紫外亮星目录（CUBS）：利用混合 IUE-Kurucz 光谱开展紫外掩星测量、行星照明建模和全天图分析的策略

Michael A. Velez[1,2,*], Kurt D. Retherford[2,1], Vincent Hue[3], Joshua A. Kammer[2], Tracy M. Becker[2,1], G. Randall Gladstone[2,1], Michael W. Davis[2], Thomas K. Greathouse[2], Philippa M. Molyneux[2], Shawn M. Brooks[3], Ujjwal Raut[2,1], Maarten H. Versteeg[2]

[1]德克萨斯大学圣安东尼奥分校物理与天文学系，美国德克萨斯州圣安东尼奥市 UTSA Circle 1号，邮编 78249[2]西南研究院，美国德克萨斯州圣安东尼奥市 Culebra Road 6220号，邮编 78238[3]马赛天体物理实验室，法国马赛 Frédéric Joliot Curie 街38号，邮编 13013[4]喷气推进实验室，加州理工学院，美国加利福尼亚州帕萨迪纳市 Oak Grove Drive 4800号，邮编 91109

摘要。紫外光谱学是一种强有力的方法，可通过反射率测量研究行星表面成分，并通过恒星/太阳掩星、其他行星天体的凌日，以及直接成像观测气辉和极光辐射来研究大气成分。欧洲空间局的木星冰卫星探测器（JUICE）和美国国家航空航天局的 Europa Clipper 任务搭载的新一代紫外光谱仪（UVS），将在 2030 年代初对木星及其卫星开展此类测量。本文介绍一份经过汇编的详细紫外恒星目录，名为 CUBS，其中收录了在 50–210 nm 波长范围内强度较高、适用于行星光谱学研究的目标。这些应用包括：1）规划和模拟掩星观测，包括校准测量；2）模拟主要由天空照亮的黑暗行星夜侧表面的星光照明；3）研究弥散银河系紫外光的起源，这类光已由 Juno-UVS 等仪器的数据集绘制成图。CUBS 收录了国际紫外探测器（IUE）目录和 SIMBAD 等资源中的信息。我们利用 Kurucz 模型，并在可用时结合 IUE 光谱，为近 90,000 个目标构建了分辨率为 0.1 nm 的模型光谱。CUBS 还包含对 Kurucz 模型与 IUE 数据一致性的可靠核查。我们还介绍了一种工具，可利用该目录筛选出最适合开展恒星掩星观测的候选目标，并可应用于任何紫外仪器。我们将报告构建 CUBS 所采用的方法，并讨论其在正在进行和即将开展的行星探测任务中的应用计划。

关键词：紫外光谱学、恒星目录、Europa-UVS、恒星掩星 **n**

1 引言

紫外光谱学是空间科学的重要工具。利用紫外亮星的光谱技术包括但不限于：用于大气研究的恒星掩星／近合观测、通过星光照明测量黑暗或阴影区域的表面，以及研究弥散紫外星系尘埃辐射。这些应用促使人们建立紫外亮星恒星目录，以便更轻松地规划和执行采用这些技术的观测。编制该目录的主要动机之一，是美国国家航空航天局即将开展的 Europa Clipper 任务[1]，。该任务将聚焦于木卫二这一木星第二近的伽利略卫星，开展具有变革意义的科学研究。欧罗巴紫外光谱仪（Europa-UVS）将开展一系列观测，包括上述观测，而这些观测需要了解紫外波段的恒星。此外，欧洲空间局的木星冰卫星探测任务（木星冰卫星探测器，JUICE）将搭载与 Europa-UVS 同代的紫外仪器 JUICE-UVS。JUICE-UVS 将探测木星系统及其卫星。

此前的太空任务已利用紫外光谱仪采用这些观测技术，而Europa-UVS是这一系列光谱仪中的最新成员，将完成对太阳系的重大紫外观测。欧洲空间局罗塞塔任务搭载的Alice仪器是

*michael.velez@contractor.swri.org

首台近距离研究彗星（67P/丘留莫夫-格拉西缅科彗星）的紫外光谱仪[2]。它利用恒星近掠观测研究彗星彗发中的H_2O和O_2 [3]。美国国家航空航天局新视野号任务搭载的Alice仪器是首个近距离研究冥王星、卡戎和阿罗科斯的仪器[4]。在飞往冥王星的途中，新视野号搭载的Alice还观测了木星大气层的恒星掩星，有助于约束甲烷、乙炔和乙烷等化合物的浓度[5]。在冥王星，新视野号搭载的Alice观测了冥王星大气层的太阳掩星和恒星掩星，并约束了氮气及碳氢化合物的剖面[6,7,8]。美国国家航空航天局LRO（月球勘测轨道器）上的LAMP（莱曼α测绘项目）仪器持续监测月球表面和大气层[9]。它的主要功能之一是利用星光照明而非阳光，分析月球表面的永久阴影区[10,11]。美国国家航空航天局朱诺号任务搭载的Juno-UVS研究木星的远紫外极光辐射[12]。值得注意的是，Juno-UVS已获取一幅紫外波段的完整全天光谱图，本研究将对此进行探讨[13,14]。即将搭载的Europa-UVS和JUICE-UVS仪器也都能够运用这些技术研究木星系统。其他重要的紫外仪器还包括卡西尼紫外成像光谱仪（紫外成像光谱仪）[15]，以及火星快车号搭载的SPICAM（火星大气特征研究光谱仪）Light紫外光谱仪[16]。卡西尼紫外成像光谱仪对土星[17,18]、土星环[19,20]以及土卫二的水蒸气羽流[21,22]进行了恒星掩星和太阳掩星观测。SPICAM利用对火星的恒星掩星测量，成功探测到火星上的分子氧[23]，并进一步证明远紫外观测有助于研究行星天体以及整个星系。

