

食双星的测光观测及分析虚拟仿真实验

实验步骤

本实验主要使用虚拟仿真的山东大学威海天文台 1 米光学望远镜及测光终端设备进行。实验根据培养目标和实验目的,设计了从认知学习到深度体验再到综合应用三个递进层级的“光学望远镜系统”、“测光观测”、“数据处理及分析”三部分内容,加共性操作共 48 个重要实验操作步骤,其中包括 20 个交互性操作步骤。操作步骤中既有先后顺序要求的操作步骤,也有实验者自由探索发挥的实验步骤,还有交互性极强的实验步骤。实验过程既要按照主要设计的层级顺序执行,又可以根据用户自身掌握情况进行自由跳转,整个实验用丰富的内容、详细深度体验的步骤让学习者掌握光学测光观测及数据处理分析重要技能,详细操作步骤如下:

一、 公共性操作步骤 (共 11 步, 以下步骤没有顺序)

步骤 1: 注册用户并登陆

用户提供注册信息进行注册,注册成功后登录使用,登录使用可实现用户的后续很多管理功能。其中用户类型有管理员、教师、学生不同类型,不同类型的用户具有不同的操作使用权限和不同的管理功能,评审专家可以通过专家入口直接进入实验。

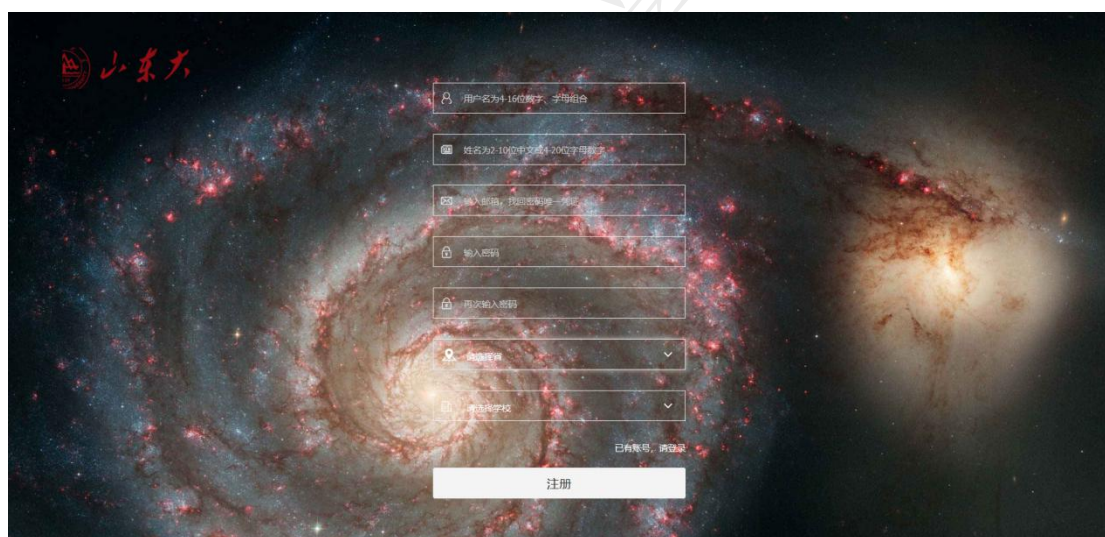


图 1 用户注册界面

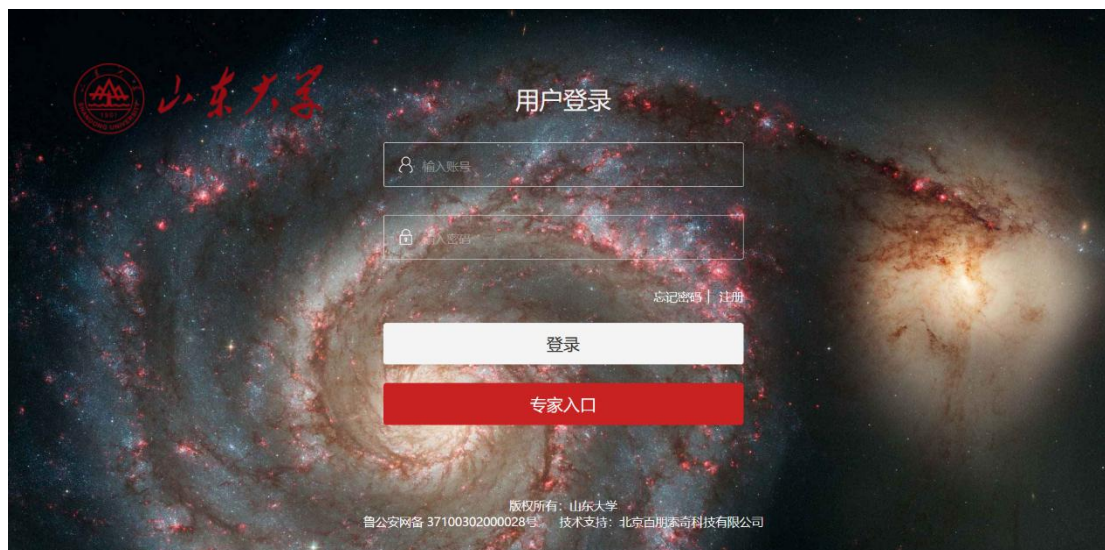


图 2 用户登录窗口

步骤 2: 天文台外景漫游

进入实验室前，实验者可以漫游天文台外景，实验者按下“Tab”键可对天文台外景进行漫游，熟悉天文台及天文圆顶的建筑结构，使用键盘的“W”“S”“A”“D”键可以控制实验者向前、后、左、右四个方向移动，也可以使用四个方向键进行移动，同时使用“鼠标右键”控制视角的方向，实验过程中的手动漫游均可使用相同的操作方式，按下“Q”键结束外景漫游。



图 3 天文台漫游操作

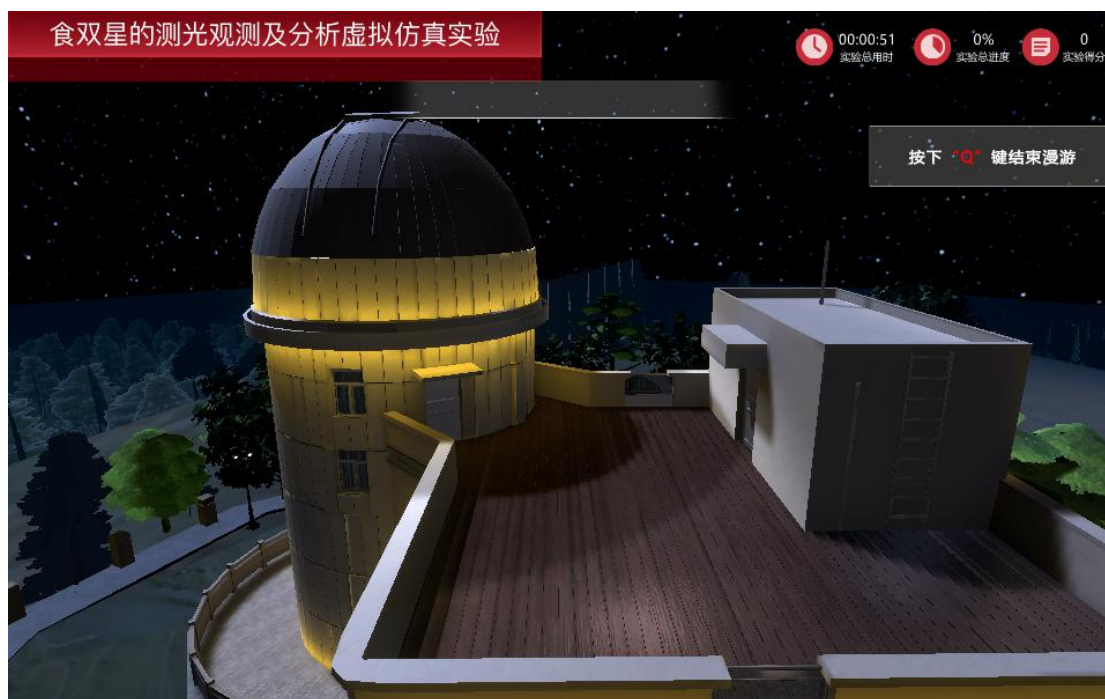


图 4 漫游中视角示例

步骤 3: 查看提示并进入实验

实验者查看天文台外景的提示，可以点击提示右上角关闭标示关闭提示，查看完成后可进入实验。本实验按照教学目标和实验流程，需要先完成“光学望远镜系统”的认知学习，然后才能进行“测光观测”进行深度体验，最后才能进入“数据处理及分析”对观测获取的数据进行处理，并应用处理结果进行分析。前面部分的实验未完成的话后面的实验流程不能解锁无法进入，一旦进入后面的实验流程，如果对前面的实验流程还不熟悉，可以在“实验进度”按钮跳动时点击“重做”对之前的实验过程进行再次重做，或者通过“返回首页”进入保存进度的已解锁实验内容。



图 5 进入实验

步骤 4: 实验室内移动

实验者可以选择“自动寻路”或者“自由漫步”两种操作方式在实验室内移动。“自由漫步”的操作方式与天文台外景漫游的操作方式相同，用户可以自由、随意地观测看山东大学威海天文台实验室及其中的设备，系统设计了引导箭头带领用户进入目的地。对自由漫步操作有困难的用户建议选择“自动寻路”操作方式，系统将自动将用户带入目的地。在后续实验过程中需要用户移动实验位置场景时均采用以上相同的操作方式进行。



图 6 实验室内移动方式选择

步骤 5: “返回首页”操作

在实验过程中，实验者可以通过点击右侧菜单栏的“返回首页”跳转至首页。实验系统将提示实验者是否进行实验进度保存，点击“是”则保存进度，这样下次进入实验时可以从上次已完成的实验过程继续实验；点击“否”则不保存实验进度，下次进入实验时只能从头开始实验。返回首页后，若实验者已解锁相关实验，则可由首页进入相应实验过程。



图 7 返回首页按钮

步骤 6: “实验指南”学习



图 8 实验指南按钮

在实验过程中，实验者可以通过点击右侧菜单栏的“操作指南”，点击后将打开新窗口显示该部分相关实验原理、流程及操作的更多提示，建议实验者要认真查看和学习实验指南的

内容。

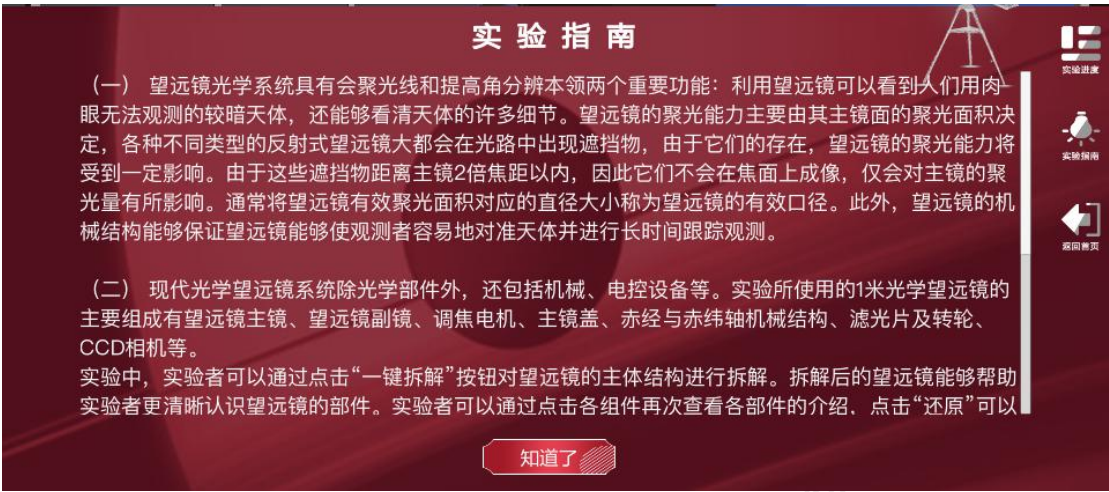


图 9 实验指南示例

步骤 7: “实验进度”查看



图 10 实验进度按钮

在实验过程中，实验者可以通过点击右侧菜单栏的“实验进度”查看各部分实验进展情况。



图 11 实验进度展示示意

步骤 8: “重做”实验操作

实验者在实验过程中，若想重做本层级部分之前已经完成的相关实验，待“实验进度”跳动时，可以在弹出的窗口中选择相关实验内容进行重做。若已进入下一层级的实验，则需通

过点击“返回首页”并保存进度，重新进入相关层级部分进行重做。



图 12 重做示意

步骤 9：讲解声音控制

实验过程中，讲解声音可以通过点击“”与“”实现讲解声音的关闭及打开。讲解声音默认情况是打开。

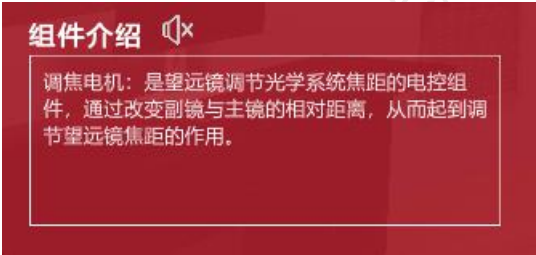


图 13 声音关闭后的图标展示

步骤 10：“了解更多”操作

在实验过程中，实验者可以通过点击窗口中的“了解更多”，可以打开新窗口实现相关知识的深入和拓展学习，建议实验者学习相关知识。

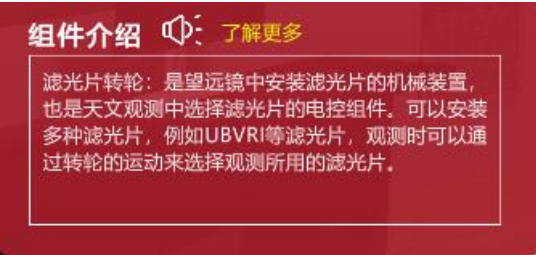


图 14 “了解更多”图标展示

步骤 11：随机题库对相关知识点的考核

实验根据知识点设计了随机选择题题库，通过知识点的巩固练习，实验者更可深入掌握望远镜相关知识，相关知识可以在实验提示、“了解更多”、“实验指南”中进行学习。点击答案前的圆圈可选择答案，巩固练习题目超出屏幕高度，请使用鼠标滚轮查看下方未显示题目，完成答题后点提交可提交作答的考核题，同时记录实验成绩并给出答错题目正确答案的提示。后面的所有考核操作方式相同，后面将不再说明。下图展示了随机题库不同考核时给出的题目示例。

