下一阶段：基于机器人望远镜的观测体验，助力全美范围内 STEM 入学人数与专业选择人数增长：第一年报告

Daniel E. Reichart、Joshua Haislip、Vladimir Kouprianov、Ruide Fu、[illegible]gjie Xu

北卡罗来纳大学教堂山分校，物理与天文学系，Campus Box 3255，Chapel Hill, NC 27599-3255

John Torian、Jonathan Keohane

汉普登-悉尼学院，物理与天文学系，Hampden-Sydney, VA 23943

Daryl Janzen

加拿大萨斯喀彻温省萨斯卡通市科学广场116号，萨斯喀彻温大学物理与工程物理

大卫·莫菲特

南卡罗来纳州格林维尔市29613邮区，弗曼大学物理系

斯坦利·康弗斯

北卡罗来纳州罗利市路易斯堡路6600号，韦克技术社区学院数学与物理系，邮编 27616

摘要。我们获得了美国国防部（DoD）国家国防教育计划（NDEP）300万美元拨款，正在全国范围内开发并推广“我们的太空家园！”（Our Place In Space!，简称 OPIS!）的后续课程。每年有≈3,500名修读入门级天文学课程的学生使用我们的全球“Skynet”机器人望远镜网络。这套新课程名为“多波段宇宙天文摄影！”（Astrophotography of the Multi-Wavelength Universe!，简称 MWU!），旨在增加选择 STEM 专业的学生人数。第一年，参与项目的教育工作者已开发 MWU! 的第2和第4模块（现已重新编号），并正在开发其第3和第7模块（共7个模块）。软件方面也取得了扎实进展：（1）我们开发了新的绘图／分析／建模界面，以支持模块2和4，并回应参与项目的教育工作者提出的反馈；（2）我们正在为 Afterglow Access（AgA）增添天文摄影功能。AgA 是一款面向学生、基于网络的图像处理与分析应用程序，旨在支持模块1—3和5—7。硬件方面，首批四个信号处理单元的开发正按计划推进；这些单元是 Skynet 整合全球射电望远镜网络的关键，该网络将能够探索不可见的宇宙。此外，我们也为评估和无障碍工作做好了准备，以便在2023年春季推出首批 MWU! 模块时开展相关工作。

2 Reichart

1. 项目概述

过去二十年间，北卡罗来纳大学教堂山分校建成了全球规模最大的两大全自动化（即机器人）望远镜网络之一，显著推动了这项新技术的发展。这些望远镜既用于前沿研究，也用于前沿教育。在美国国家科学基金会（NSF）一系列大型项目的资助下，（1）我们开发了独特的、面向学生的观测和图像分析界面，让各个年龄段的学生都能与专业人士并肩使用这一全球分布的研究工具；（2）我们经常与专业教育工作者和教育研究人员合作，开发了一系列以观测为基础的课程和体验，充分利用这些硬件与软件资源，覆盖从小学到研究生阶段的教育，巩固并加强 STEM 人才培养管道。目前，我们获得了美国国防部国家国防教育计划（DoD NDEP）的资助，正在开发一套主要面向本科生的新课程，目标群体是在决定主修或辅修专业的学生。这套课程名为“多波段宇宙！”（The Multi-Wavelength Universe!，简称 MWU!），将利用我们迄今最成功的两项教育项目 [1,2], ，最终力求在全国范围内显著提升 STEM 专业的招生人数以及 STEM 主修和辅修人数，同时增强学生的技术能力和研究技能。

2. 课程

我们的参与者计划于 9/30/21 开始，即奖励开始后 15 天。目前有 26 名教育工作者正在参与；大多数是参与机构的教职员工。教育工作者分为两组，每组每周开会。

每组负责制作“多波长宇宙的天体摄影！”或 MWU! 课程的 7 个模块中的 3 – 4 个，并与他们的学生一起试用。我们目前正在试用课程的第 2 和第 4 个模块，并正在积极开发 3rd 和 7th 模块：

