, 2]。CORAVEL 光谱仪中有一块带孔的平板 (图 3B), 这些孔正好位于我们预期来自特定恒星的光线中出现暗谱线的位置。所有通过这些孔的透射光都被送到一台探测器上。当恒星的暗谱线正好位于孔的前面时, 我们检测到的透射光最少 (图 3C, 左)。然而, 如果由于系外行星影响了恒星的运动而产生了多普勒频移, 那么相对于板上的孔的位置, 成千上万条光谱线的位置将同时移动, 通过孔的透射光量将会增加 (图 3C, 右)。在发生这种多普勒频移后, 我们需要移动平板, 使孔再次与暗谱线对齐, 这样探测器检测到的透射光又会变到最少。

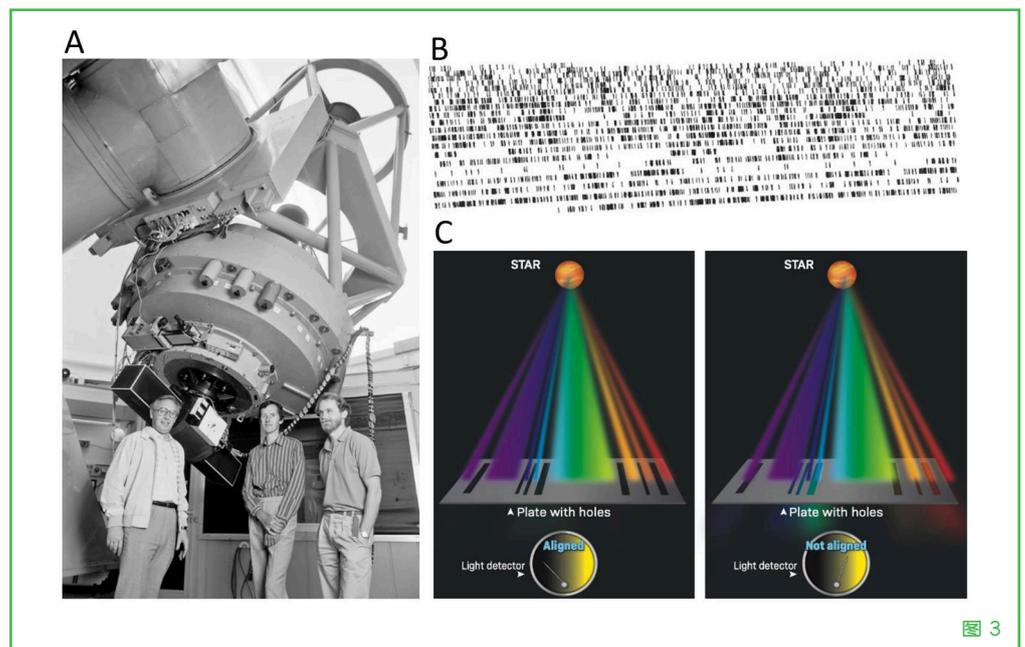


图 3

因此, 通过测量恒星在其轨道上两个位置的吸收光谱线, 并移动平板使两次检测到的光量都变到最小, 我们就知道平板在第一个最小值 (恒星的第一个位置) 和第二个最小值 (恒星的第二个位置) 之间移动了多少。正是由于系外行星的存在, 导致恒星光谱线发生多普勒频移, 我们才观察到了平板在两个暗谱之间的移动。通过计算恒星谱线的多普勒频移, 结合其他测量, 我们便可以了解探测到的系外行星的特征。

**多普勒速度**

(Doppler velocity)

近轨行星的存在引发的恒星速度变化。

**系外行星**

(Exoplanet)