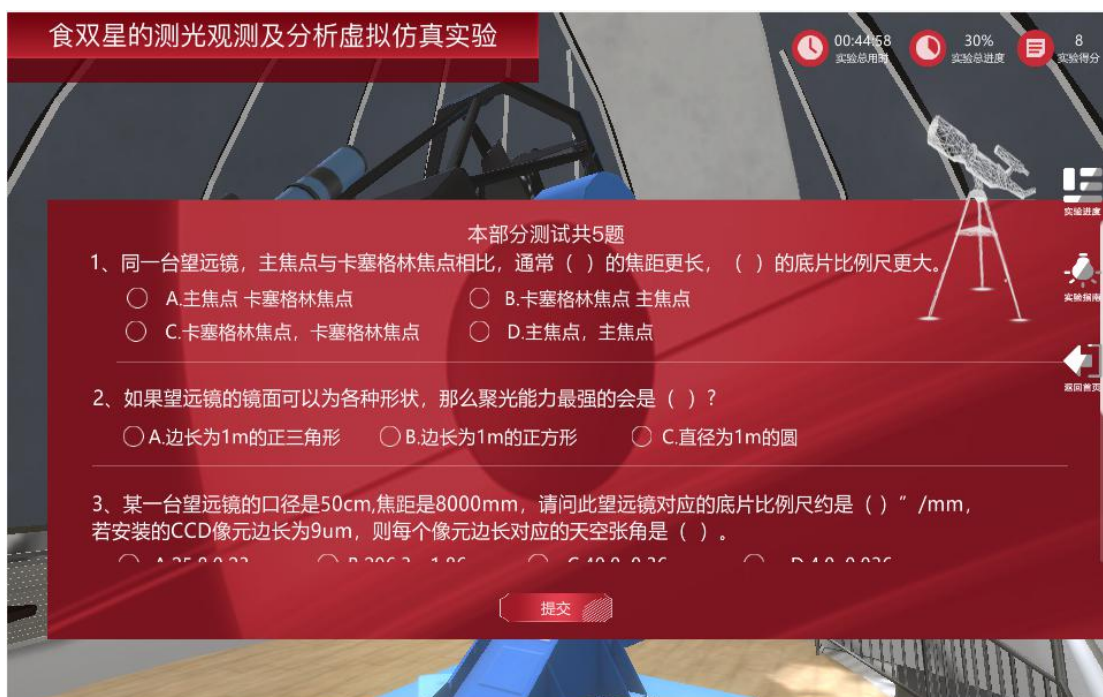


图 15 随机题库考核示例 1



图 16 随机题库考核示例 2

二、 认知学习层级的“光学望远镜系统”实验步骤（共 5 步）

步骤 1：进入天文台圆顶，学习实验安全操作须知，以保障实验设备及人员安全，了解望远镜的主要技术参数，学习了解本实验所用主要仪器设备———山东大学威海天文台 1 米望远镜的主要指标参数。

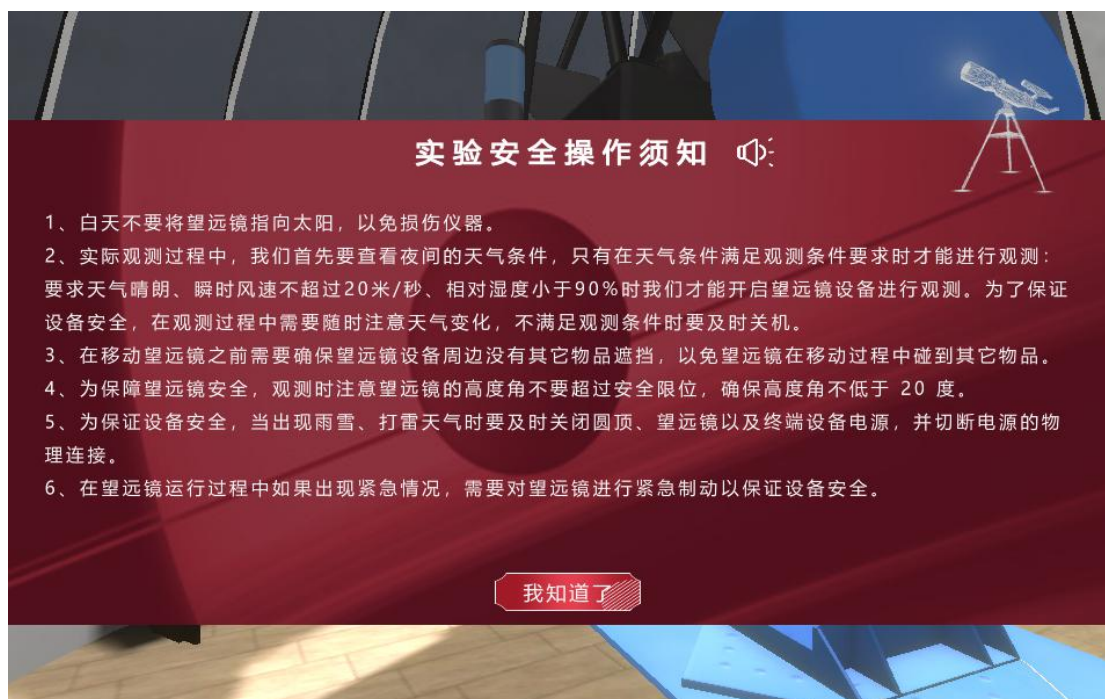


图 17 实验安全操作须知

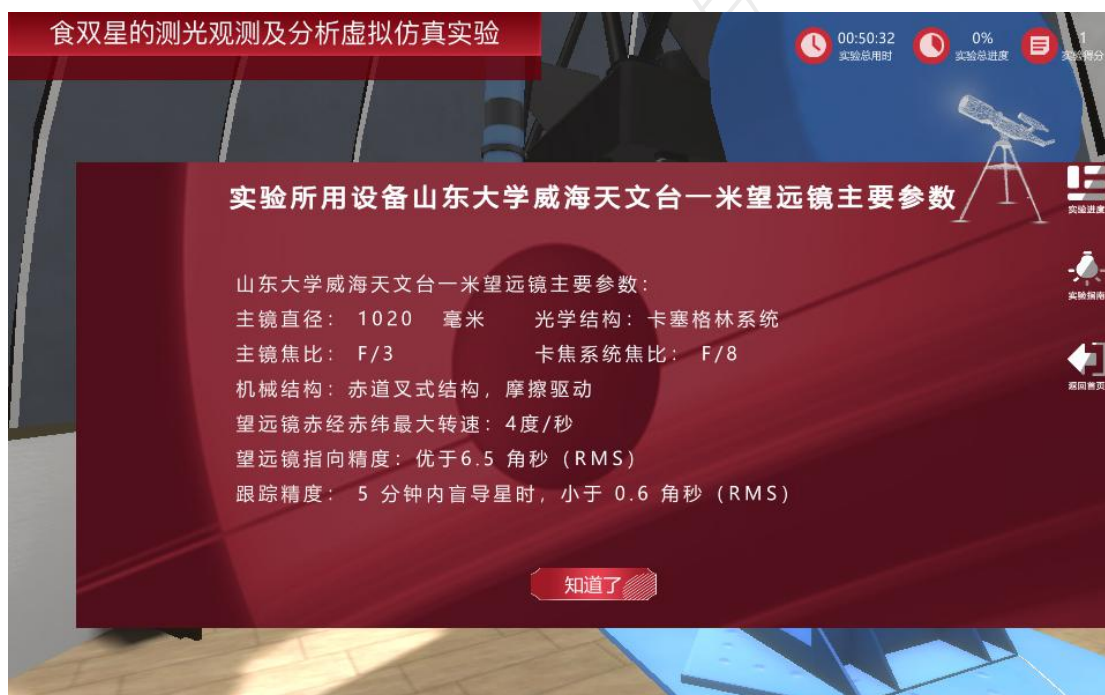


图 18 一米望远镜主要参数

步骤 2：学习望远镜工作原理。

学习了解本实验所用望远镜的光学设计及工作原理，点击“了解更多”可以进一步学习光学望远镜的不同光学系统光路，学习望远镜的不同机械结构。

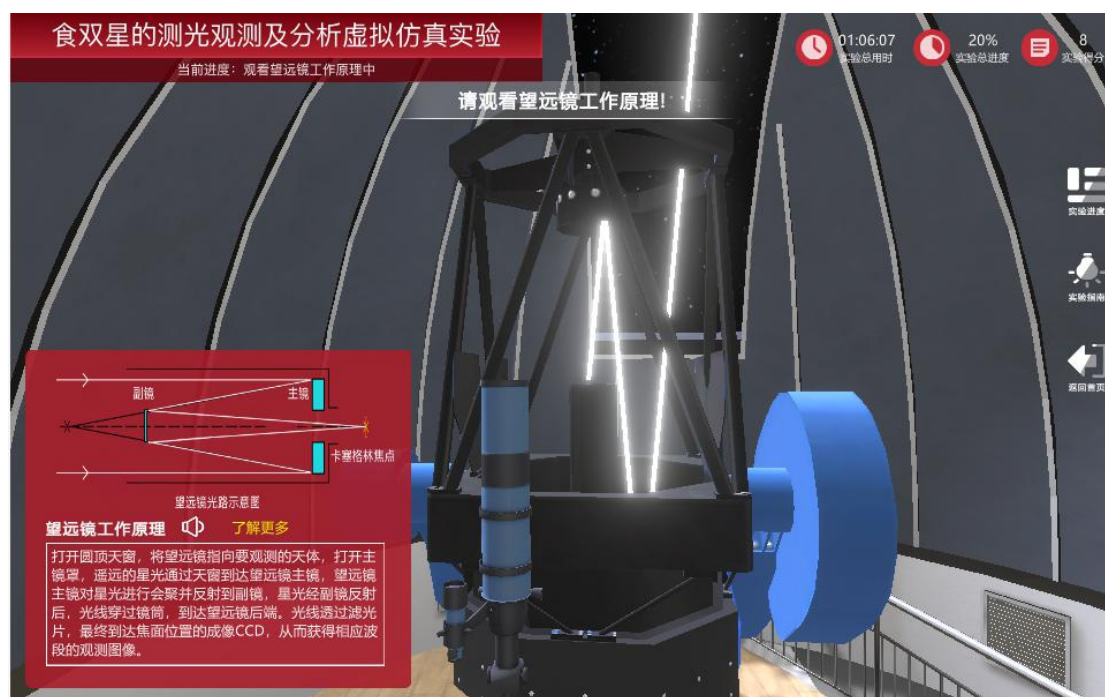


图 19 望远镜工作原理

步骤 3: 学习望远镜重要组件。对望远镜的调焦电机、望远镜副镜、望远镜主镜、主镜盖、赤经轴、赤纬轴、滤光片转轮、CCD 相机进行学习。对于滤光片转轮、CCD 相机，点击“了解更多”可以进一步学习更多细节相关知识。按住鼠标右键移动鼠标可以控制各组件在空间内的旋转，通过鼠标滚轮可以对各组件进行缩放操作。