2.1. 模块 2

在本模块中，学生分组协作，每组使用 Skynet 获取一个或多个星团的图像，每个星团至少使用三种可见光波长成像。根据这些图像，他们测量每颗可探测恒星的亮度，并对测量值进行校准。随后，他们利用这些数据绘制赫罗图，并将等龄线模型拟合到数据中，以确定星团的年龄（见图 1 和图 2）。最后，他们将多波长图像合成为一张深色彩图像（见图 3），并直观地理解恒星群体的年龄与颜色之间的关系。模块 2 的当前版本可在此处找到：

https://openpress.usask.ca/skynet/chapter/hr-diagrams/

2.2. 模块 3

在本模块中，学生将分组合作，每组使用 Skynet 分别拍摄两张深空（高信噪比）彩色图像，呈现恒星的诞生和死亡。拍摄时，他们将像在模块 2 中那样使用红、绿、蓝滤镜，也会使用宽带和窄带滤镜。拍摄恒星诞生时，他们将为一个恒星形成区成像，重点关注其中的发射星云、反射星云和／或暗星云（见图 4）。拍摄恒星死亡时，他们将为一团“行星状”星云（见图 5）或超新星遗迹成像，重点关注来自氢、氧和／或硫的窄带发射。学生还将学习如何利用档案数据补充图像，主要是红外波段的数据，例如由搭载在太空中的美国国家航空航天局天文台获取的数据。

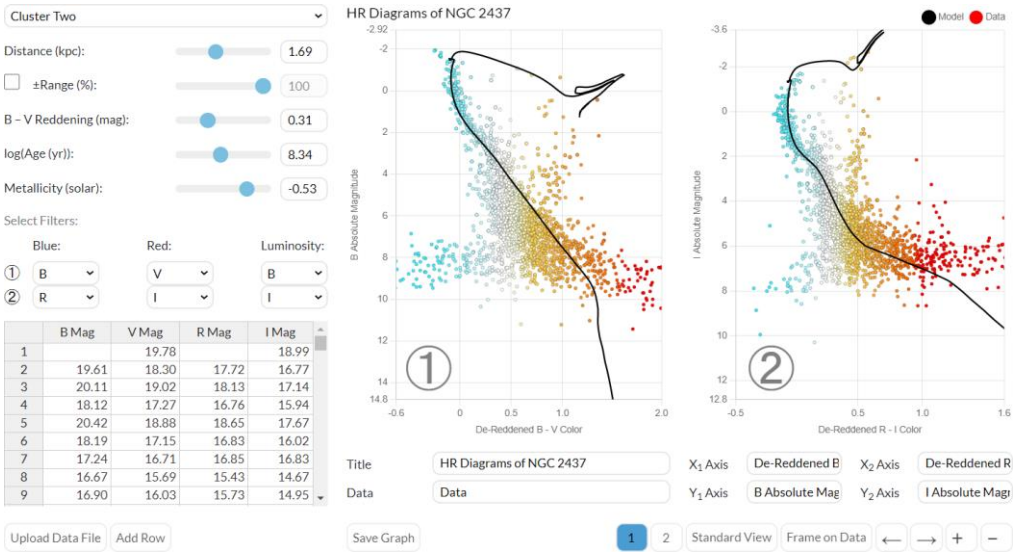


图1. 疏散星团M46的赫罗图，其中恒星的亮度和颜色是使用 Afterglow Access（AgA；见下文“软件”）从图3测量得出，并通过我们的“星团二号”界面进行分析的。由于图像中有大量无关的场星，等龄线建模可能颇具挑战。

该小组一直专注于本模块中的天文摄影部分，试用这些活动并编写“操作指南”。不过，他们现在正转而开发本模块中更具定量性和物理性的部分。他们的目标是在春季完成这项工作，并编写一本类似于模块2和4所用手册的手册。