位于太阳系之外的行星。

<sup>4</sup> 点击这里了解更多。

**图 4**

(A) 飞马座 51b 系外行星 (小球体) 和它所环绕的恒星的艺术表现图。飞马座 51b 是一颗气态行星, 距离地球约 50 光年。它是我们在太阳系外发现的第一颗围绕类太阳恒星运行的行星。(B) 我的同事迪迪埃·奎洛兹 (左) 和我站在智利拉西拉天文台的 3.6 米 HARPS 望远镜前。自 2003 年以来, HARPS 望远镜就搭载了我们的互相关技术, 用来搜索系外行星。[图源: NASA/JPL-Caltech (A) 和 L. Weinstein/Ciel et Espace Photos (B)。]

<sup>5</sup> 点击这里了解更多关于行星迁移的知识。

互相关技术让我们能够把来自所有单独光谱线的多普勒频移信息聚合到一个单一物理量中。这个物理量称为**多普勒速度**, 因为它能表示由近轨行星的存在而导致的恒星速度变化。利用多普勒速度, 结合其他的一些测量, 我们不仅可以推断出行星的存在, 还可以得知它的质量、大小, 以及围绕恒星运行一周所需的时间。1995 年, 我和同事迪迪埃·奎洛兹 (Didier Queloz) 利用这种方法发现了飞马座 51b——这是人类发现的第一颗**系外行星**[3]。

**飞马座 51B: 人类发现的第一颗围绕类太阳恒星运动的系外行星**

飞马座 51b (图 4A) 是一颗距离地球约 50 光年 (约 47 万亿公里!) 的行星, 位于银河系的飞马座<sup>4</sup>。它的温度很高, 约有 1000 摄氏度。它围绕着一颗名为飞马座 51 的类太阳恒星运行, 公转一周大约 4.2 天。飞马座 51b 主要由气体组成, 被归类为像木星一样的气态巨行星。由于它的轨道非常接近恒星, 它有时也被称为“热木星”。飞马座 51b 的质量比木星轻约 47%, 体积比木星大 50%。飞马座 51 恒星比我们的太阳重约 11%, 体积大 23%。



图 4

正如前面提到的, 飞马座 51b 是人类发现的第一颗围绕恒星运行的系外行星。这颗恒星和系外行星本身就很有研究价值, 并且这个发现也给行星探测领域带来了两项突破性进展。

第一, 此前科学家并不确定, 在宇宙中除太阳系之外的地方是否还存在着围绕恒星运行的行星, 飞马座 51b 的发现证明这样的行星确实存在, 而且可以用互相关技术探测到。

第二, 它证明了一个叫做行星迁移的假设, 即随着时间的推移, 行星可以发生位移, 更靠近它们所环绕的恒星<sup>5</sup>。对于天体物理学家来说, 这种与它们所环绕的恒星非常接近的巨行星非常具有吸引力, 因为它们可以更快地使用互相关技术被观察到。在发现飞马座 51b 之前, 科学家认为巨行星的轨道周期不可能短于 10 年, 这意味着使用多普勒效应探测一颗行星需要 10 年的时间! 但我们的发现表明, 这类行星的轨道周

期可能短至几天，只有预期的千分之一！这意味着一些系外行星可以在短短几天内探测到。

这两项突破都极大地促进了对更多围绕恒星运行的系外行星的探测。如今，科学家已经发现了 5000 多颗这样的行星！这是朝着寻找宇宙中可能的生命迈出的重要一步。

## 宇宙中的生命

我们目前对生命的定义包括三个主要特征：生命系统应该能够保护自身不受环境影响，能与环境相互作用，并将其信息传递给下一代。这种信息的传递是通过长长的原子和分子链（称为遗传物质，或 DNA）实现的，而这些物质非常脆弱。DNA 分子需要特定的温度和水分。这意味着，如果一颗系外行星上存在生命，它必须满足这些环境条件<sup>6</sup>。这样一来，找到这样一颗行星的可能性有多大？好吧，既然宇宙中有这么多行星，我们绝对可以肯定，其中许多行星都有演化出生命的可能性。但是，作为科学家，我们并不满足于简单地说“是的，很有可能”——我们想直接证明这点。