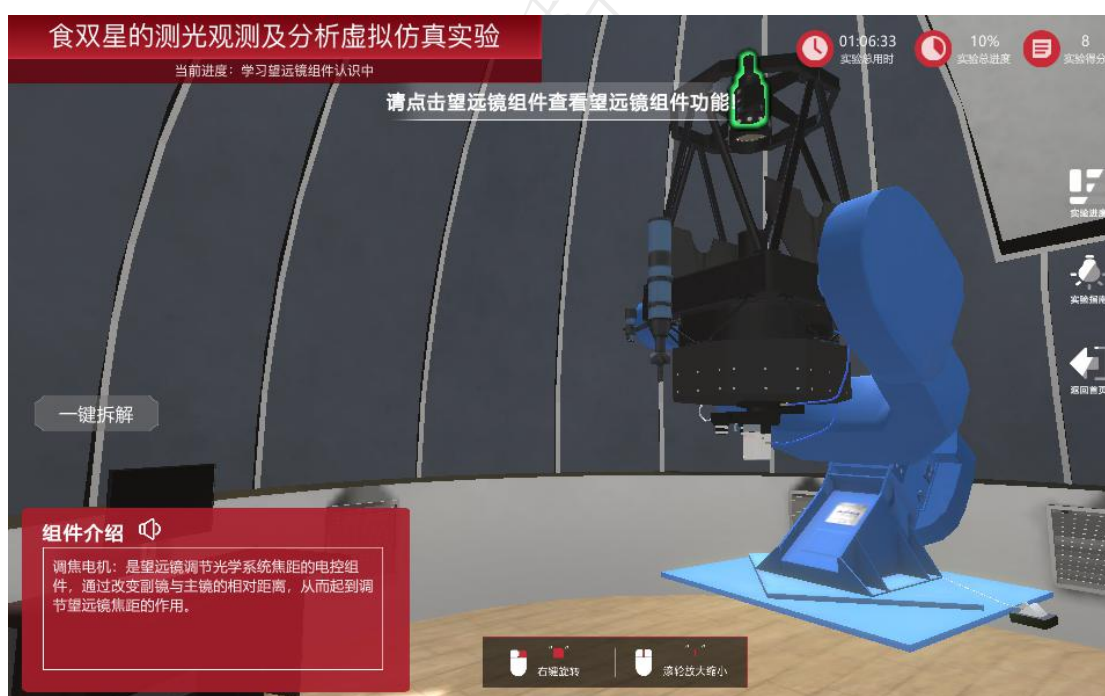


图 20 望远镜组件介绍—调焦电机



图 21 望远镜组件介绍-望远镜副镜



图 22 望远镜组件介绍-望远镜主镜

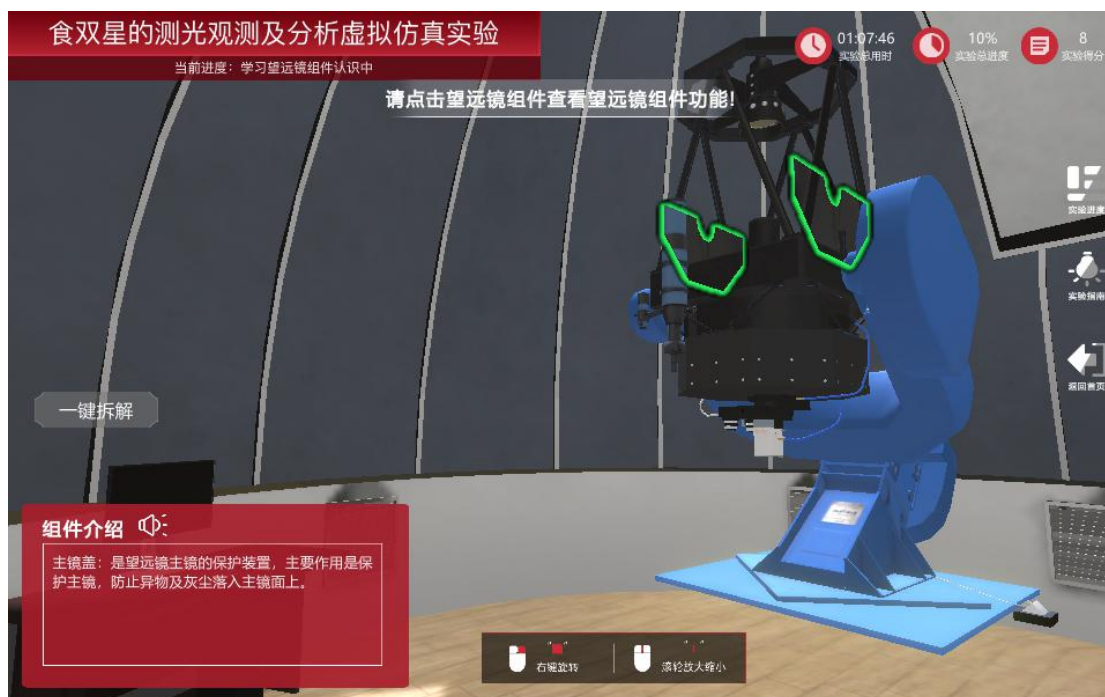


图 23 望远镜组件介绍-主镜盖

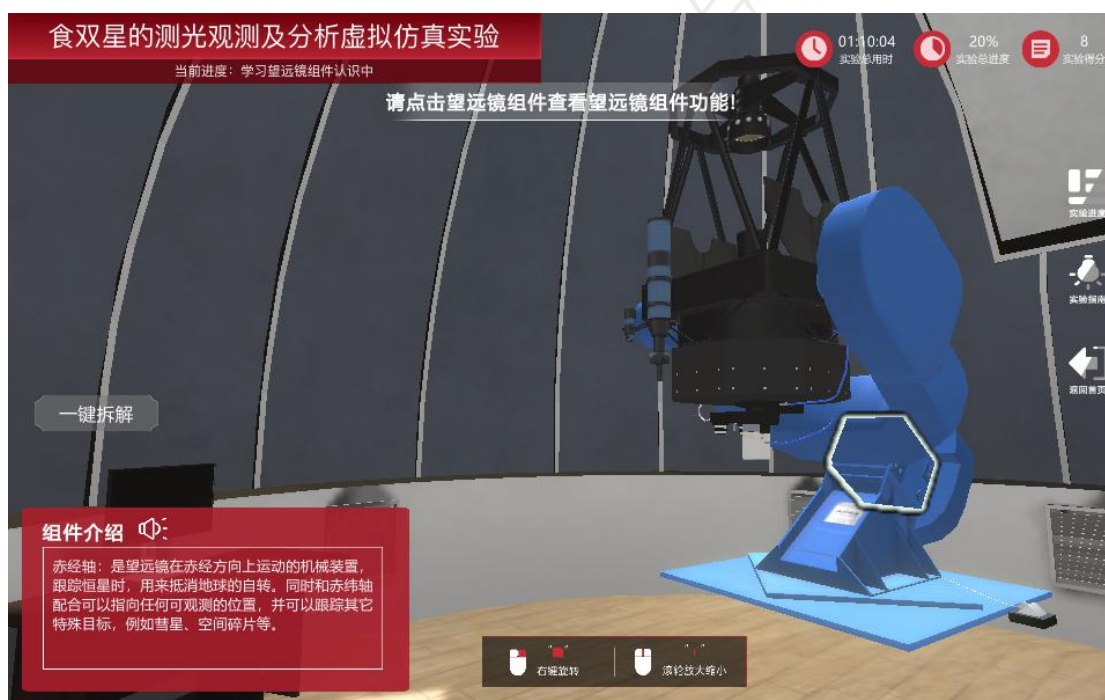


图 24 望远镜组件介绍-赤经轴

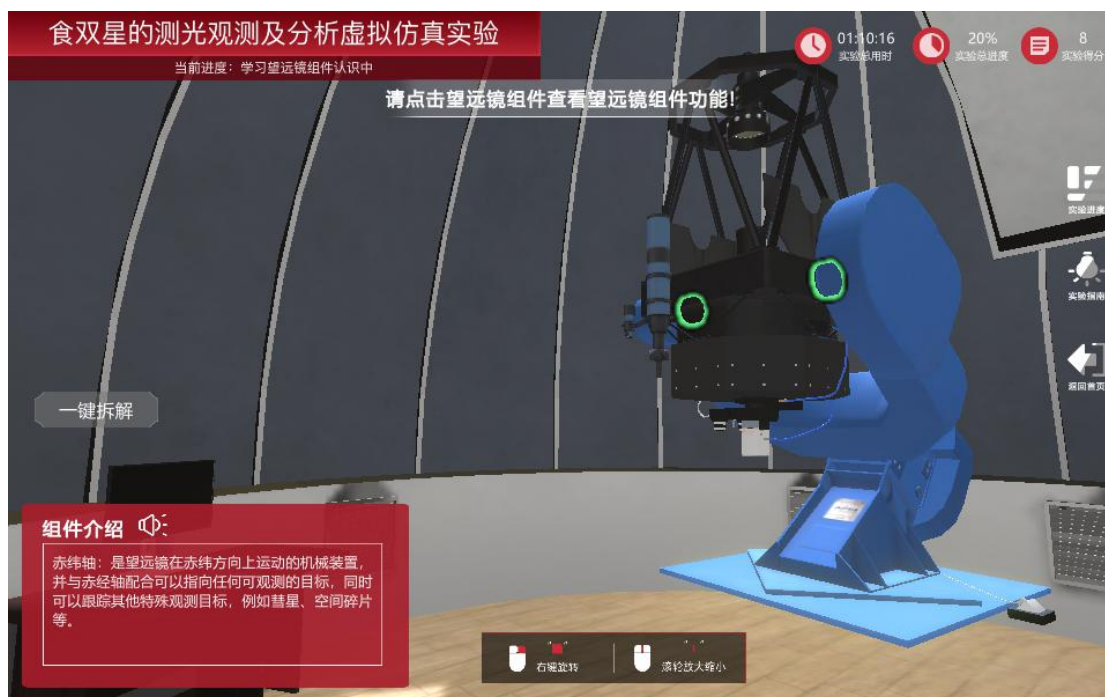


图 25 望远镜组件介绍—赤纬轴



图 26 望远镜组件介绍—滤光片转轮



图 27 望远镜组件介绍-CCD 相机

步骤 4: 对望远镜的主要组件进行“一键拆解”及“组装”。

通过“一键拆解”可以实现各组件的查看。实验者可以通过点击拆解后的组件再次进行单个组件的学习, 拆解后通过“组装”可以再次把各部件组装成完整的望远镜。按住鼠标右键移动鼠标可以控制各组件在空间内的旋转, 通过鼠标滚轮可以对各组件进行缩放操作。

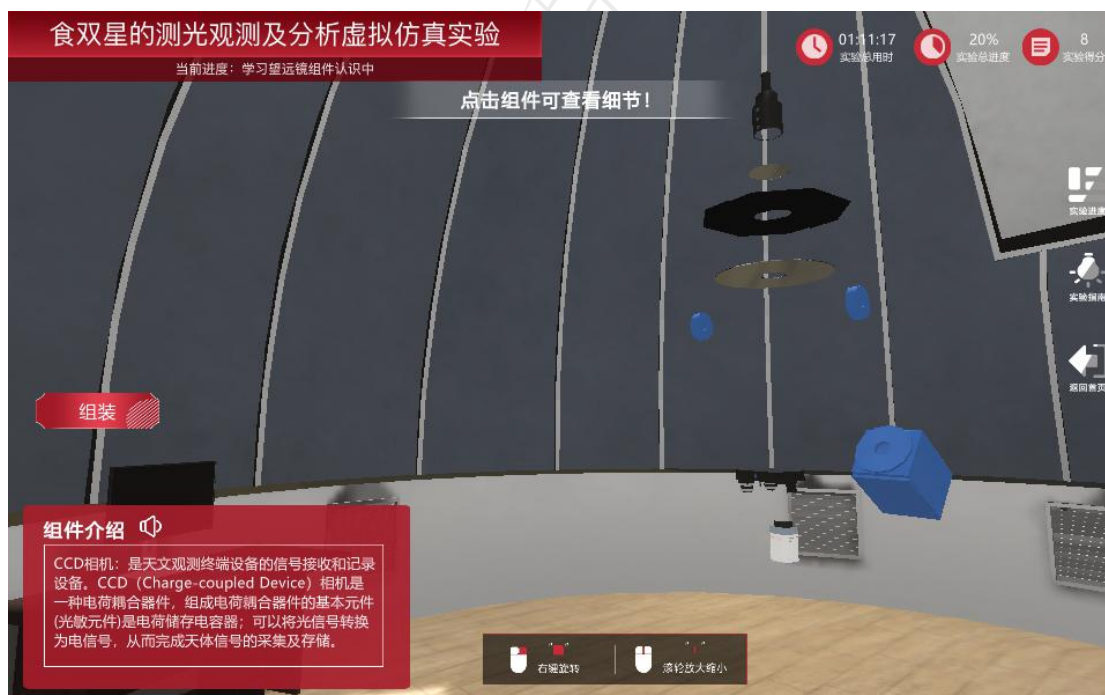


图 28 望远镜一键拆解

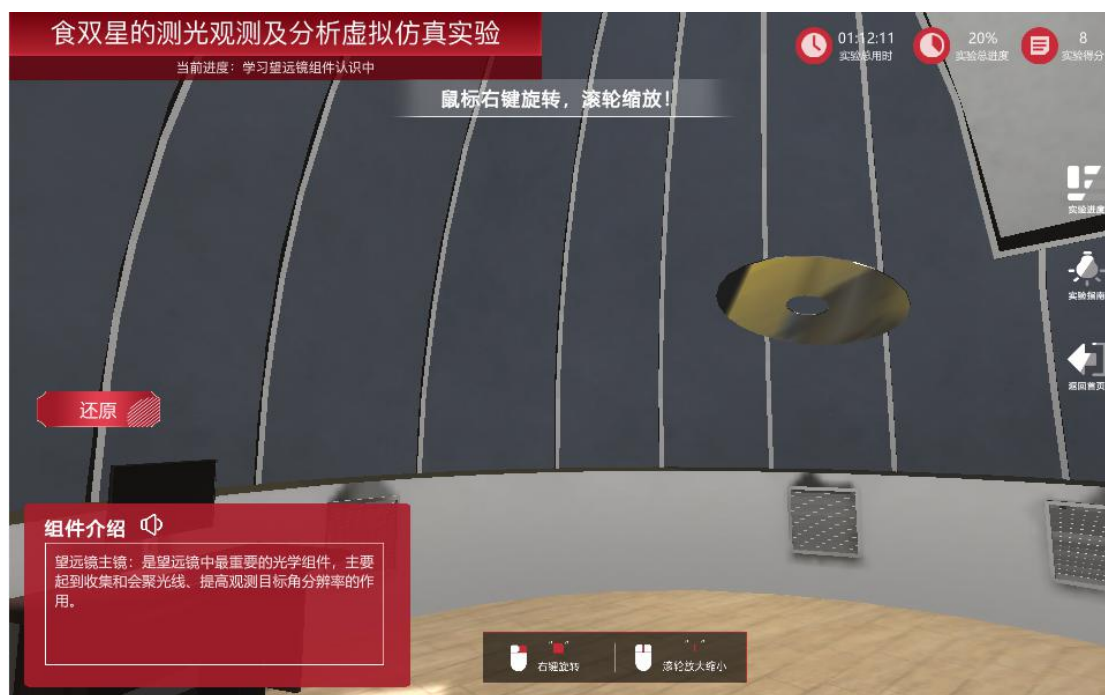


图 29 望远镜拆解后的主镜示意图

步骤 5：望远镜指向控制。

实验中需要将望远镜指向不同位置以观测不同目标，实验者可以通过两种方式控制望远镜指向：(1) 通过调节望远镜转速按钮，点击 N、S、W、E 按钮控制望远镜的指向；(2) 实验者通过输入天体的 RA、DEC 控制望远镜的指向：通过系统时间及天体坐标计算天体所在方位及高度角并予以指向。当指向的天区地平高度角低于 20 度时，系统将自动判断并警告实验者“指向高度角低于 20 度，为了望远镜安全不能指向！”当该警告出现时，实验系统认为实验者未完成该指向练习，需实验者重新指向超过高度角阈值的坐标位置，否则无法进行指向。