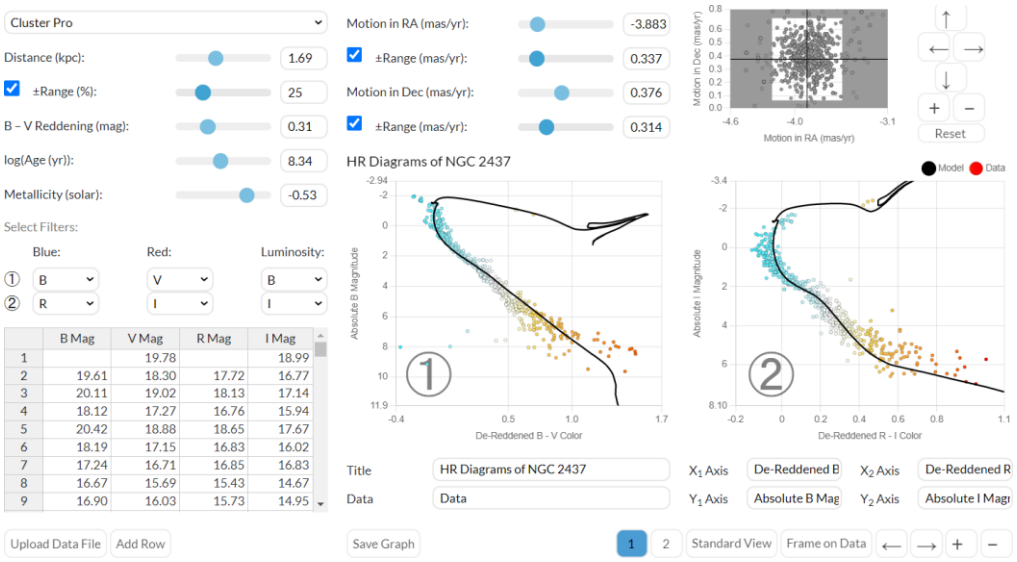
2.3. 模块4

在本模块中，学生使用 Skynet 在射电波段观测多种明亮、周期较长的脉冲星，以此了解非热连续谱辐射机制。有些脉冲星足够明亮，可以看到单个脉冲；另一些则淹没在噪声中，需要通过确定脉冲星的周期，并按此周期折叠数据来提取信号，从而降低噪声。通过校准并对这些周期折叠数据中的正交偏振通道作差，学生可以证明这种辐射是偏

4 Reichart

振的，因此属于非热辐射（见图6–8）。当前版本的模块4可在此处找到：

https://openpress.usask.ca/skynet/chapter/radio-observations-of-pulsars/



	B Mag	V Mag	R Mag	I Mag
1		19.78		18.99
2	19.61	18.30	17.72	16.77
3	20.11	19.02	18.13	17.14
4	18.12	17.27	16.76	15.94
5	20.42	18.88	18.65	17.67
6	18.19	17.15	16.83	16.02
7	17.24	16.71	16.85	16.83
8	16.67	15.69	15.43	14.67
9	16.90	16.03	15.73	14.95

图 2. 与图 1 中相同的数据，但借助我们全新的“Cluster Pro”界面，学生现在可以根据恒星彼此间共同的距离和自行，快速筛选并查看星团中的恒星。上传文件时，系统会自动与天文学领域的 Gaia 数据库进行交叉匹配，从而添加这些信息。随后，通过等时线建模，可以清晰地看出这个星团已有 ≈250 百万年历史。

2.4. 模块 7

在本模块中，学生将分组合作，每组使用 Skynet，按照模块2中的方法，利用红、绿、蓝滤镜拍摄至少两个星系的深空彩色图像，同时也会像模块3那样使用宽带和窄带滤镜以及档案红外数据。首先，他们将拍摄一个旋涡星系和/或星暴星系，其中的光主要来自较年轻、颜色较蓝的恒星（模块2）、粉红色的恒星形成区域（恒星形成率，模块3）和暗淡的尘埃云（模块3；见图9），以及无线电光谱中冷氢气体产生的谱线发射。其次，他们将拍摄一个活跃的椭圆星系。这类星系主要由年龄较大、颜色较红的恒星构成（模块2），不含恒星形成率、尘埃和冷氢气体。然而，活跃的椭圆星系正处于与另一个星系相互作用并将其吸收的过程中；被吸收的星系为其中心的超大质量黑洞提供物质，并产生发射无线电波的喷流（学生还将使用 Skynet 的射电望远镜拍摄这些喷流，从而重新运用他们在模块5中学到的内容）。这类天体展示了星系如何演化，其内容也足够丰富，因此将作为 MWU! 的顶点项目，综合运用多个 MWU! 模块中培养的技能。