CUBS星表最初只是一个规模小得多的项目，包含1,000颗拥有国际紫外探测器（IUE）光谱的恒星。该星表最初用于为LAMP观测建立月球表面星光照明模型[11]（第3.2节），后来通过加入其他能够由Kurucz 模型良好表示的紫外亮星[11]，扩展到2,000颗恒星。另有一个单独的Juno-UVS恒星目标>500 光谱星表，这些目标是为进行仪器校准[14]而获取的；该星表提供了有价值的交叉比较（如本文所述），并发现了原始星表中遗漏的几个目标。本文将讨论创建该星表所采用的方法（第2节），确定该星表计划开展的三个直接应用（第3节），并总结本工作的结论，尤其是Kurucz 模型与观测结果相比的表现（第4节）。

2 方法

CUBS目前由近90,000颗O型（~5,000）、B型（~41,000）和A型（~42,000）恒星组成。CUBS的全部内容以电子表格和IDL保存文件的形式存在。星表电子表格包含从SIMBAD数据库[24]获取的每颗恒星的具体信息（在可获得的情况下）。这些数据包括：HD编号、通用标识符、赤经、赤纬、光谱型、恒星类型、B星等、V星等、自行（赤经和赤纬）、视向速度以及视差。所有数值量均包含其不确定度。IDL保存文件包含CUBS中每颗恒星在50–210 nm波长范围内的建模光谱通量密度（JUICE-UVS覆盖50–204 nm的范围，Europa-UVS类似地覆盖55–206 nm）。这些光谱通过两种不同方法生成：仅使用Kurucz 模型，或结合IUE数据与Kurucz 模型。

Kurucz 模型最初于1979[25]开发，并于1992[26]使用新数据进行了更新，同时改进了模型分辨率，例如增加了光学深度层的数量。更新后的

Kurucz 星表包含约 7600 个恒星大气模型，波长范围从 9 nm 到 160,000 nm，光谱分辨率为 1 nm，这有助于确保 CUBS 光谱适用于所有恒星类型。Castelli 和 Kurucz[27] 更新了恒星模型，加入了 140–160 nm 范围内的星际吸收等改进。为了构建光谱，我们使用每颗恒星的关键参数（例如恒星类型）来获取适用的有效温度，并将其作为 Kurucz 模型的输入。随后，我们将每颗恒星的 B 和 V 星等应用于光谱，使其发生红化，以反映从太阳系中观测到的情况。

在可用的情况下，这些 Kurucz 模型辅以 IUE 的观测数据。IUE 于1978年发射，用于观测紫外亮星，具体观测范围为 115 至 320 nm，光谱分辨率介于 0.02 nm 至 0.6 nm 之间[28]。在整个任务期间，IUE 观测了超过 100,000 个目标，其中约 1,800 个目标的光谱被认为足够可靠，可用于 Juno-UVS 校准，并且也用于我们的目录[14]。这些 IUE 光谱覆盖 116–196 nm 的波长范围，因此需要通过插值将 Kurucz 光谱归一化至 IUE数据，并将其附加到适用于紫外光谱仪的短波端（50–116 nm）和长波端（196–210 nm）波长区域，从而扩展至 CUBS 的完整范围。为模拟特定紫外仪器所测得的估计信号，可利用其有效面积曲线将恒星通量转换为仪器响应，即在计入通量损失后望远镜反射镜的有效面积。图1展示了木卫二-UVS 的通量光谱和仪器计数光谱示例。