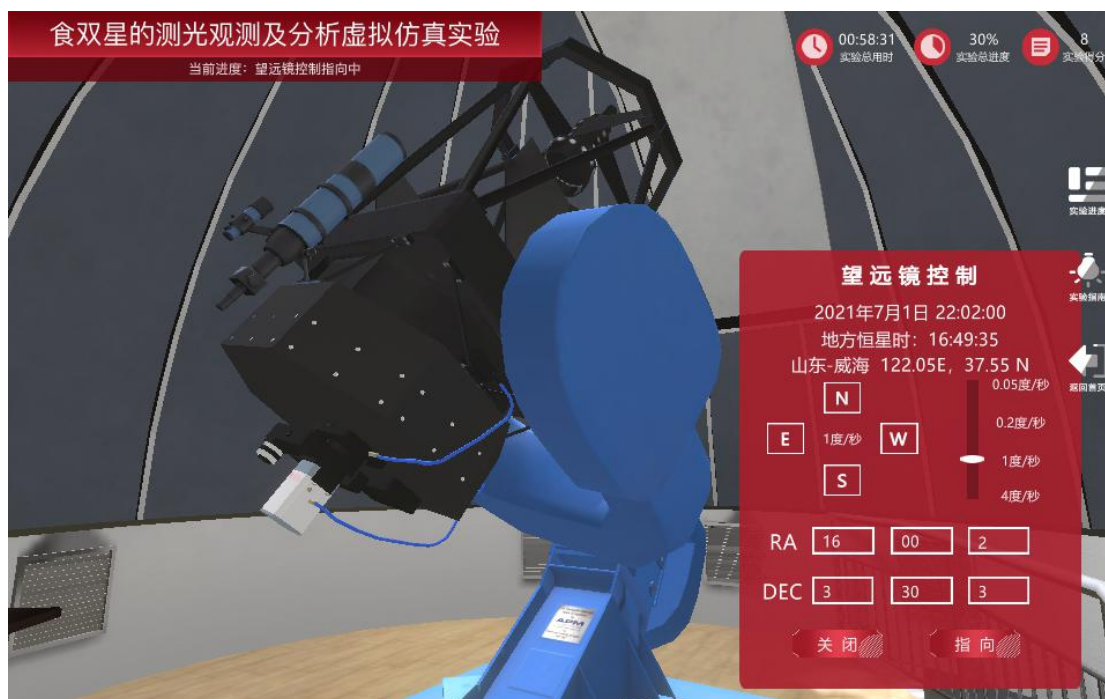


图 30 望远镜控制

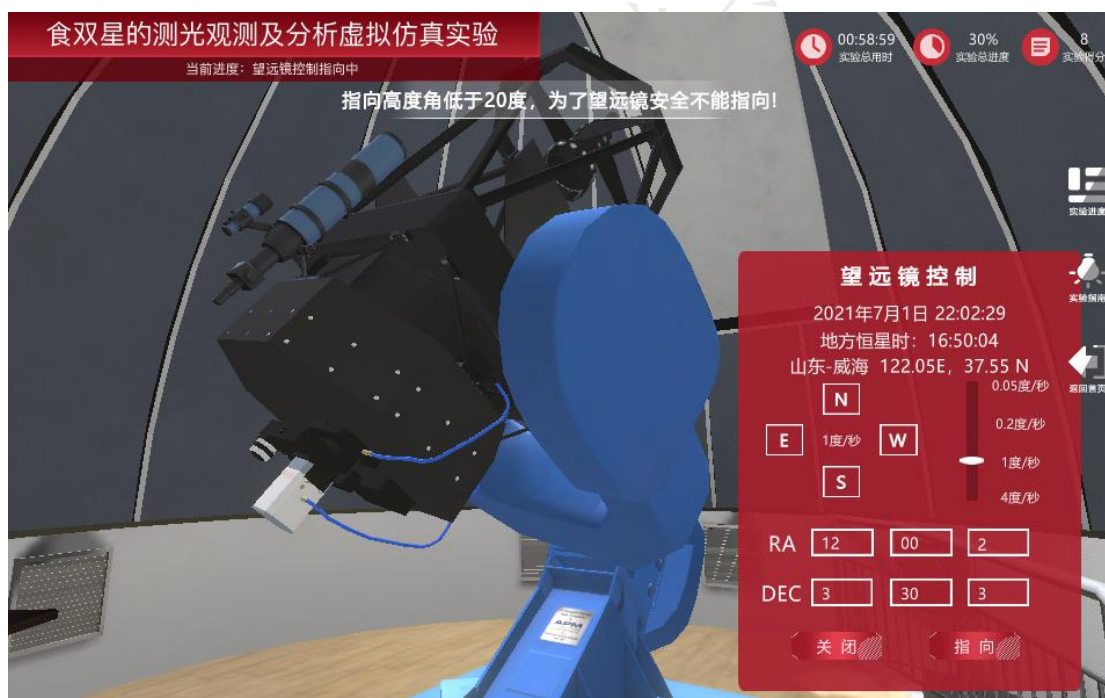


图 31 高度角太低时望远镜不予指向

三、深度体验层级的“测光观测”实验步骤（共 21 步）

步骤 1：查看实时天气条件。

光学观测实验前需要查看天气条件，气象条件允许方可进行观测实验，打开天气查看链接，将链接到山东大学威海天文台的实时气象网站，实时显示由山东大学威海天文台气象站、云传感器、全天相机及晴天钟、气象云图等气象数据，实际观测中可根据天气条件决定能否进行观测，本实验中将继续进行后续实验。完成山东大学威海天文台天气条件实时查看，