图 3. 使用 Skynet 位于托洛洛山美洲际天文台（CTIO）的 PROMPT-6 望远镜拍摄的梅西耶 46 RGB 合成图。所有处理工作，包括天体摄影部分，均使用 AgA 完成。在模块 2 中，学生将学习：（1）如何对齐和叠加图像，并去除坏像素和宇宙射线；（2）RGB 合成，使用天文目录校准各图层，以呈现自然色彩，至少达到从地球上观察时的效果；（3）如何校正各图层中由视线方向上尘埃造成的红化，以还原目标本身的自然色彩；（4）如何对图像进行“拉伸”，同时展现图像暗部和亮部的细节。

该小组一直专注于本模块中的天文摄影部分，试行相关活动并编写“操作指南”。不过，他们现在正转而开发本模块中更具定量性和物理学性质的内容。目标是在春季完成这项工作，并编写一本类似于模块2和4所用手册的指南。



图4。梅西耶16的LRGB+NB+IR合成图像，使用Skynet在CTIO的PROMPT-6和PROMPT-7望远镜拍摄，并辅以档案红外数据。所有处理均使用AgA完成。图中，年轻炽热的恒星（右上方）使周围气体电离；随后气体复合，发射出Hα （粉色）、[O III]（蓝绿色）和[S II]（红色）谱线。这些恒星还会加热周围的尘埃云，而炽热气体正推动着这些尘埃云；因此尘埃会在红外波段重新辐射。图中还加入了来自美国国家航空航天局斯皮策太空望远镜的数据，以橙色（8微米）和紫色（24微米）表示。最后，这些尘埃也会遮蔽可见光波段的恒星，但不会遮蔽红外波段的恒星；图中以蓝色（2.2微米）表示，这些数据来自地基2MASS巡天。学生将学习：（1）如何使用宽带亮度层，以增强图像中的宽带恒星成分，或削弱该成分以突出窄带气体成分；（2）如何添加窄带层以突出气体成分；以及（3）如何查找并添加档案红外图层，以突出尘埃成分以及被尘埃遮蔽的恒星。学生还将利用图像中的信息，估算电离区内以及周围尘埃云中的气体温度和密度。

3. 软件

第一年最迫切的软件需求，是开发教育工作者编写模块2和4所需的绘图/分析/建模界面。这些界面目前正由他们的学生试用（图1、2、6、7和8）。我们

决定将这些界面加入我们此前为“我们的太空家园！”（OPIS!）开发的界面集合中。OPIS! 是 MWU! 的先导课程：https://tinyurl.com/skynet-graph。