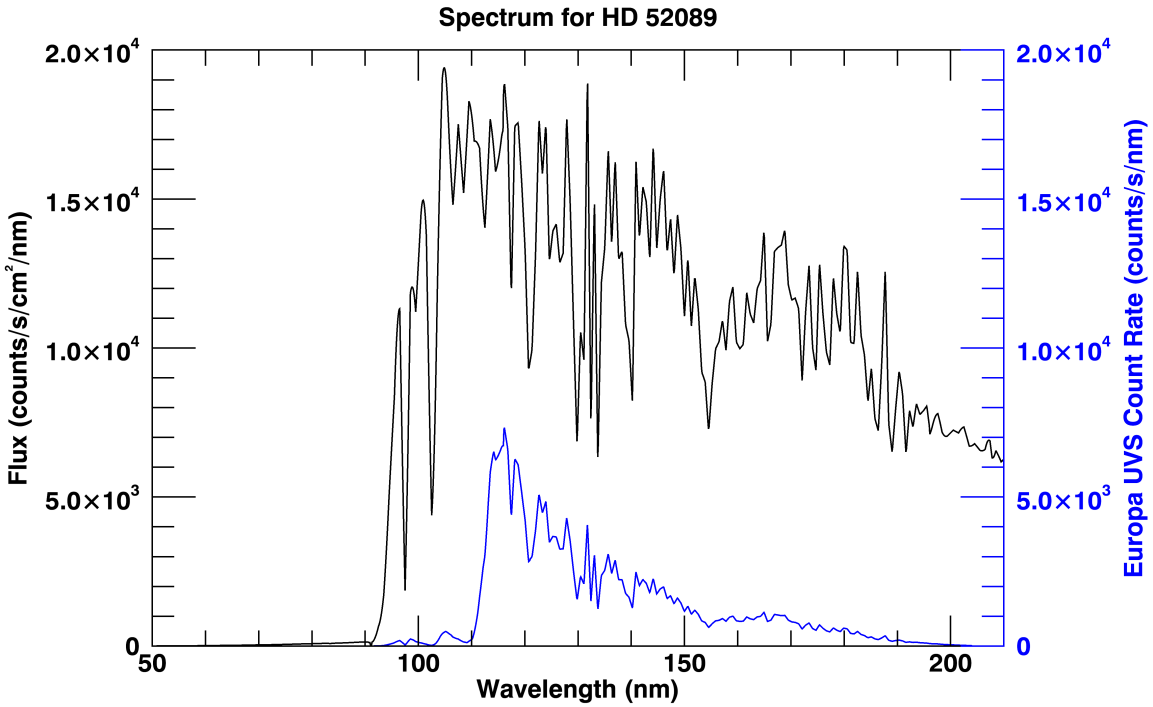


图 1 CUBS中的示例光谱，同时展示恒星的通量（黑色）和预计由Europa-UVS观测到的计数率（蓝色）。116–196 nm范围内使用IUE数据，50–116 nm和196–210 nm范围内使用Kurucz 模型。

将模型预测的恒星光谱与空间望远镜的紫外观测进行比较，可提高对这些模型的可信度，如图 2A 所示。该图展示了 IUE 光谱、Juno-UVS 光谱，以及与 Kurucz 光谱的比较图。图 2B 显示了在 130–175 nm 波长范围内 IUE 与 Kurucz 光谱之间相对差异（RD）的直方图。选择该范围是因为它对应于分子氧（O_2）吸收特征，而分子氧是木卫二等冰卫星上需要探测的重要大气成分。例如，此前 SPICAM 对火星进行的恒星掩星观测[23] 以及67P/丘留莫夫－格拉西缅克彗星的恒星近掠观测[3]中也曾探测到它。这些相对差异通过应用公式 1 计算得出，随后通过v公式 2 将其任意排序为从 0（最差）到 10（最佳）。

$$RD = \left|\frac{F_{IUE}-F_{Kurucz}}{F_{IUE}+F_{Kurucz}}\right| \quad (1)$$

$$Q_{RD} = 10 + \ln\left(\frac{RD_{Max}-RD}{RD_{Max}}\right) \quad (2)$$

在上述方程中，F_{IUE} 和 F_{Kurucz} 分别表示 IUE 数据和 Kurucz 数据在 130-175 nm 波长范围内的总通量。RD 表示相对差异，RD_{Max} 是数据集中最大的相对差异（为 22）。Q_{RD} 是 0-10 的排序质量，用作简化指标，以判断 IUE 星表与 Kurucz 模型的光谱是否匹配良好。目前，计划针对 Q_{RD} 较低的恒星逐一进行检查，以确定模型光谱与观测光谱之间存在差异的原因。

为确保 IUE 光谱的可靠性和质量，我们再次在所需的 130–175 nm 波长范围内，为 IUE 光谱的信噪比（SNR）单独创建了一项质量评级指标。图 2C 展示了所考察恒星分布的信噪比质量评级直方图。为了使用公式 3 为这项额外的 Q_{SNR} 指标设定从 0（最差）到 10（最佳）的任意质量评级，我们将 SNR_{Max} 设为 31。请注意，图 2C 中呈现的双峰分布是由 IUE 提供的两种色散模式造成的。CUBS 使用的 1800 个 IUE 恒星目标均有这些质量评估，其余仅采用 Kurucz 模型的目标则没有。这些评估目前也仅针对 130–175 nm 波长范围，因此对于更短或更长的波长，可能不够可靠。