并确认是否适宜观测。

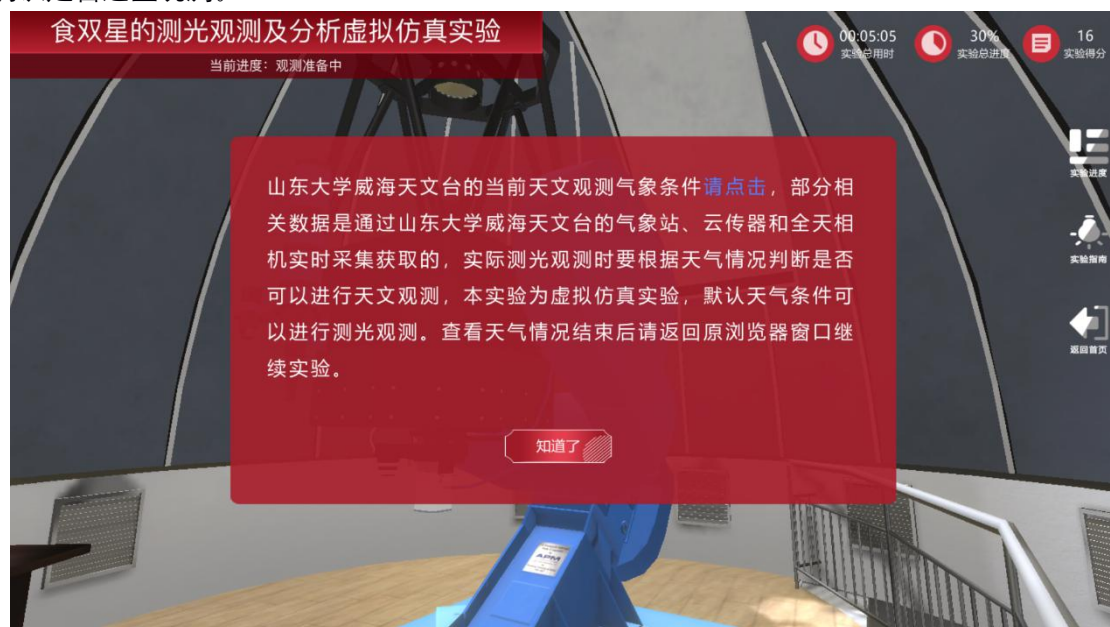


图 32 天气确认

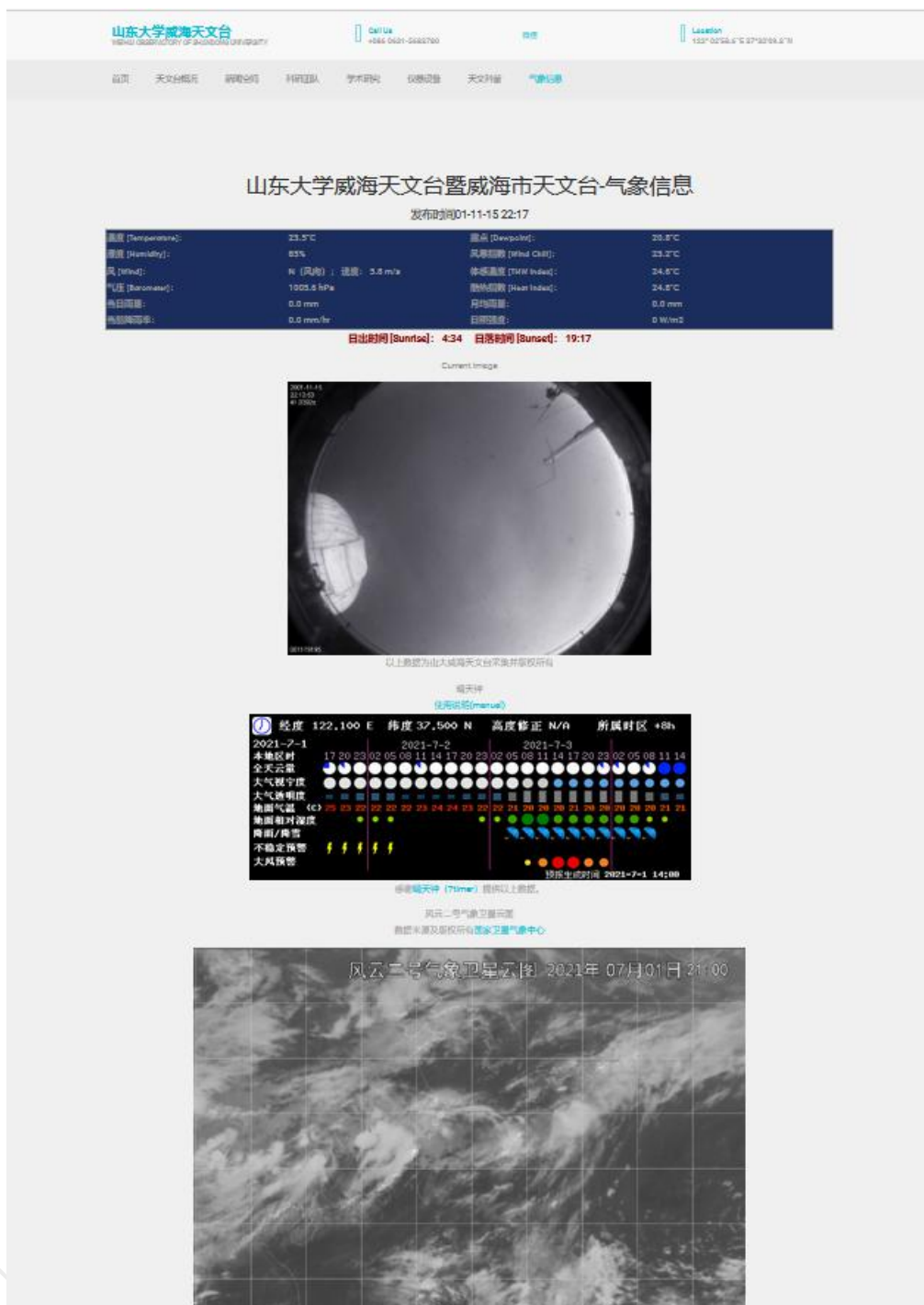


图 33 气象网站截图

步骤 2: 提早打开圆顶电源及圆顶天窗通风。

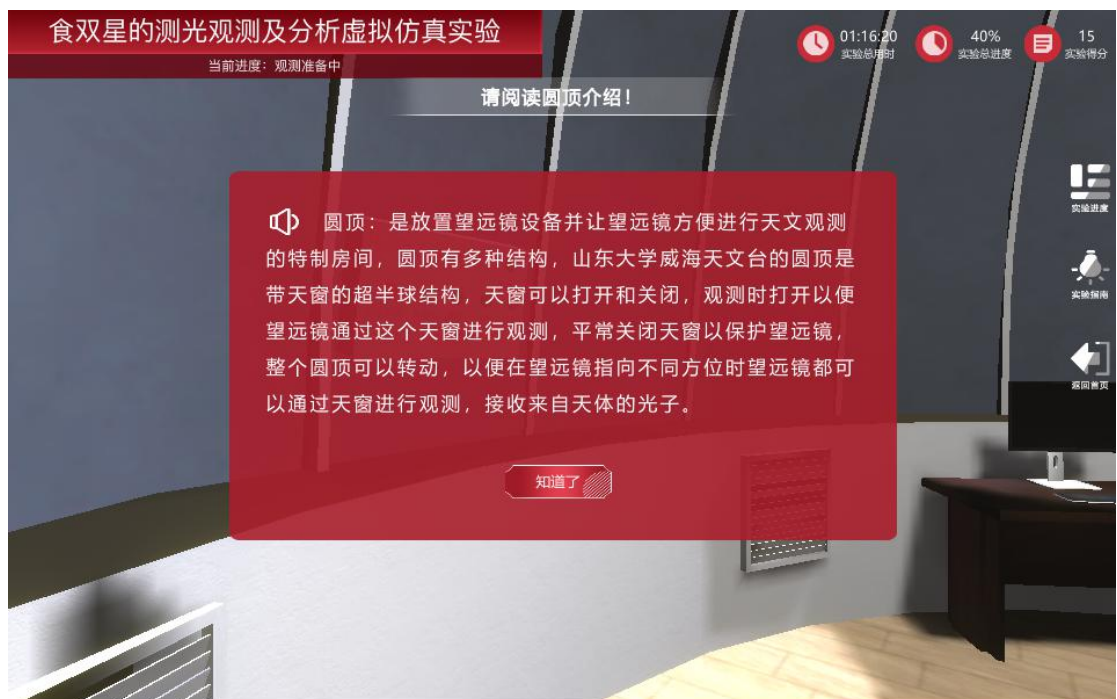


图 34 圆顶介绍

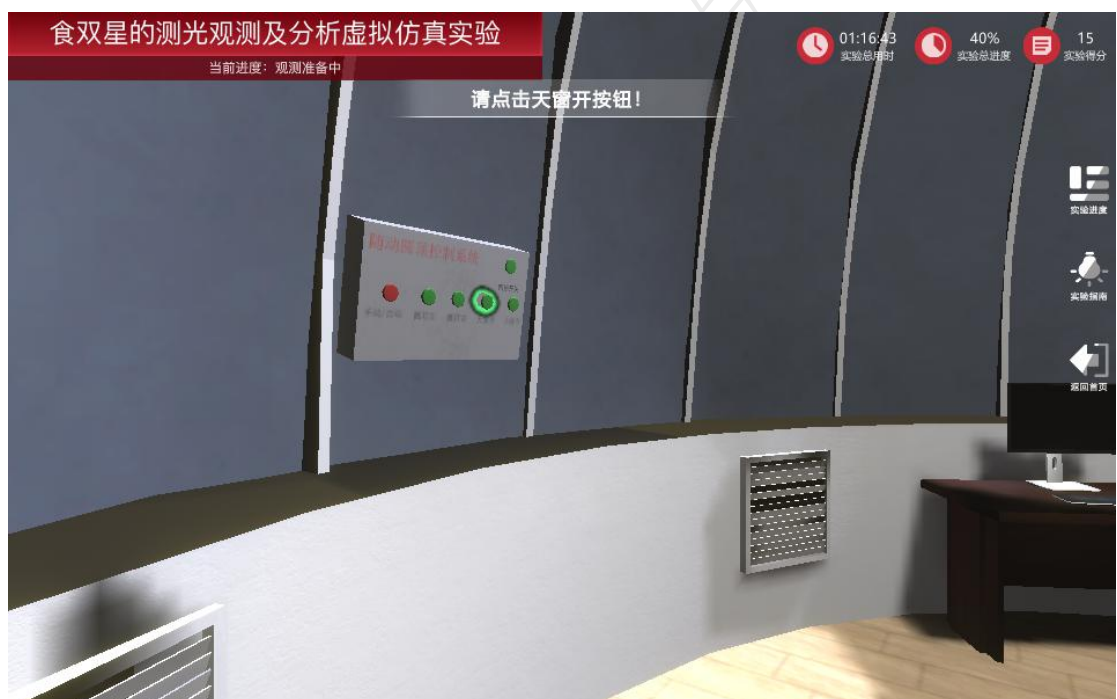


图 35 打开天窗按钮

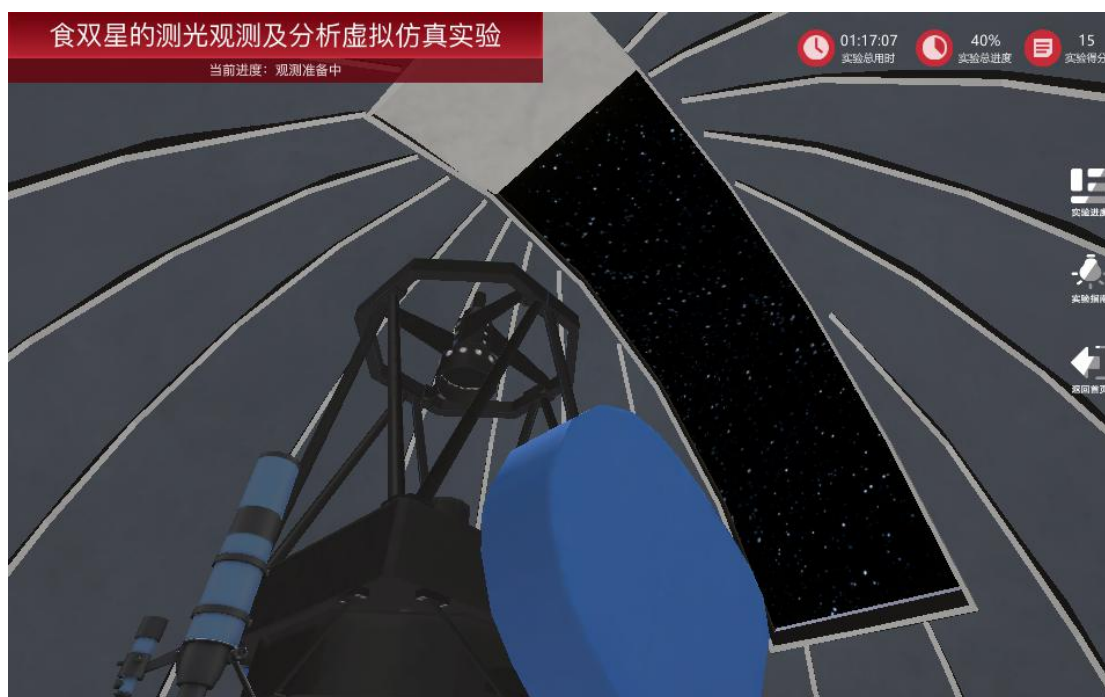


图 36 天窗打开中

步骤 3: 打开 CCD 相机电源

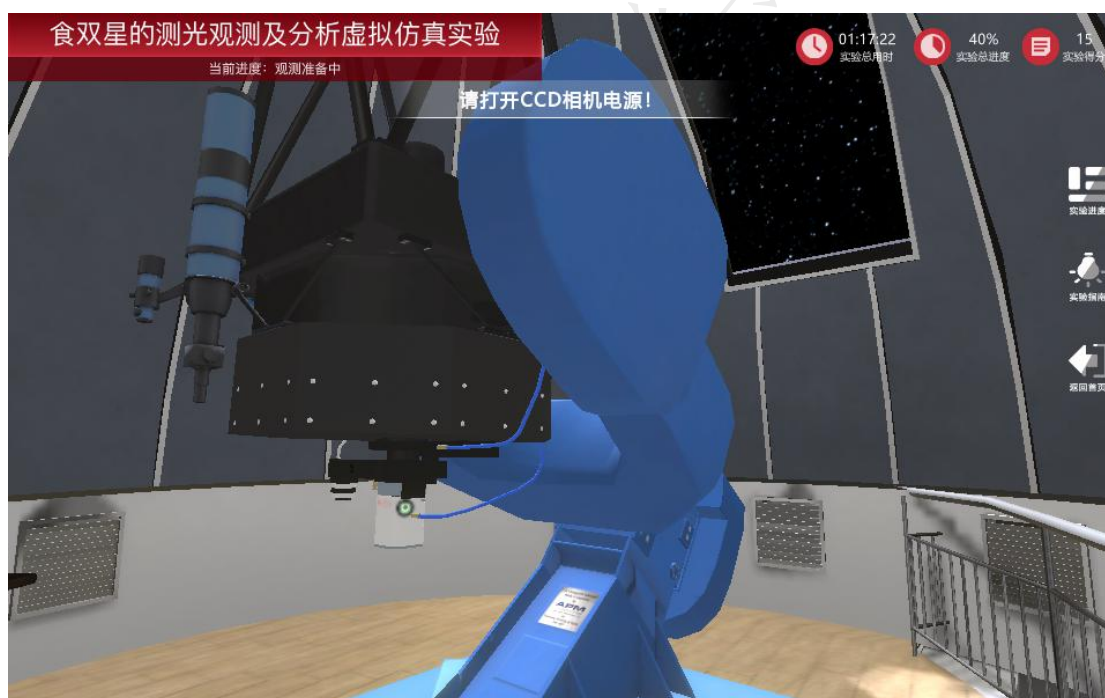


图 37 打开 CCD 相机电源

步骤 4: 进入观测室并开启望远镜电源



图 38 打开望远镜电源

步骤 5: 开启望远镜控制软件。

实验者通过点击电脑桌面相应图标，完成观测控制软件的运行。



图 39 打开观测控制软件

步骤 6: 打开望远镜主镜罩。

主镜盖为望远镜主镜的保护盖板，在不观测的时间里，主镜罩可以防止灰尘、异物掉落至望远镜主镜。望远镜工作时，主镜罩打开，准备进行观测。

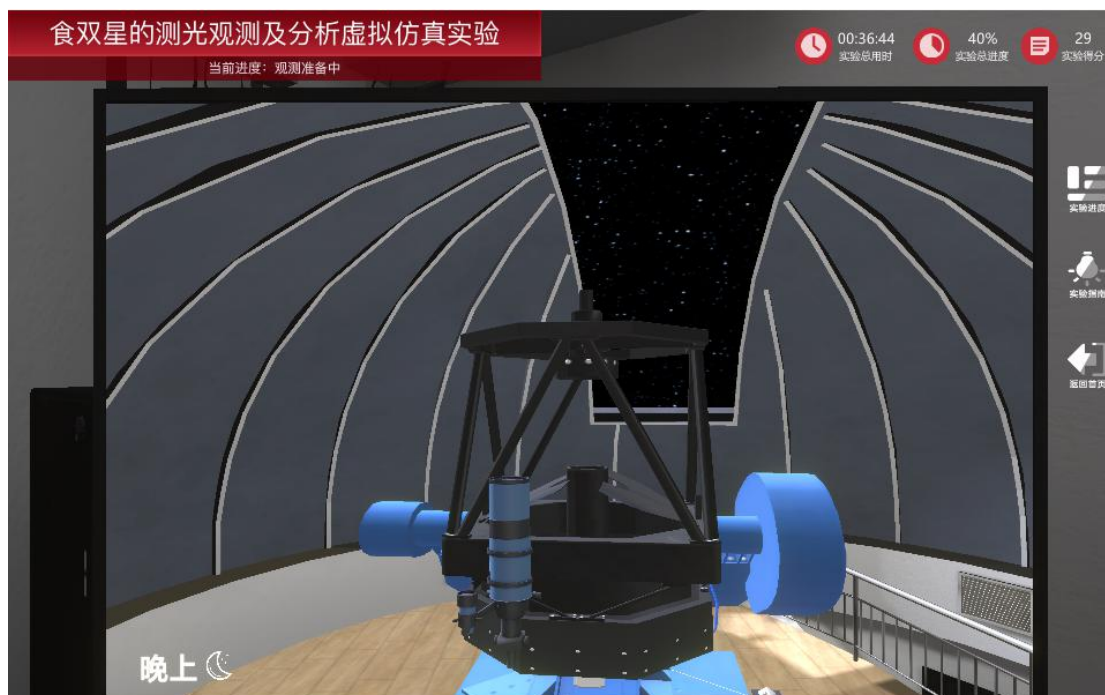


图 40 望远镜主镜罩打开中

步骤 7: 打开观测控制软件。

实验者通过点击电脑桌面相应图标，完成观测控制软件的运行。连接 CCD 相机——点击观测控制软件的连接图标，建立软件与 CCD 的连接。



图 41 观测控制软件打开页面

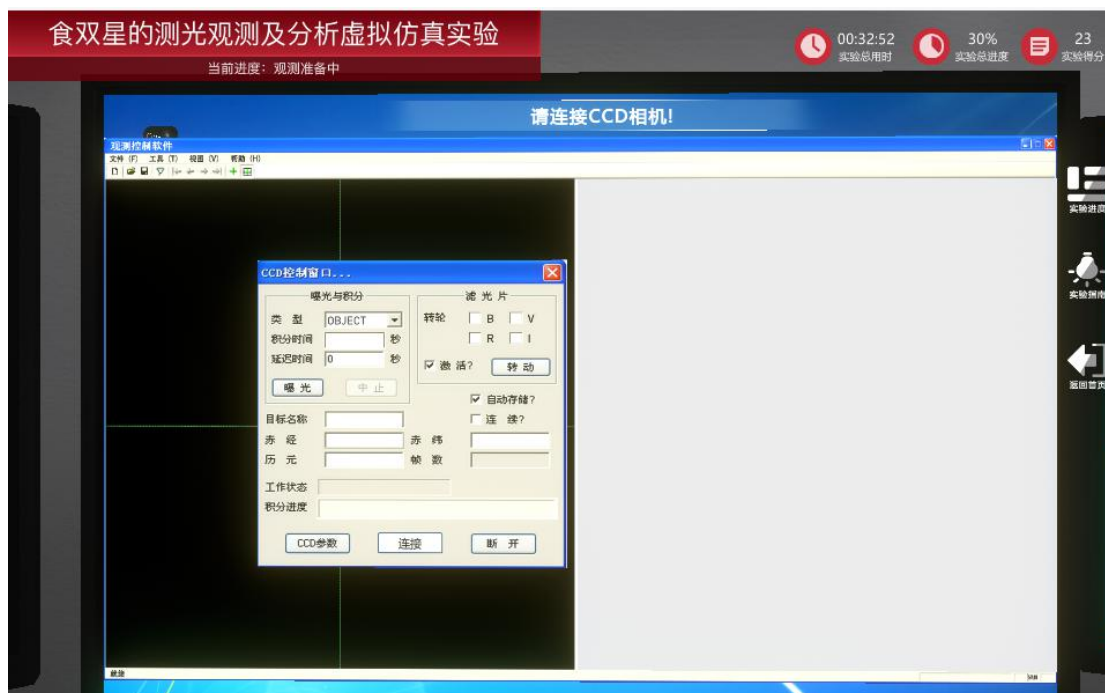


图 42 连接 CCD 相机

步骤 8: CCD 重要参数学习及工作温度设置。

CCD 的暗流与温度紧密相关，为降低暗流对观测的影响，实验中将对 CCD 致冷。考虑到实验中 CCD 致冷能力及数据需求，实验 CCD 温度降低到 -55°C 。为延长 CCD 的使用寿命，观测完成后应将 CCD 进行升温，升至室温并关闭其电源。

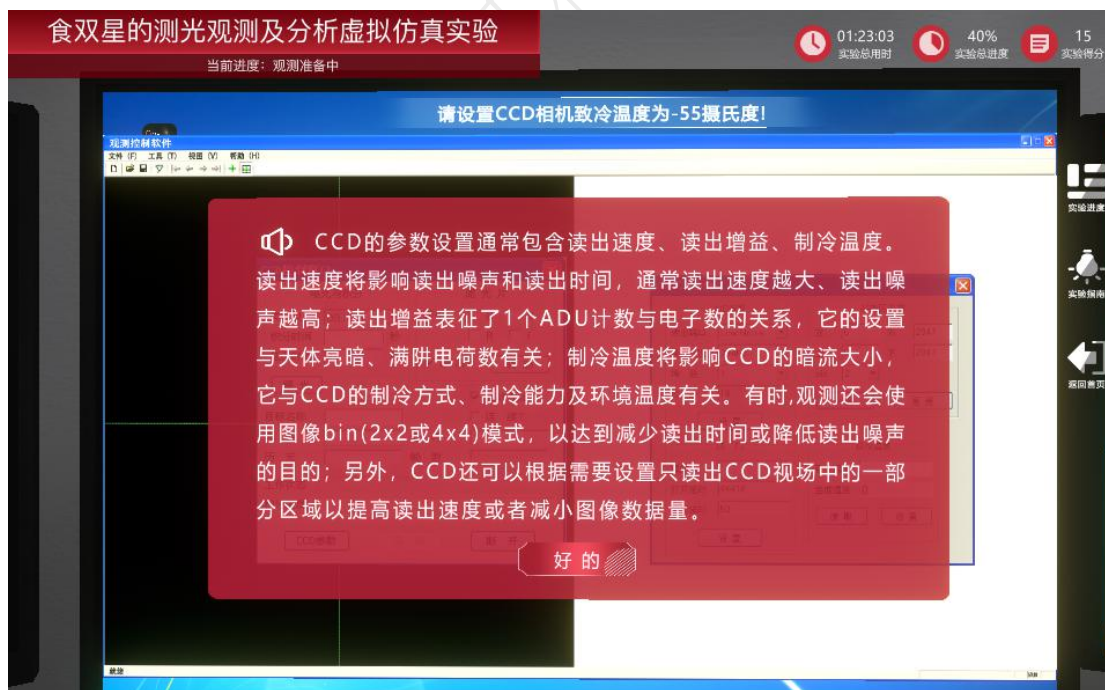


图 43 CCD 参数说明

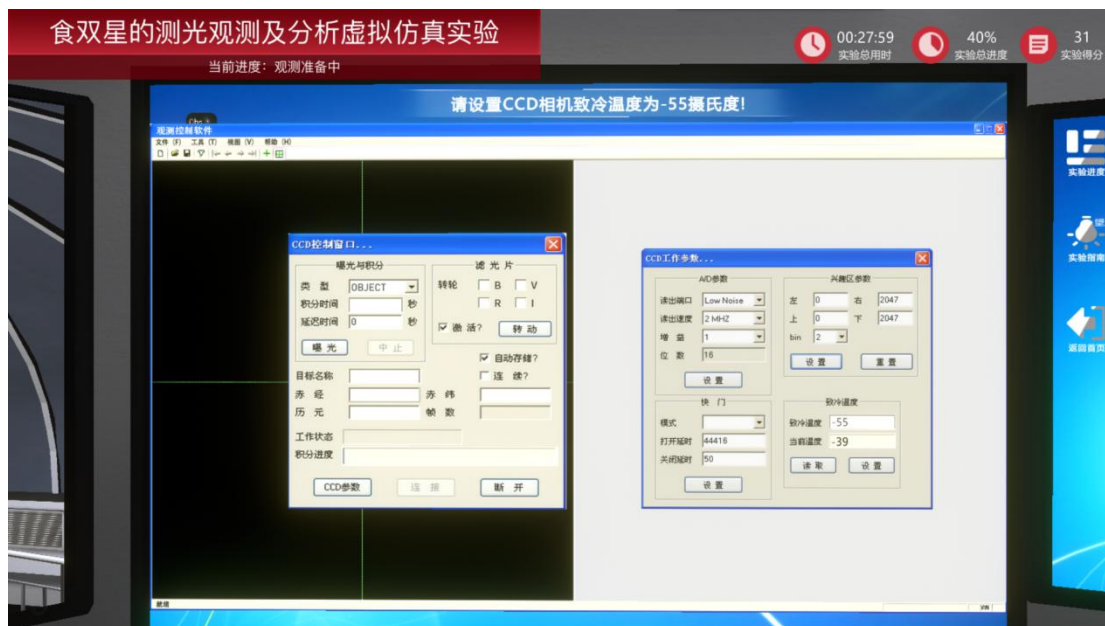


图 44 CCD 致冷温度设置

步骤 9: 拍摄本底图像。

实验者获得偏置电压引起的电子计数，即获取本底图像，以便在后面进行数据处理时进行本底改正。需要设置拍摄类型为 BIAS，设置本底拍摄的图像幅数，然后进行曝光拍摄，拍摄完的图像可以打开查看读数。