要发现其他行星上的生命，最简单的方法似乎是向它们发射航天器，四处观察并拍照。但是，以我们目前的技术和对物理学的理解，这是不可能的，因为航天器到达这些非常遥远的行星要花太长时间，耗费极多的能量<sup>7</sup>。因此，我们需要使用远程探测方法，通过间接的测量和观察来判断某个星球上是否存在生命。例如，可以使用光谱来分析系外行星大气中的化学成分。由于我们非常熟悉地球大气中的氧气（臭氧）、氮气、甲烷和二氧化碳等化学成分的谱线，我们可以尝试在其他行星的大气中寻找类似的光谱<sup>8</sup>。这种方法以及其他的研究方法，虽然很有前途，但非常复杂，需要经过改进才能发挥作用。因此，能否以及如何探测到系外行星上的生命这一重大问题，对于像你们这样的下一代年轻科学家来说，仍然是一个了不起的挑战！

## 给小读者们的建议

我相信，要成为一名科学家，你需要有很强的好奇心。科学不是一份“正常”的工作，它不仅仅是为了挣钱。但是，如果你对科学中的任何问题都充满好奇，我相信成为一名科学家你会很开心——就是这么简单。我从来没有后悔选择成为一名科学家。对我来说，作为一名科学家的乐趣之一，是有幸与来自世界各地的人一起工作。这种在全球许多地方都有朋友的感觉真好。

我还认为，对科学家来说，善于团队协作非常重要。多年来，我一直领导着几个研究小组，我发现即使只有一个人与团队协作较差，整个团队都会受到负面影响。作为团队的一员，你应该和同事相处融洽，并

<sup>6</sup> 即使满足了这些条件，也不一定意味着这个星球上存在生命，但有生命存在的可能性。在我们的认知之外，也有可能不同形式的生命，在我们所不熟悉的环境下生存着。但由于科技水平限制，我们先从最简单的地方开始。

<sup>7</sup> 这也意味着，即使我们在太阳系外找到了适宜人类居住的星球，以目前物理学的发展水平，人类也不适合移居到那个星球上。因此，我们需要尽全力保护地球，未来许多代的人们仍会生活在这里。

<sup>8</sup> 如果你想了解更多关于这个方法的知识，可以阅读这篇文章 [4]。

乐意和他们一起工作。因此，要确保与合适的人搭档，并享受日常的互动。

### 扩展阅读

- Michel Mayor, Nobel Prize in Physics 2019: Official interview (Nobel Prize).
- The 2019 Nobel Prize in Physics—The discovery of the first exoplanet (Nobel Prize).

### 致谢

感谢 Noa Segev 的采访并参与本文的撰写。感谢 Sharon Amlani 提供的图 1、图 2、图 3C。感谢“赛先生”公众号及其译者赵金瑜、玛雅蓝对本文中文翻译的贡献。

### 参考文献

1. Mayor, M. 2020. Nobel lecture: plurality of worlds in the cosmos: a dream of antiquity, a modern reality of astrophysics. *Rev. Mod. Phys.* 92:030502. Available online at: <https://journals.aps.org/rmp/abstract/10.1103/RevModPhys.92.030502>
2. Baranne, A., Mayor, M., and Poncet J. L. 1979. Coravel—a new tool for radial velocity measurement. *Vist. Astron.* 23:279–316. doi: 10.1016/0083-6656(79)90016-3
3. Mayor, M., and Queloz, D. 1995. A Jupiter-mass companion to a solar-type star. *Nature* 378:355–9.
4. Schwieterman, E. W., Kiang, N. Y., Parenteau, M. N., Harman, C. E., DasSarma, S., Fisher, T. M., et al. 2018. Exoplanet biosignatures: a review of remotely detectable signs of life. *Astrobiology.* 18:663–708. doi: 10.1089/ast.2017.1729