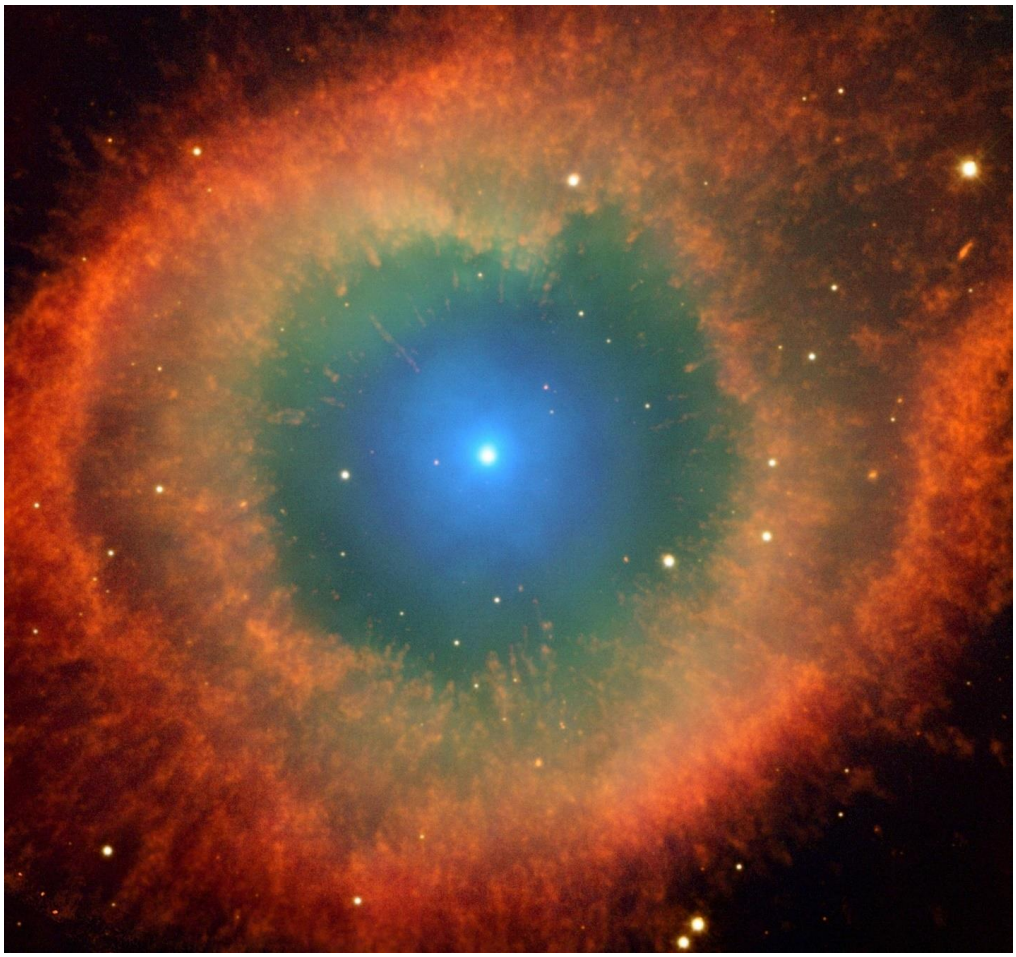


图 5. 行星状星云 NGC 7293 的 LRGB+NB+IR 合成图，使用 CTIO 的 Skynet PROMPT-6 望远镜拍摄，并辅以档案红外数据。所有处理均使用 AgA 完成。图中恒星颜色保持自然，但通过亮度层降低了其突出程度，以突出图像中的窄带 Hα（红色）和 [O III]（蓝绿色）层，这些层强调了气体成分。图像还强调了尘埃成分，使用了美国国家航空航天局 Spitzer 的存档红外层（8.0 微米，橙色）和

这些界面根据教育工作者的反馈进行了大幅改进，他们开发的模块内容（见上文“课程”）也随之演进。改进包括：添加第二张不同波长的赫罗图，以更好地约束等时线模型（Cluster Two，图 1）；将学生收集的 Skynet 数据与天文学领域的盖亚星表进行交叉比对，以剔除前景恒星（Cluster Pro，图 2）；添加多个天文星表（盖亚、APASS、2MASS 和 WISE），使界面的功能超越学生仅凭 Skynet 数据所能实现的范围