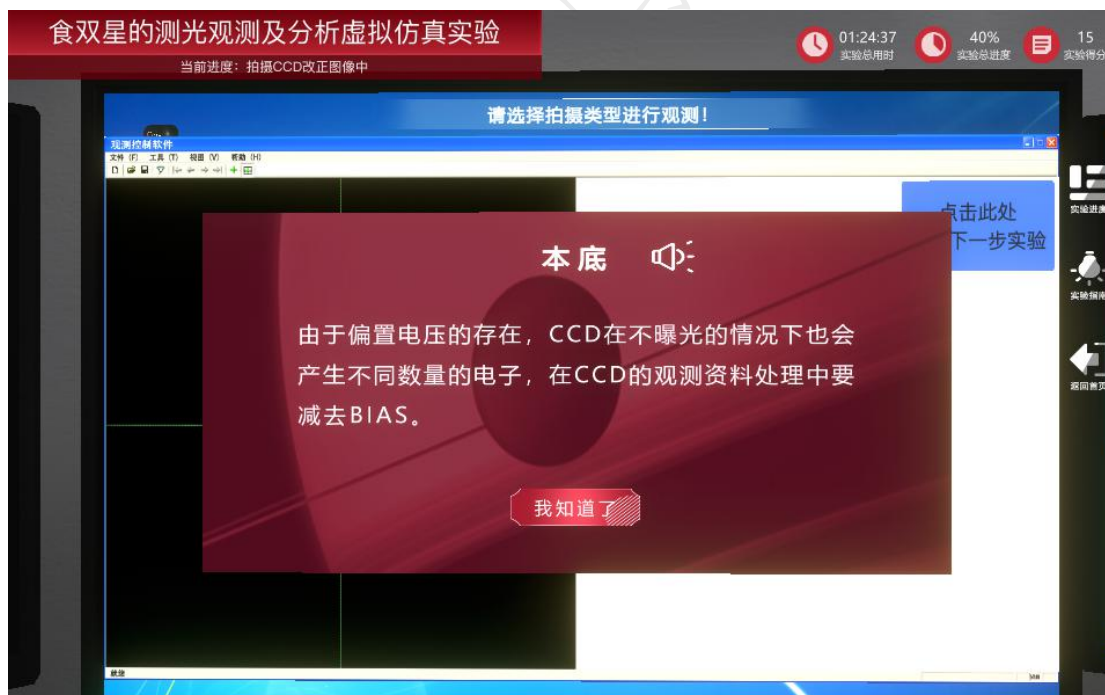


图 45 本底 (BIAS) 介绍

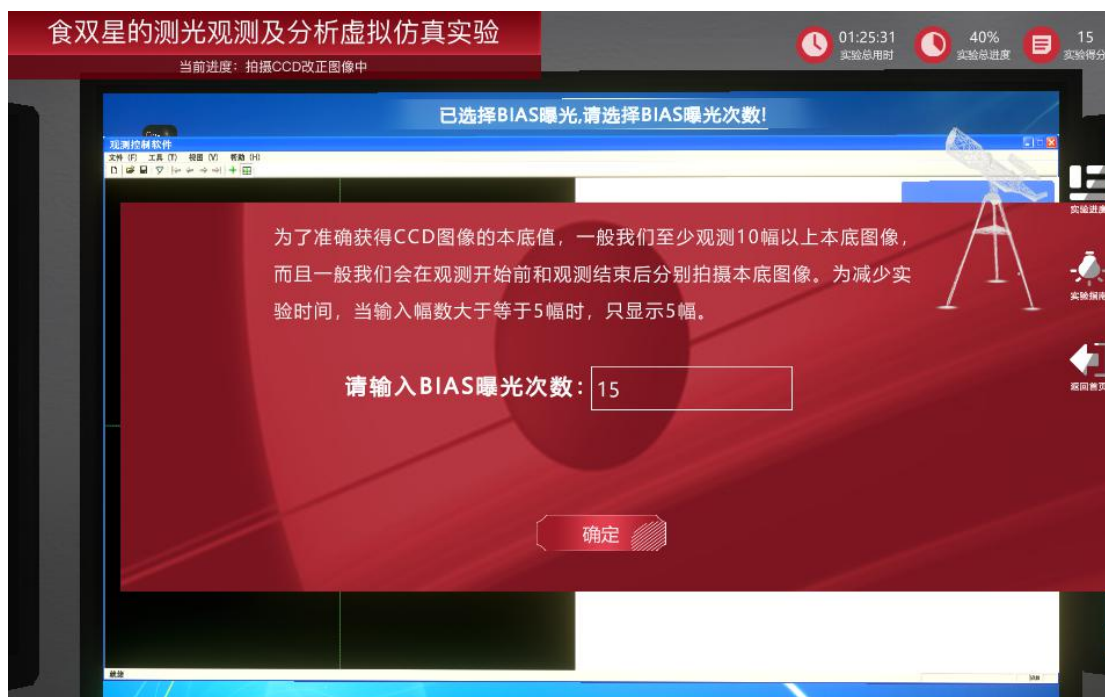


图 46 BIAS 拍摄次数设置



图 47 BIAS 图像查看

步骤 10: 合理设置平场曝光时间并拍摄不同波段的平场图像。

选择类型为 FLAT，实验者根据情况任意选择一个滤光片，之后转动滤光片转轮将滤光片转到位。之后需要设置平场拍摄的曝光时间，设置好后点曝光开始拍摄平场图像，这一过程中学习测光观测曝光时间的合理设置，实验者设置不同的曝光时间，拍摄的平场图像可能饱和或者读数太低，实验者需要练习设置为合适的曝光时间后拍摄到有效的平场图像。每个波段都需要拍摄平场图像以便数据处理时进行各个波段目标图像的平场改正。