$$Q_{SNR} = 10 + \ln\left(\frac{SNR}{SNR_{Max}}\right) \quad (3)$$

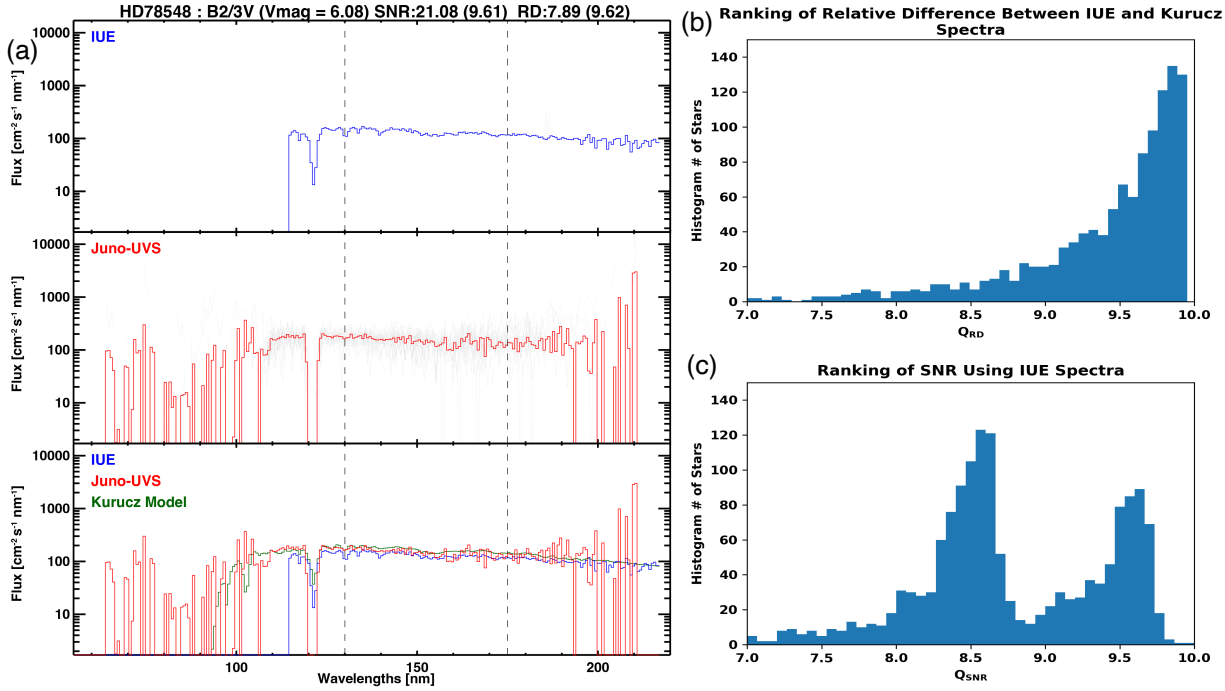


图 2 (a) HD 78548 的 IUE（蓝色）、Juno-UVS（红色）和 Kurucz（绿色）光谱对比。灰线表示 IUE 和 Juno-UVS 的全部数据，彩色线表示平均值。虚线表示用于计算置信因子的 130 nm 至 175 nm 截止范围。这是众多示例之一，展示了 Kurucz 模型在构建 CUBS 光谱方面的有效性。(b) CUBS 中所有 IUE 恒星的质量评级直方图 [0,10]，评级基于 130–175 nm 范围内 IUE 光谱与 Kurucz 光谱之间的相对差异（RD）。(c) CUBS 中所有 IUE 恒星的质量评级直方图 [0,10]，评级基于 130–175 nm 范围内 IUE 光谱的信噪比。

3 计划中的应用

3.1 恒星掩星

CUBS 的一项主要预期用途，是对 Europa-UVS 和木星冰卫星探测器-UVS 将观测到的恒星掩星观测进行建模，这些观测可提供大量与大气研究相关的信息。恒星掩星是指观测到的背景恒星从目标天体后方经过。如果恒星经过目标天体附近，但始终没有从其固体表面后方经过，这种观测称为恒星近掠，仍可用于约束天体边缘上方的大气成分。当星光穿过目标天体的大气层时，观测到的光谱会在大气层中各组分对应的波长处呈现吸收特征，我们将其称为“吸收谷”。吸收特征的深度最终反映了特定化合物的丰度，这一丰度可持续监测，直至恒星被固体表面完全遮挡。利用各组分的吸收截面，可以分析这些数据，直接获取天体表面上方不同高度处的大气成分信息。此外，根据信号被完全遮挡的时间，掩星观测还可用于获取目标天体地形形状的天体测量信息，计划在木卫二上开展此类观测

由 Europa-UVS[29]完成。这一方法已成功用于约束太阳系内小行星的大小，例如特洛伊小行星 Patroclus 和 Menoetius[30]。
这些掩星事件时机关键，需要提前规划。为了最大限度地发挥其作用，可以在对可安排的事件进行排序时设定一个质量因子。对于 Europa Clipper 这类将环绕木星运行并近距离飞掠木卫二的航天器而言，考虑到 CUBS 收录了近 90,000 个目标，在整个任务期间有许多候选目标可用于掩星测量。设定半定量质量因子，能够有效确定任务期间哪些恒星最适合作为目标。

为了构建质量因子，我们首先利用相关仪器测得的有效面积，将 CUBS 恒星通量光谱转换为仪器计数率光谱。在本研究中，我们考虑 Europa-UVS 和木星冰卫星探测器-UVS 的有效面积。接下来，我们选取一个对应于 O_2 吸收的带内区域，范围为 130–175 nm。虽然 H_2O 和其他几种预期物种具有可探测的紫外吸收特征（图 3），但由于 O_2 的丰度相对较高（参考文献），预计它是最容易在木卫二大气中进行全球测量的物种，因此最适合用于设定判断观测是否有用的最低标准。为计划开展的固体表面形状天体测量表征而进行的其他观测，将采用更宽松的最低有用性标准，即所有波长处的信号均完全衰减。对于 O_2 带内范围，可利用目录中给出的未掩星带内计数率 ($R_{On,}$) 确定计数率 (R_{On})，两者之间的关系如下:

$$r = \frac{On\text{-}band\ occultation\ Count\ Rate}{On\text{-}band\ baseline\ Count\ Rate} = \frac{R_{On}}{R_{On_0}} \tag{4}$$