（Cluster Pro Plus 即将发布）；以及为脉冲星界面添加声音化功能（图 8–10），这应能同时惠及低视力和视力正常的学生。

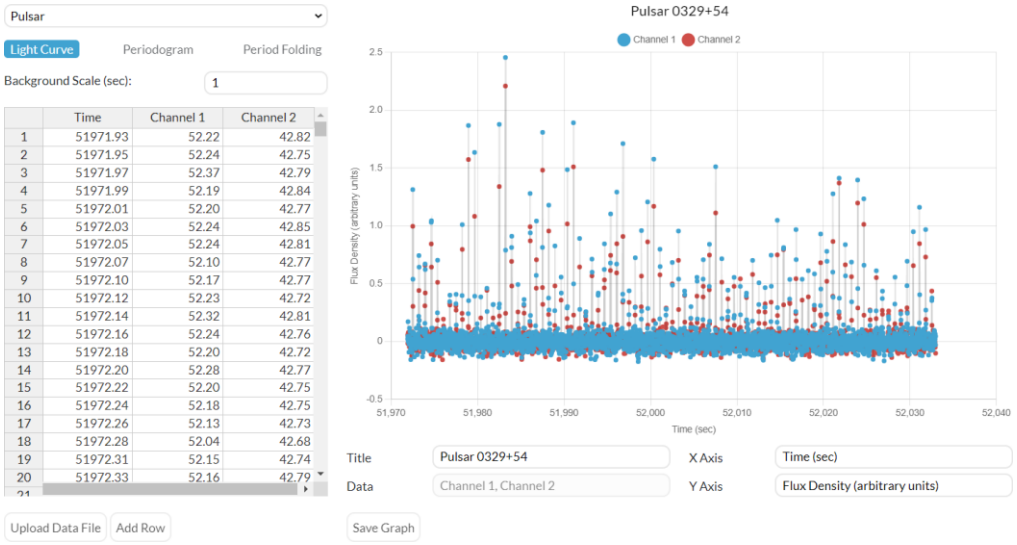


图6。使用 Skynet 在西弗吉尼亚州格林班克天文台的 20 米口径望远镜采集的明亮、缓慢脉冲星 0329+54 的一分钟数据。

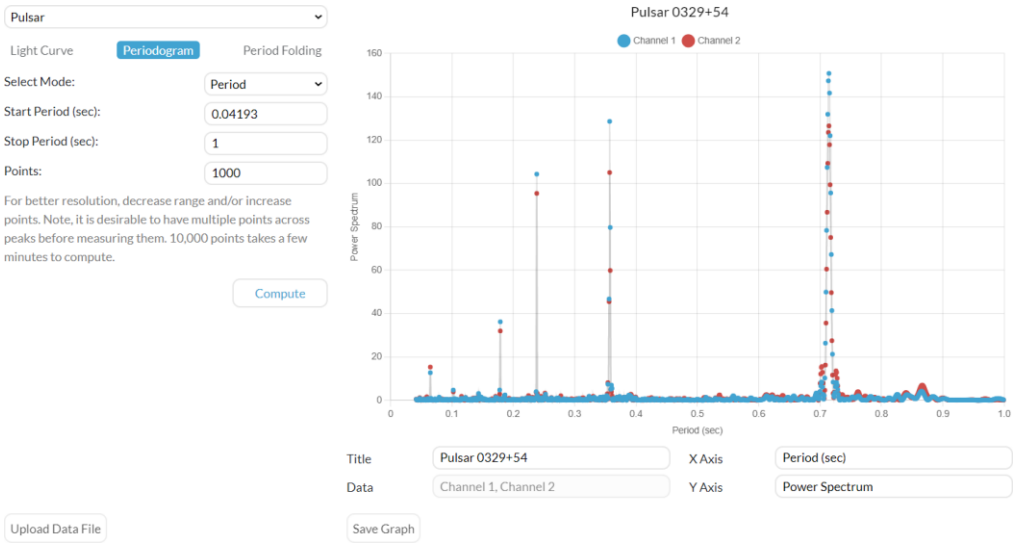


图7。使用 Lomb-Scargle 方法计算的图6数据周期图（类似于傅里叶变换，但适用于非均匀采样的数据）。这颗脉冲星每 0.7145 秒旋转一周。

虽然这些工具由本科生程序员开发，但 Skynet 的两名全职专业程序员还在其他方面持续推进工作。

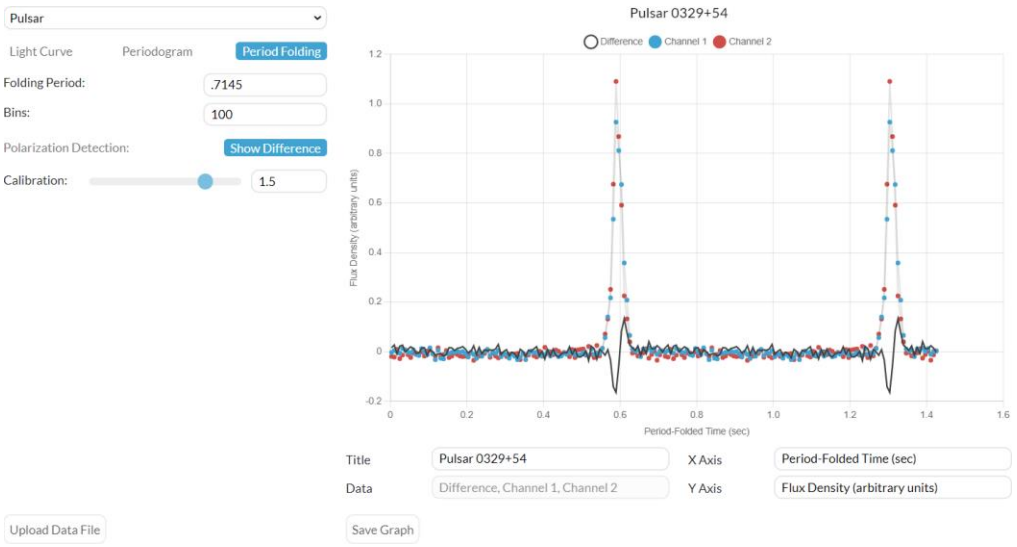


图8。对图7中的数据进行周期折叠。正交偏振通道之间存在非零差异，表明一个通道的脉冲领先于另一个通道，这展示了偏振和非热辐射（由电子沿旋转中子星的磁力线运动所产生）。

首先，他们改进了 Afterglow Access（AgA）——这是一款面向学生的网页端图像处理和分析应用程序，最初由美国国家科学基金会提供的超过 60 万美元资金支持开发——使学生不仅能够进行测光，还能对每幅图像中的数千颗恒星进行校准测光，并同时处理多幅图像。这是一项重要的工作；若没有这项改进，上文所述的模块2星团界面将毫无用处。

使用 AgA 的学生现在可以将测光测量与大量现代星表关联起来，不仅能够完成 MWU! 练习，还能使用同一款应用开展可发表的研究。为此，我们还添加了专业级测光功能和源提取算法。