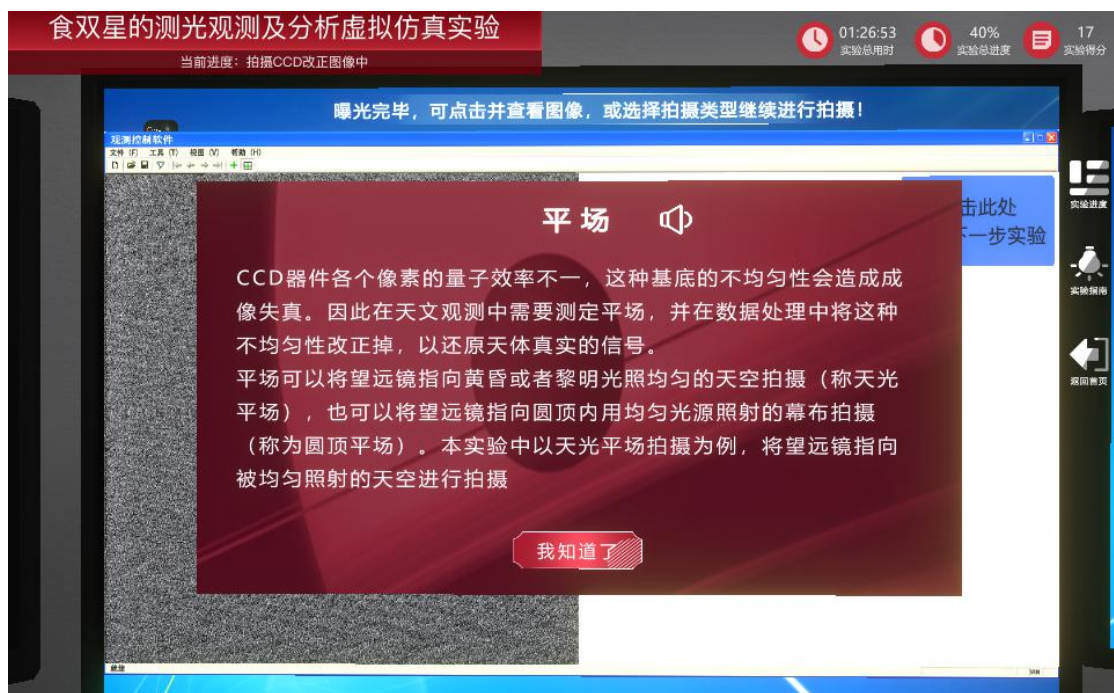


图 48 平场 (FLAT) 介绍

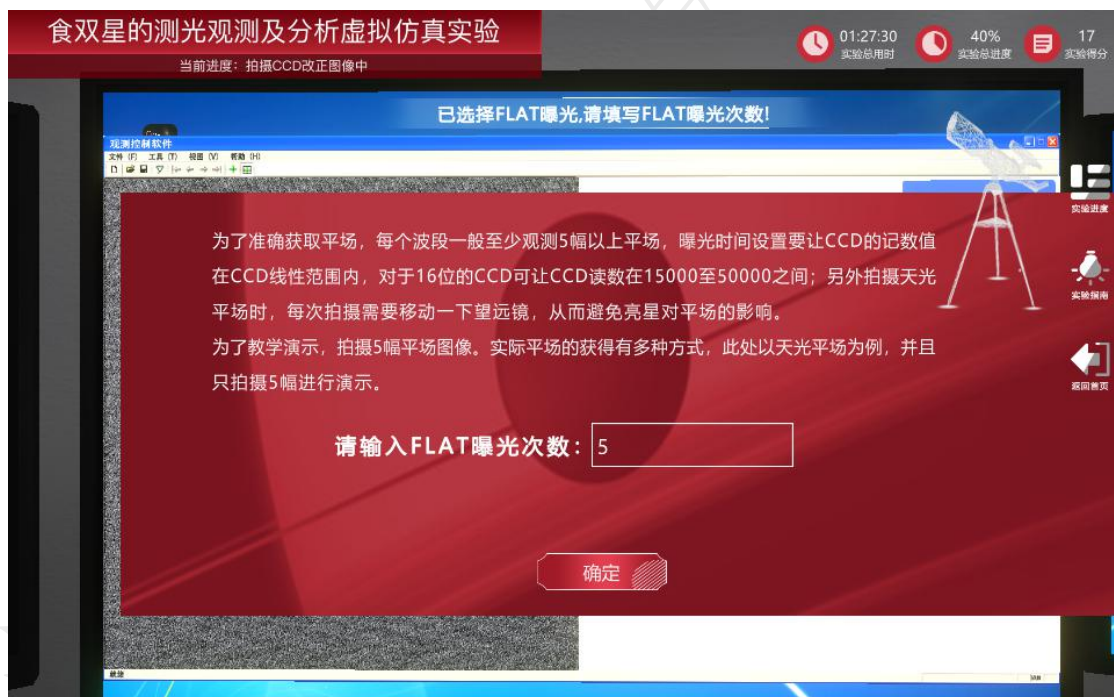


图 49 FLAT 拍摄次数设置



图 50 FLAT 图像展示与判断

步骤 11: 暗流的拍摄。

选择拍摄类型为 DARK，学习暗流拍摄的方法和原理。

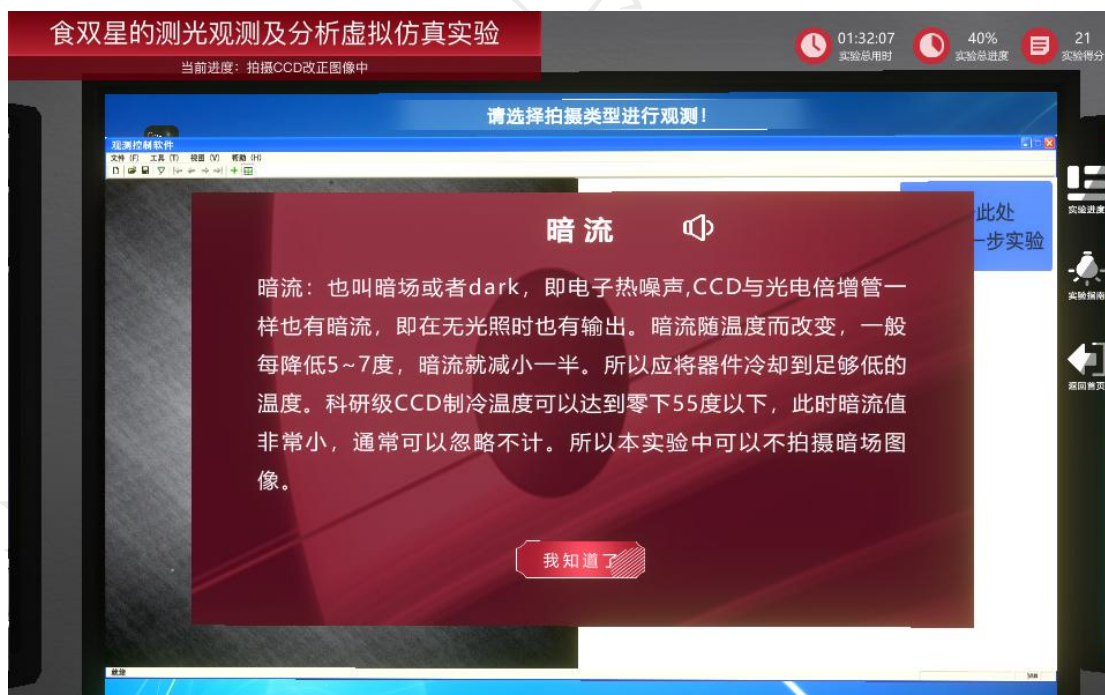


图 51 暗流 (DARK) 介绍

步骤 12: 将自动观测软件与望远镜控制软件连接。

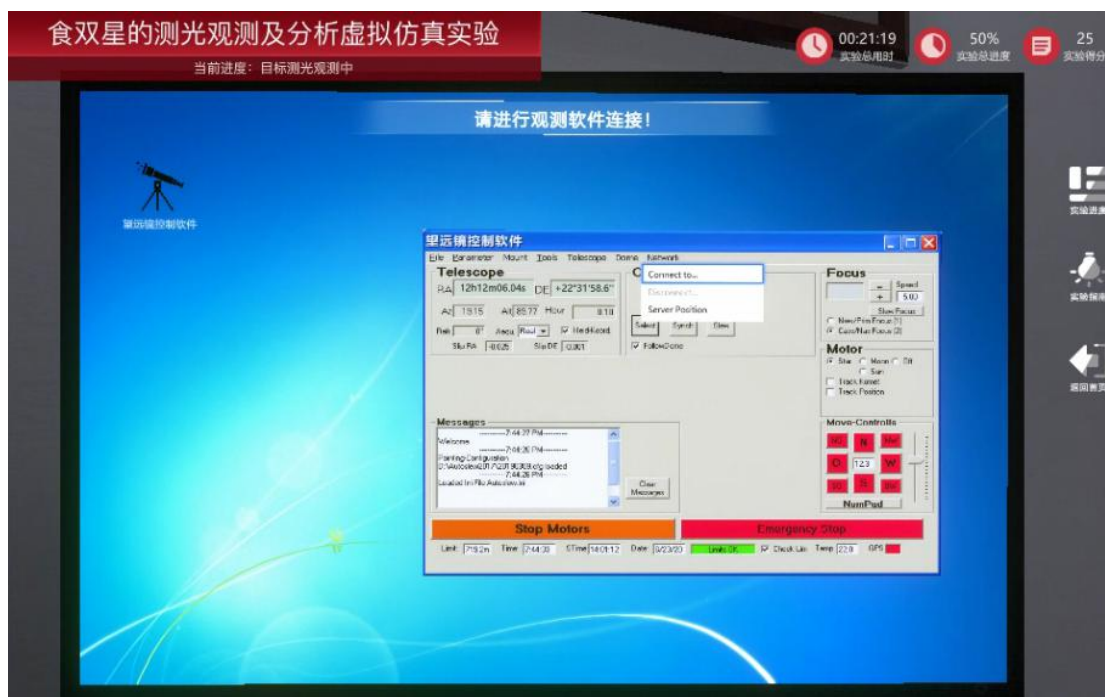


图 52 建立软件连接

步骤 13: 望远镜调焦。

正式开始实验观测前需要对望远镜的焦距进行调节, 望远镜的焦距不对将影响观测图像的成像质量, 从而影响观测效率和观测数据的质量。通过以下左右两幅图可以看出, 左边的图像焦距不对, 星像分布不对, 右图是在正确焦距下拍摄的图像。实验中可以调节望远镜焦距直到成像达到理想情况。

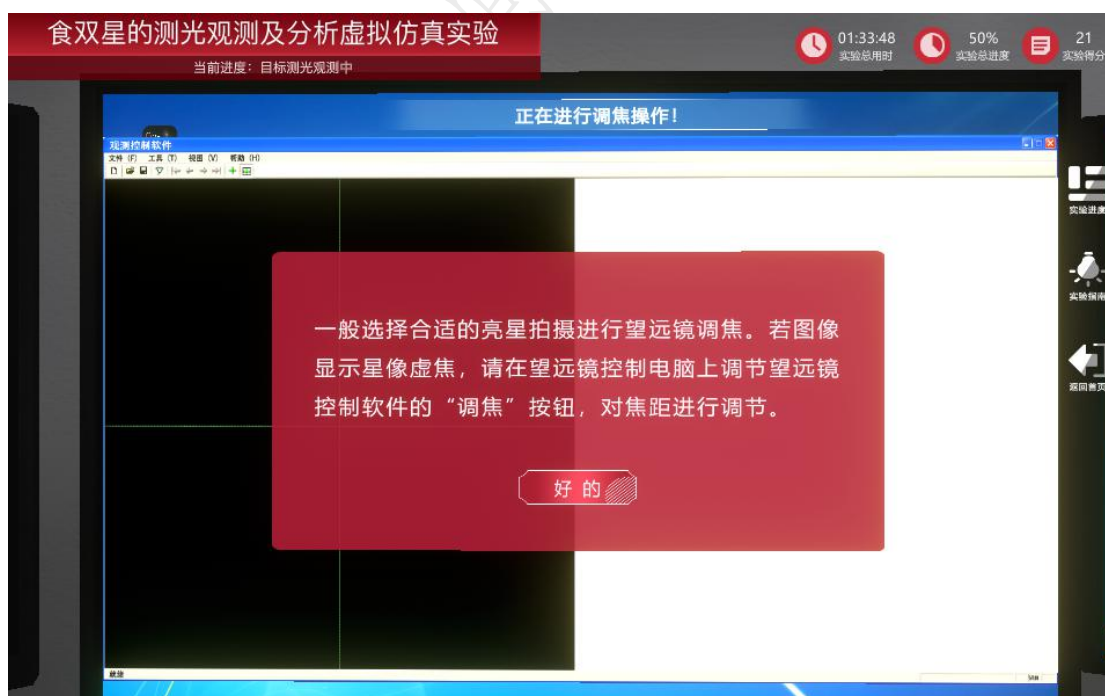


图 53 调焦介绍

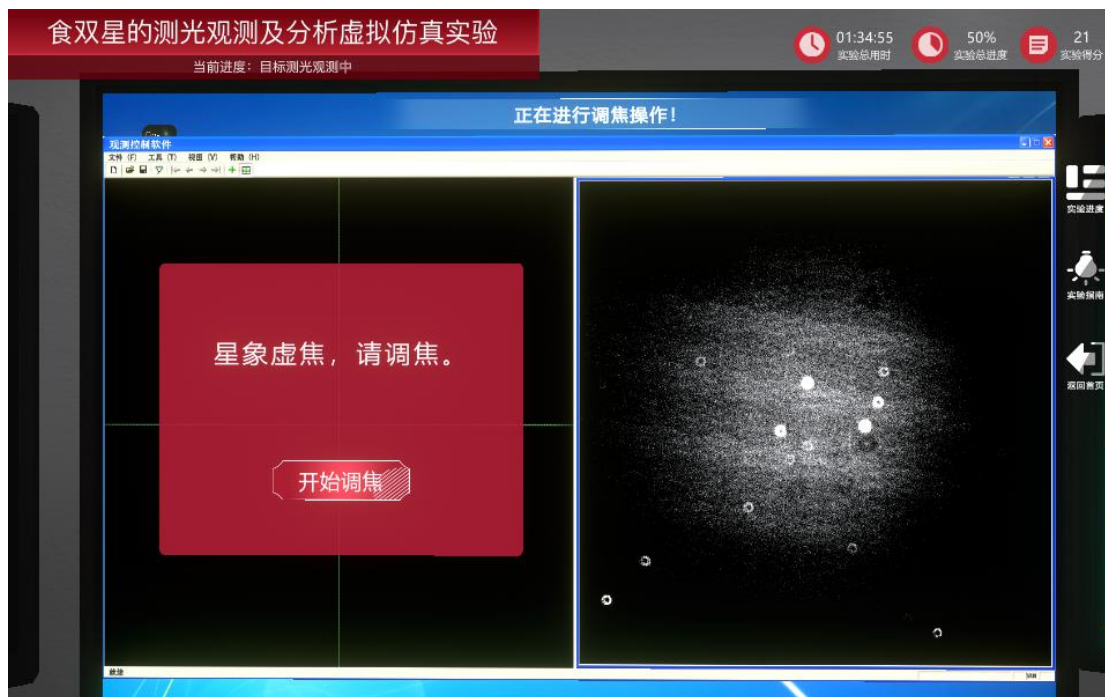


图 54 虚焦图像展示

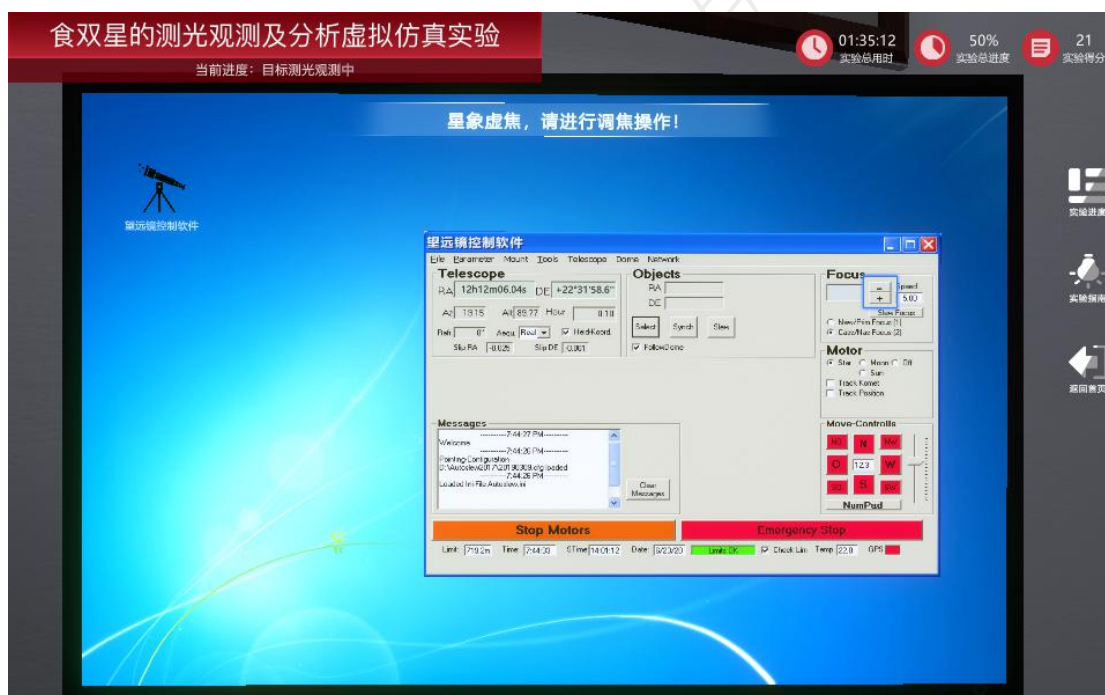


图 55 焦点调节



图 56 焦距调节效果判断

步骤 14: 根据系统随机的观测日期，选取最合适的观测目标进行观测。

根据系统随机给定的观测日期，根据目标可观测条件选取最合适的观测目标。观测者根据系统随机的观测日期并根据天体的 RA、DEC 来判别最适宜观测的天体。选择错误将不能得分并给出提示。

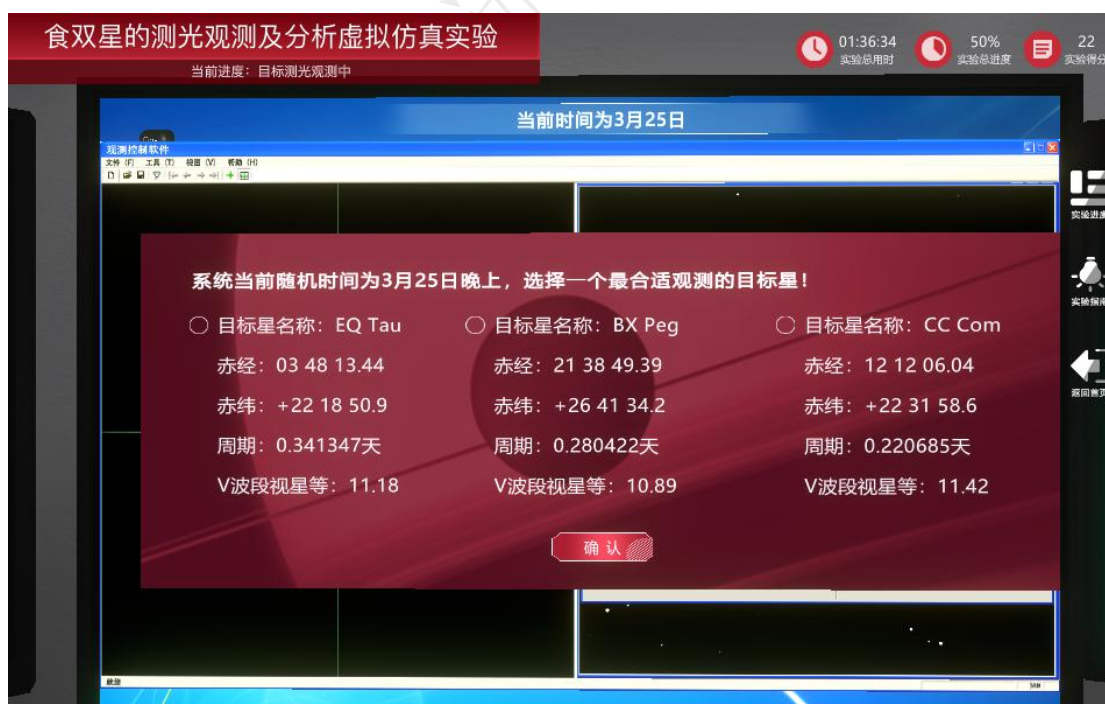


图 57 选取观测目标

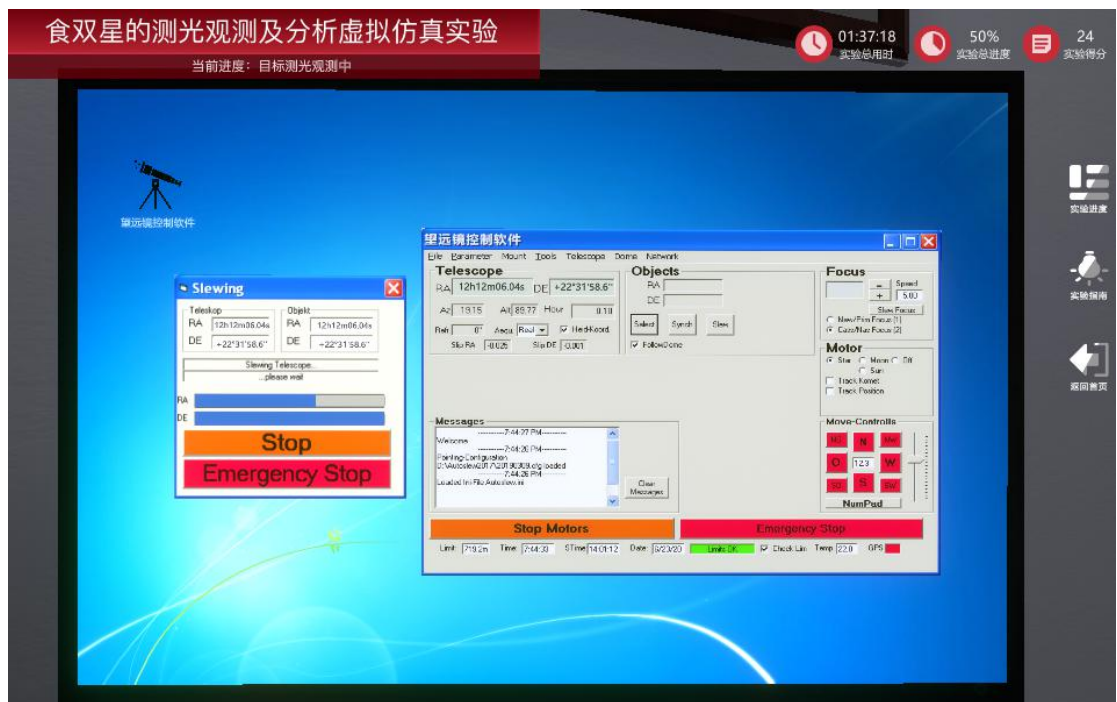


图 58 开始观测

步骤 15：观测目标证认：根据证认星图判断观测区域是否正确，并给出反馈。

根据证认星图判断观测区域是否正确。实验中当观测图像有错误时，实验者应该根据证认图和拍摄出的星空图像判断拍摄出的图像是否为实验拟观测天体。若观测区域不正确，则需要重新拍摄；若观测正确，则继续下一步操作。