可重新排列为:

$$R_{On} = R_{On_0} * r \tag{5}$$

其中，r 是恒星光穿过大气层的透射率。已知 R_{On} 后，我们可以使用公式 6 计算此范围内的预期总计数（C_{On}）。

$$C_{On} = R_{On} * t_{int} \tag{6}$$

其中，t_{int} 指掩星的积分时间，即恒星光被目标大气层在其尺度高度范围内掩蔽的时间。该时间可使用公式 7 计算。

$$t_{int} = \frac{H}{v_{los}} \tag{7}$$

H 表示大气层的尺度高度；对于木卫二，我们将一般大气层的尺度高度设为 50 km，将羽流区域的尺度高度设为 30 km。大气层的尺度高度定义为压力降低一个指数因子[31]所对应的距离。速度项 v_{los} 与投影到木卫二天空平面上的恒星角视线速度有关。我们还可以计算 C_{On_0}（公式 8），它表示未发生掩星的恒星在带内波长区域中的总计数，可作为光变曲线的基线（即随时间变化的测量信号）。

$$C_{On_0} = R_{On_0} * t_{baseline} \tag{8}$$

用于获取这些初始计数的基线时间（$t_{baseline}$）是指在木卫二上空 400 km 以上所花费的时间。名义上的目标是获得 10 分钟的基线时间，但只要某一时间段能够使整个光变曲线达到 SNR > 3，就足够了。确定计数后，便可根据典型示例模型大气确定信号中预期的下降幅度，具体说明见本节后文。该信号下降幅度使用公式 9 计算

$$d = 1 - r \tag{9}$$

其中，d 指的是掩星期间光变曲线中前述吸收特征的“凹陷”。随后按照公式 10 对该凹陷进行误差传播，以确定其不确定度。

$$\sigma_d = \sigma_r = r\sqrt{(\frac{\sigma_{R_{On}}}{R_{On}})^2 + (\frac{\sigma_{R_{On_0}}}{R_{On_0}})^2} = r\sqrt{(\frac{\sqrt{C_{On}}}{C_{On}})^2 + (\frac{\sqrt{C_{On_0}}}{C_{On_0}})^2} = r\sqrt{\frac{1}{C_{On}} + \frac{1}{C_{On_0}}} \tag{10}$$

公式 8 中得到的不确定度（s_d）随后用于计算该凹陷的信噪比，如公式 11 所示。

$$SNR_d = \frac{d}{\sigma_d} = \frac{d}{r\sqrt{\frac{1}{C_{On}} + \frac{1}{C_{On,0}}}} \tag{11}$$

总的来说，根据目标科学目的，吸收判据分为 3 种不同情形。第一种是一般大气层情形：我们将 O_2 吸收特征设定为计数率下降 10%，并采用 50 km 的尺度高度。第二种是羽流主导区域情形：吸收设定为 50% 的凹陷，尺度高度设为 30 km，以代表羽流喷出物可能占主导的高度范围。最后一种情形是月球后方被完全遮挡，此时光透射率为零；该情形将用于天体测量。在这种情况下，尺度高度设为 100 m，计数率在整个波长范围内测量，而不仅限于带内，因为它与成分无关。图 3 展示了木卫二大气层吸收的一个示例，使用的模型比初始质量因子所需的模型更为复杂；一旦利用我们的质量因子确定了范围更窄的候选目标列表，就可以采用该模型。

光谱中的其他信号包括木卫二圆面反射率、气辉发射以及辐射诱发的探测器噪声。后者很容易从我们的信号中扣除，但会增加额外的不确定度。对于亮度高于木卫二圆面反射率的恒星，这种噪声校正基本可以忽略。例如，

$$\sigma_{C_{On}} = \sqrt{\frac{1}{C_{On}} + Noise^2} \tag{12}$$

信噪比$_d$ 提供一个质量因子，用于对恒星掩星的主观质量进行分级：“非常好”“好”“一般”或“差”。这些等级分别对应信噪比>100、10-100、3-10 和 <3。使用半定量质量因子确定类别后，还可以采用其他主观标准来提高或降低某次掩星的等级。这些标准取决于具体任务的目标和具体情况。例如，Europa-UVS 采用以下标准，且这些标准可能会随着任务推进而变化。

- 满足全球位置和时间覆盖需求
- 经过候选羽流位置

- 此前曾由 Europa-UVS 观测
- 拥有 IUE 或其他已知光谱，而不仅仅是模型
- 通量变化较小，和/或天体测量等参数的精度较高
- 强调极紫外（< 115 nm）探测能力以及对其他物种的灵敏度
- 一对事件、同时出现两条弦（连接入掩和出掩位置，用于天体测量计算），或靠近另一颗紫外亮星
- 航天器附近背景辐射水平较低的时段
- 沿着 Clipper 的视线轨迹，以便更好地进行原位（MASPEX + SUDA）比较
- 与雷达（REASON）地面轨迹对齐，以获得最佳天体测量相关性
- 与高相位角边缘羽流搜索位置的图像（EIS）重合
- 极光亮度相对较低，会影响信噪比处于临界水平的情况
- 与木星冰卫星探测器的探测活动时间接近
- 与 JUICE-UVS 的掩星观测时间接近

目前，木卫二 Europa-UVS 规划团队正在采用这一流程；只要掌握仪器的有效面积以及任务寿命期间确定的一组航天器轨迹，该流程便可复制应用于任何其他紫外任务/仪器（包括 JUICE-UVS 的规划）。