第一年后半段，我们的软件开发工作主要集中在为 AgA 开发并添加天文摄影功能。除模块4外，所有模块都需要这些工具。

当然，现已有多种天文摄影软件包。不过，它们的学习曲线很陡（而且有些软件采用的方法，在物理原理上的直观性不如我们所希望的）。此外，我们的学生已经在 MWU! 的前身课程 OPIS! 中熟悉了 AgA，也会将 AgA 用于 MWU! 的其他环节。因此，我们一直在为 AgA 开发并添加适合学生使用的天文摄影功能。我们的目标是让学生仅用 ≈15% 的步骤／复杂度，就能达到相当于 ≈85% 的图像质量，例如达到有望被美国国家航空航天局的每日天文图片收录的水平。



图 9. NGC 253 的 LRGB+NB+IR 合成图，使用 Skynet 在 CTIO 的 PROMPT-6 望远镜拍摄，并辅以档案红外数据。所有图像处理均使用 AgA 完成。此处，只有在补偿了我们星系内部的尘埃（插图）以及 NGC 253 内部的尘埃（主图）之后，才能呈现自然色。使用 Hα 层（粉色）突出显示恒星形成率，并使用美国国家航空航天局斯皮策太空望远镜的档案红外数据（8.0 微米，橙色）突出显示暖尘埃。从暗色尘埃云，到粉色的恒星形成率，再到年轻的蓝色恒星，这一变化过程在每条旋臂中均清晰可见（并可用旋臂密度波来解释）。

参考文献

[1] Reichart, D. E. 2021年，ASP会议系列，531，233（arXiv 2103.09895）[2] Reichart, D. E. 2022年，ASP会议系列，533，104（arXiv 2202.09257）