线上发布: 2023 年 4 月 27 日

编辑: Joey Shapiro Key

科学导师: Amal Dameer, Ila Mishra, 和 Dongliang Liu

引用: Mayor M (2023) 如何探测系外行星? 宇宙中还有其他生命吗? *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2022.857995-zh

英文原文: Mayor M (2022) Distant Planets and Big Promises: How to Detect Exoplanets and Whether They Have Life. *Front. Young Minds* 10:857995. doi: 10.3389/frym.2022.857995

利益冲突声明: 作者声明, 该研究是在没有任何可能被解释为潜在利益冲突的商业或财务关系的情况下进行的。

版权: © 2022 © 2023 Mayor. 这是一篇依据 [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 条款发布的开放获取文章。根据公认的学术惯例, 在注明原作者和版权所有

者，及在标明本刊为原始出处的前提下，允许使用、传播、复制至其他平台。如违反以上条款，则不得使用、传播或复制文章内容。

## 少年审稿人



**ANUSHKA, 年龄: 15**

我的爱好是阅读和唱歌。从事天体物理学工作是我努力实现的梦想。我一直对太空和斯蒂芬·霍金很感兴趣。我喜爱尝试新事物, 结识新朋友, 了解不同的文化。



**FAYDH MOHAMMED, 年龄: 16**

我的名字是 Faydh Mohammed。我喜欢做很多不同的运动, 学习有趣的东西。我热衷于技术, 喜欢探索新的技术工具和小玩意。我也很有艺术天赋。我想拓展思想和才能, 将来追求更加充实的人生。我很高兴能参与到 Frontiers for Young Minds 中来!



**YUTONG, 年龄: 11**

大家好, 我是 Yutong。我喜欢游泳、滑雪和远足。我也很爱音乐和唱歌, 会弹钢琴。我希望通过评阅这些文章, 我可以了解更多有趣的新知识!

## 作者



**MICHEL MAYOR**

米歇尔·马约尔 (Michel Mayor) 教授是一位瑞士天体物理学家, 1942 年出生于瑞士洛桑。11 到 16 岁时, 他有一位出色的科学老师, 这极大地激发了他对科学的兴趣。在学校里, 他是童子军中活跃的一分子, 参与了徒步旅行、滑雪、在高海拔山区露营以及各种户外活动。马约尔教授曾在洛桑大学学习, 1966 年获得理学硕士学位, 研究课题为自旋相互作用。随后他来到日内瓦天文台 (日内瓦大学), 1971 年完成了关于螺旋星系密度波的博士论文, 并于 1988 年成为教授。他还曾在剑桥大学、位于智利的欧洲南方天文台和夏威夷大学工作。马约尔教授和同事们开发了几种精确测量恒星速度的技术, 并通过互相关技术改进了光谱线的多普勒频移测量, 最终实现了对系外行星的探测。1995 年, 他与迪迪埃·奎洛兹 (Didier Queloz) 教授一起发现了飞马座 51b, 这是在太阳系以外发现的第一颗围绕类太阳恒星运动的行星。这一发现为他赢得了 2019 年的诺贝尔奖。马约尔教授还曾获得阿尔伯特·爱因斯坦奖章 (2004 年)、邵氏天文学奖 (2005 年)、京都奖 (2015 年) 和沃尔夫奖 (2017 年) 等奖项。马约尔教授与迪迪埃·奎洛兹教授共同获得了 2019 年的诺贝尔物理学奖, 以表彰他们发现了一颗围绕类日恒星运行的系外行星, 以及他们对理解宇宙演化和地球在宇宙中的位置做出的贡献。马约尔教授目前是日内瓦大学天文学系的名誉教授, 同时也是日内瓦天文台的研究员。马约尔教授与弗朗索瓦丝 (Françoise) 结婚, 他们有三个孩子和五个孙辈。

\*[michel.mayor@unige.ch](mailto:michel.mayor@unige.ch)