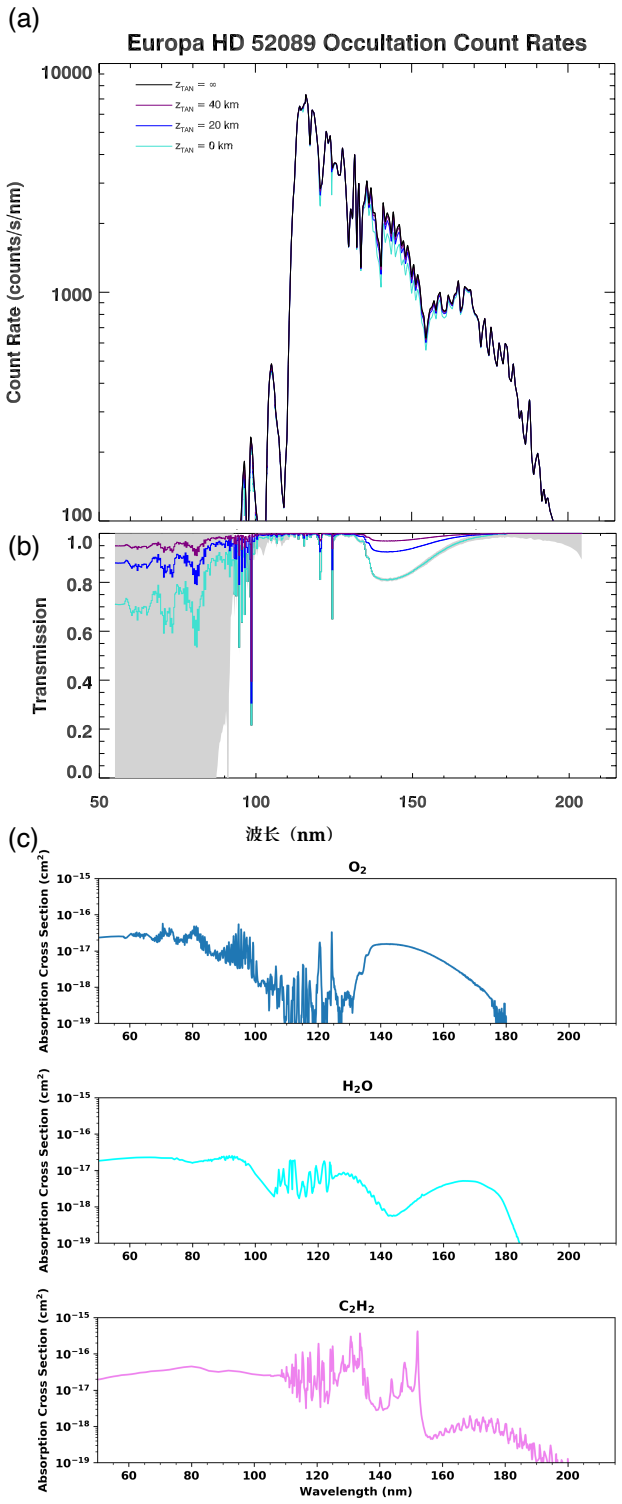


图 3 示例：（a）恒星 HD 52089 的恒星掩星光谱和（b）透射光谱，展示了随着恒星从观测航天器的参考系看来逐渐接近表面（高度 $Z_{TAN} = 0$ km），恒星信号如何在与木卫二大气模型组成相关的特定波长处强度减弱。灰色区域表示透射光谱的 1σ 不确定性。（c）当前模型所采用的木卫二大气中关键组分的吸收截面（O_2, H_2O 和 C_2H_2）。

3.2 星光照明建模

CUBS 的下一项预定用途涉及星光照明建模，这使得研究各种无大气太阳系天体的表面反射率成为可能。这项工作通过使用紫外光谱仪观测目标的夜侧表面来开展，此时太阳没有为其提供背景光。因此，照射表面的唯一光源来自紫外亮星和其他背景源（背景天空、木星光、卫星光），所以紫外光谱仪观测到的任何反射率都是所有这些弥散背景照明源共同作用的结果。随后可以在特定波长处分析反射率，以表征表面成分和微观物理结构（例如压实度/孔隙度），这与昼侧日照成像类似。

这种方法曾使用该星表的早期版本在月球上进行验证，用于研究月球的永久阴影区（PSRs）以及月球夜侧，所使用的仪器是美国国家航空航天局的 LRO 上搭载的 LAMP[10,11]。Byron 等人[11] 使用 Kurucz 模型扩展了最初的基于 IUE 的星表，并根据 Juno-UVS 对这些延展源的观测结果[13]，将大麦哲伦云和小麦哲伦云作为紫外照明源加入其中。他们利用 LRO LAMP 进行的夜间观测创建亮度图，然后除以星表预测的入射星光照明，从而生成月球阿蒙森陨石坑的远紫外反照率图。这些观测结果对于确定陨石坑内部永久阴影区的反照率低于周围区域非常重要，并使他们能够估算月壤的孔隙度。当前进一步扩展后的星表能够更准确地表示参与夜侧表面照明的背景恒星。我们计划在建模 Europa、Ganymede 和 Callisto 夜侧表面所接收的恒星光、行星际莱曼α、氦气辉以及木星-光照明时，使用 CUBS；这些表面将由 Europa-UVS 和 JUICE-UVS 观测。

3.3 银河系紫外天空图

CUBS 的另一项预期用途是研究弥散的银河系紫外尘埃辐射。通过利用恒星的赤经和赤纬及其通量，按位置标出每颗恒星，我们可以制作紫外全天图。我们首先在 115–210 nm 范围内进行积分，以覆盖远紫外（FUV）波段；随后在 50–115 nm 范围内进行积分，以覆盖极紫外（EUV）波段（图 4）。沿银道面进行一定程度的平滑处理后，我们将根据光谱模型得到的图直接与 Juno-UVS[12] 和其他紫外仪器生成的图进行比较。通过比较观测结果与我们建模得到的全天图，我们发现，CUBS 能够可靠地表示星系中存在的恒星及其通量。然而，Juno-UVS 观测到了一种明显的辉光，尤其是在银道面附近；仅利用所包含的恒星无法对其进行完整建模，这表明还存在其他紫外源（例如来自背景紫外恒星的尘埃散射光）。这种未建模的辉光需要进一步研究，而 CUBS 将有助于从恒星成分中分离出尘埃辉光。基于 IUE 星表源开展的类似测光模拟已应用于 GALEX 数据集，以同样分离非恒星源[32]。

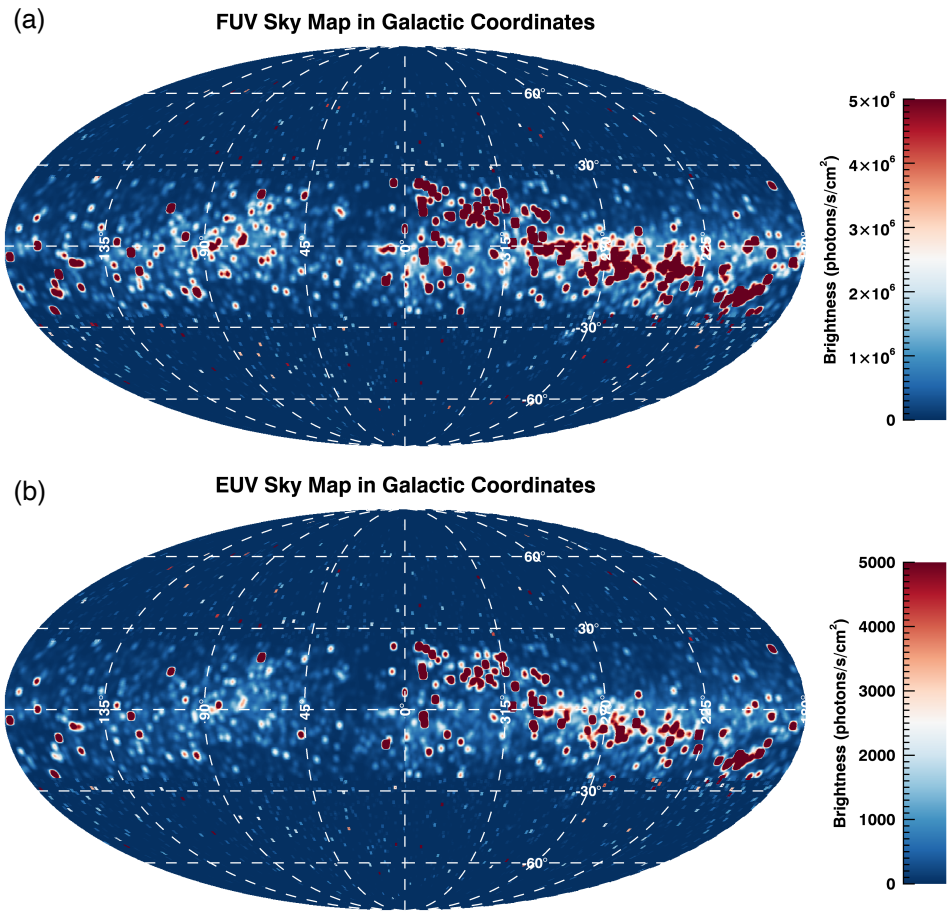


图 4 (a) 使用 CUBS 绘制的 115–210 nm 远紫外天图。(b) 积分范围为 50–115 nm 的极紫外天图。

4 结论

像本文所介绍的这样一个可靠的紫外恒星目录，可以为开展利用紫外亮星的紫外光谱研究的人员提供极其宝贵的资源。CUBS 结合 Kurucz 模型和可用的 IUE 光谱创建而成。对于拥有可用 IUE 光谱的恒星，我们将 Kurucz 光谱与 IUE 光谱进行比较，以评估 Kurucz 模型的有效性。我们还将这些光谱与 Juno-UVS 标定中可用的光谱进行比较，从而进一步检验 Kurucz 模型的可信度。我们发现它们之间具有高度一致性，这表明这些模型对于观测规划而言足够可靠。本文还讨论了 CUBS 的三种可能应用：

1. 规划并模拟恒星掩星 2. 模拟主要由背景天空照亮的黑暗的行星夜侧表面
3. 探究先前紫外数据集所暗示的弥散银河系紫外光的起源

恒星掩星是研究太阳系中大气成分及其结构的重要工具。星光照明建模对于分析行星表面

在其他光线昏暗区域的表面成分至关重要。未来需要开展紫外天空图调查，以了解构成星系辉光的弥散成分的全部范围。文中还介绍了几种计划用途，以支持即将开展的 Europa Clipper 和木星冰卫星探测任务的紫外研究。

致谢

本研究是在提交至2022年SPIE天文望远镜与仪器会议的SPIE会议论文集论文基础上扩展而成[33]，并由美国国家航空航天局通过欧罗巴快船号项目提供支持。

参考文献

1. S. M. Howell 和 R. T. Pappalardo，“美国国家航空航天局 Europa Clipper——前往潜在宜居海洋世界的任务”，《自然·通讯》11，1311（2020）。2. S. A. Stern 等人，“Alice：罗塞塔号紫外成像光谱仪”，《空间科学评论》128，507-527（2007）。3. B. A. Keeney 等人，“由罗塞塔号上的 Alice 远紫外光谱仪测量的丘留莫夫-格拉西缅科彗星（67P）彗发中的 H_2O 和 O_2 吸收”，《皇家天文学会月刊》469，S158-S177（2017）。4. S. A. Stern 等人，“ALICE：新视野号冥王星—柯伊伯带任务搭载的紫外成像光谱仪”，《空间科学评论》140，155-187（2008）。5. T. K. Greathouse 等人，“新视野号 Alice 对木星大气层恒星掩星的紫外观测”，《伊卡洛斯》208，293-305（2010）。6. J. A. Kammer 等人，“新视野号对冥王星大气层紫外恒星掩星和近掠事件的观测”，《天体物理学杂志》159，26（2020）。7. G. R. Gladstone 等人，“新视野号观测到的冥王星大气层”，《科学》351，1280（2016）。8. L. A. Young 等人，“来自新视野号太阳紫外掩星的冥王星大气层结构与成分”，《伊卡洛斯》300，174-199（2018）。9. G. R. Gladstone 等人，“LAMP：美国国家航空航天局月球勘测轨道器任务上的莱曼α测绘项目”，《空间科学评论》150，161-181（2010）。10. G. R. Gladstone 等人，“月球永久阴影区的远紫外反射特性”，《地球物理研究杂志》117（2012）。11. B. D. Byron 等人，“空间风化和孔隙度对阿蒙森陨石坑远紫外反射率的影响”，《地球物理研究杂志》124，823-836（2019）。12. G. R. Gladstone 等人，“美国国家航空航天局朱诺号任务上的紫外光谱仪”，《空间科学评论》213，447-473（2017）。13. V. Hue 等人，“朱诺号紫外光谱仪（Juno- UVS）的在轨表征与定标”，《天文期刊》157，90（2019）。14. V. Hue 等人，“朱诺号紫外光谱仪的更新辐射定标和波长定标”，《天文望远镜、仪器与系统杂志》7，4（2021）。15. L. W. Esposito 等人，“卡西尼号紫外成像光谱仪”，《空间科学评论》115，299-361（2004）。16. J.-L. Bertaux 等人，“利用火星快车号上的 SPICAM 对火星大气层从顶到底进行研究”，《行星与空间科学》48，1303-1320（2000）。17. T. T. Koskinen 等人，“通过卡西尼号紫外成像光谱仪太阳掩星观测获得的土星外逸层底附近密度和温度结构”，《伊卡洛斯》226，1318-1330（2013）。18. T. T. Koskinen 等人，“卡西尼号/紫外成像光谱仪掩星观测到的土星可变热层”，《伊卡洛斯》260，174-189（2015）。

19. J. E. Colwell 等人，“卡西尼号紫外成像光谱仪对土星环的恒星掩星观测”，《天文期刊》140，1569（2010）。 20. T. M. Becker 等人，“卡西尼号紫外成像光谱仪对土星 F环的太阳掩星观测及碰撞产生的微米级尘埃的探测”，《伊卡洛斯》306，171-199（2018）。 21. M. H. Burger 等人，“了解水从土卫二逃逸的过程”，《地球物理研究杂志》112（2007）。 22. C. J. Hansen 等人，“土卫二羽流的成分与结构”，《地球物理研究快报》38（2011）。 23. B. R. Sandel 等人，“通过 SPICAM 恒星掩星观测获得的火星 O_2 高度剖面”，《伊卡洛斯》252，154 160 2015（ ）。 24. M. Wenger 等人，“SIMBAD 天文数据库：CDS 天体参考数据库”，《天文学与天体物理学增刊》143，9–22（2000）。 25. R. L. Kurucz，“G、F、A、B和O型恒星的模型大气”，《天体物理学杂志增刊》40，1- 340（1979）。 26. R. L. Kurucz，“用于星族合成的模型大气”，《星系恒星族群》149，225- 232（1992）。 27. F. Castelli 和 R. L. Kurucz，“ATLAS9 模型大气的新网格”，载于《恒星大气建模》210，A20（2003）。 28. A. Boggess 等人，“IUE 航天器及其仪器设备”，《自然》275，372–377（1978年）。 29. J. N. H. Abrahams 等人，“利用恒星掩星改进对木卫二长波长地形的测定”，《地球与空间科学》8（2021）。 30. M. W. Buie 等人，“通过双小行星木星特洛伊天体 Patroclus 和 Menoetius 的恒星掩星观测确定其大小和形状”，《天文期刊》149，113
剑桥
的恒
天文学与天体物理学》596，A49（2016）。
33.
SPI
181（2022）

Michael Velez 目前正在西南研究院/德克萨斯大学圣安东尼奥分校空间物理与仪器联合研究生项目就读第四年。Michael 还担任欧罗巴快船任务的研究生附属成员。他目前的研究主题包括：建立用于紫外研究的恒星目录；利用哈勃太空望远镜（HST）分析木卫二的光学辐射；以及利用 HST 远紫外数据测定木卫二的分子氢含量。