图 59 证认观测图像 1



图 60 证认观测图像 2

步骤 16: 制定观测策略: 根据天体信息设置各波段的曝光时间及循环次数。

根据实验和科学分析需求选择不同的观测波段, 根据观测目标在不同波段的亮度, 分别设置不同的曝光时间, 为了获得食双星的物理参数, 需要观测获取食双星至少一个完整光变周期的观测数据, 所以需要根据光变周期设置合适的循环观测次数, 根据这些信息制定合理的观测计划, 以达到实验目标。

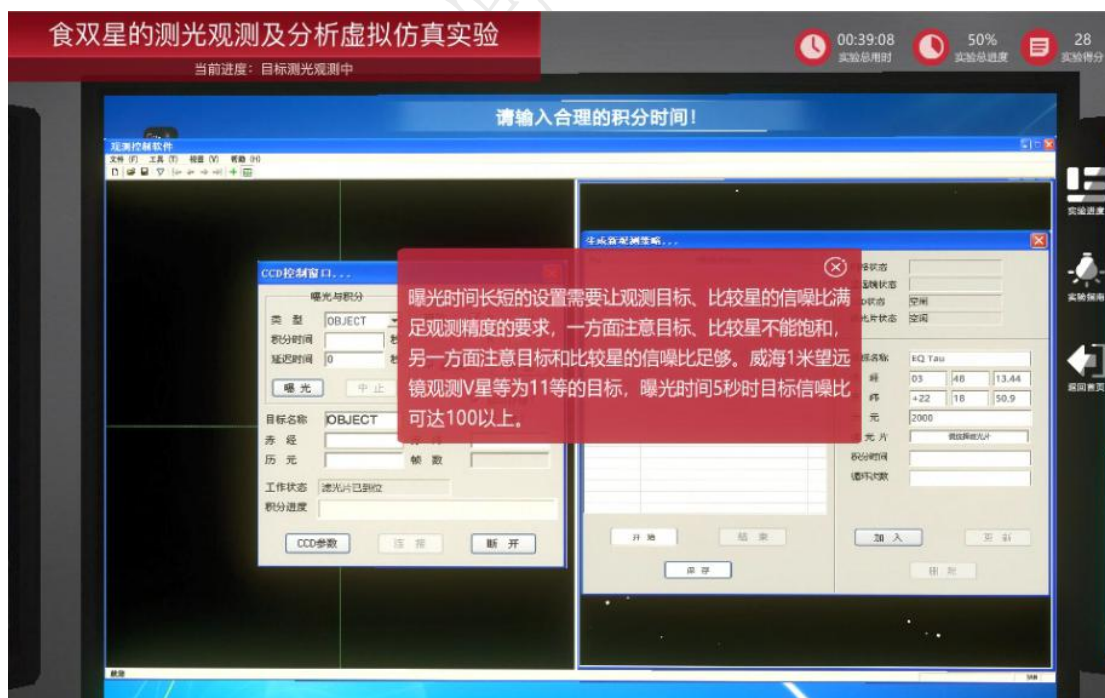


图 61 曝光时间设置原则

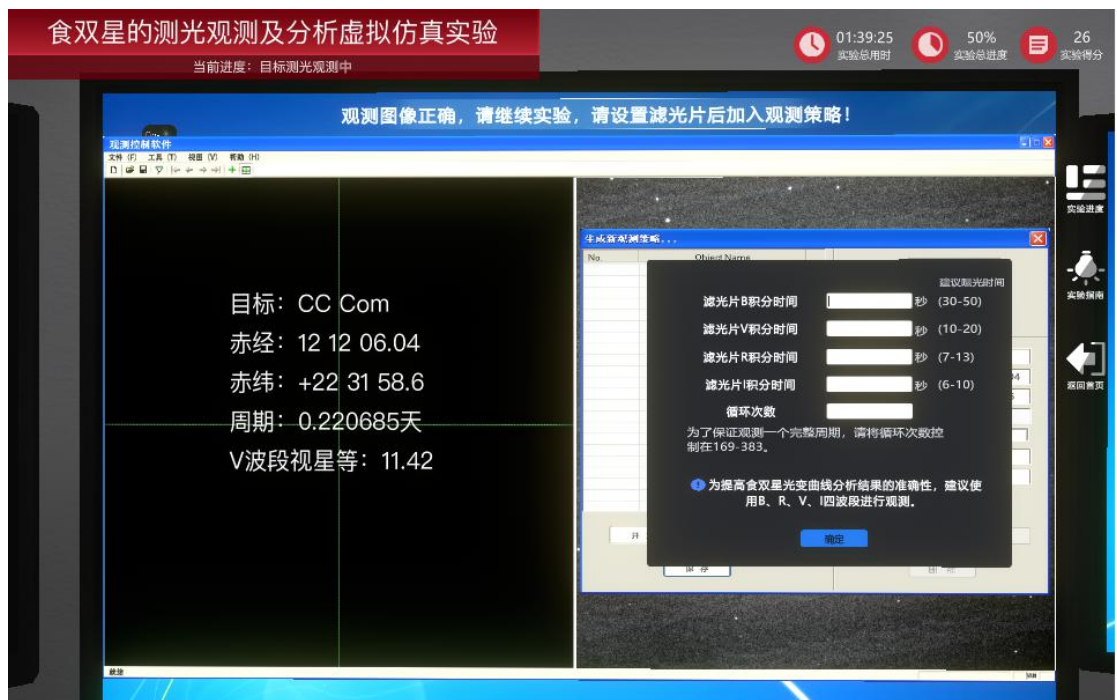


图 62 观测策略制定

步骤 17: 开始自动观测。

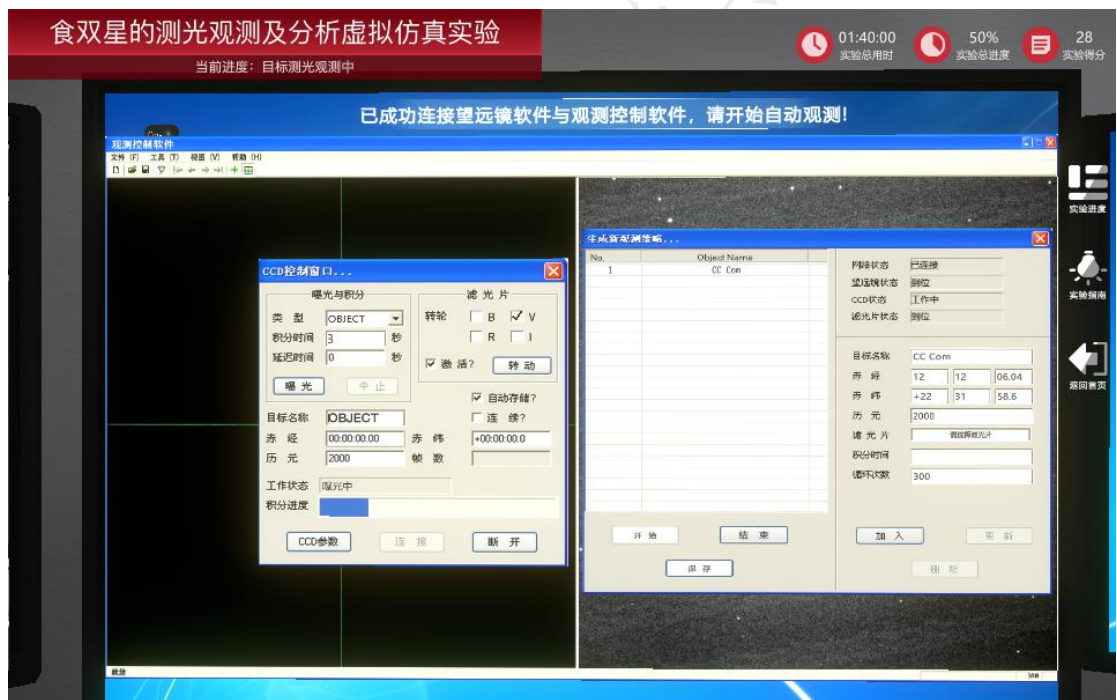


图 63 执行观测

步骤 18: 观测设备归位

观测结束后，需要将所有的观测设备进行归位，以保障观测设备的安全。需要将望远镜指向最平衡稳定的天顶位置，将所有设备归位，断开设备的控制软件与设备的连接，观测控制软件，关闭设备电源。

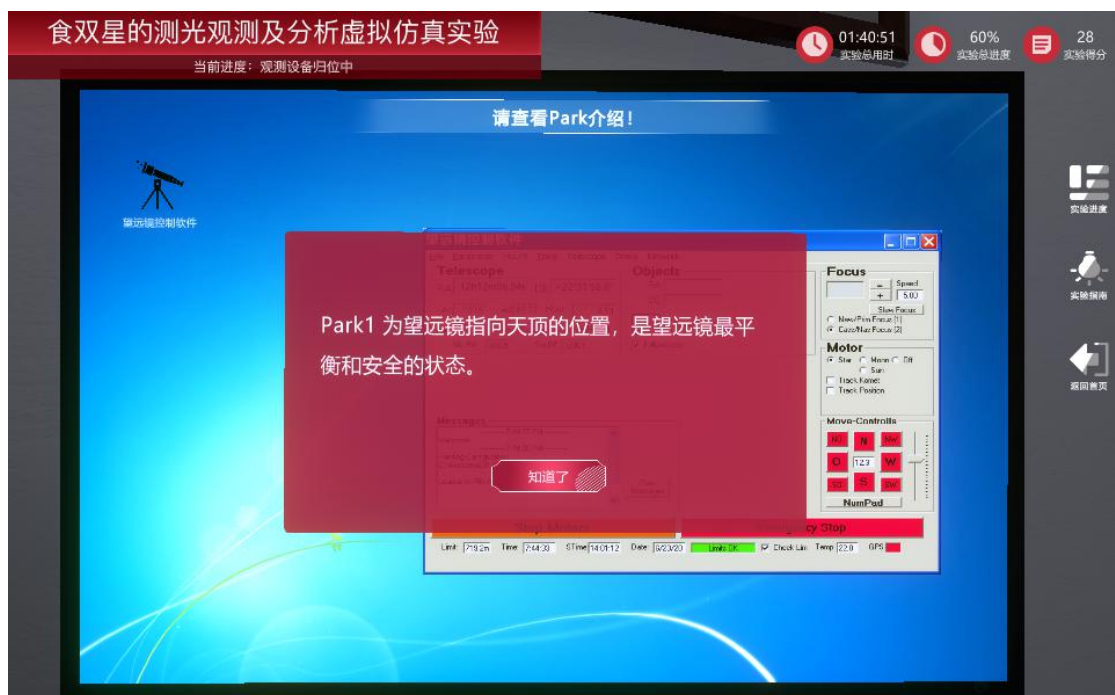


图 64 望远镜归位介绍

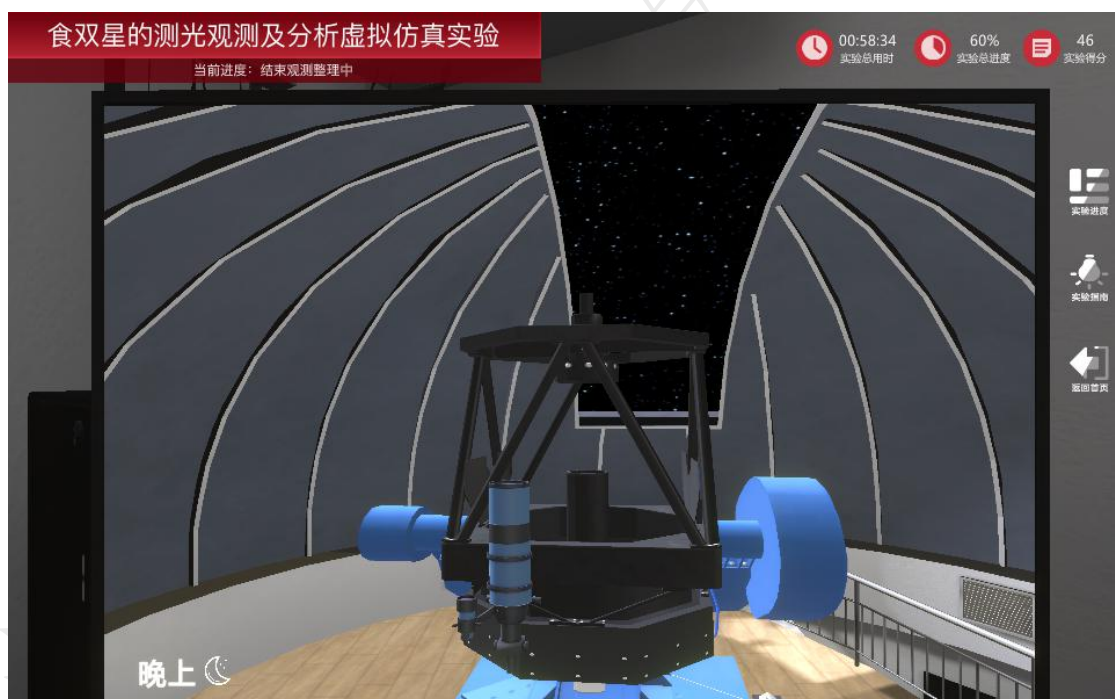


图 65 望远镜归位完成



图 66 关闭望远镜电源

步骤 19: CCD 升温，并断开 CCD 软件连接。

将 CCD 温度设置为室温，待温度升至设置温度，断开 CCD 控制软件链接。

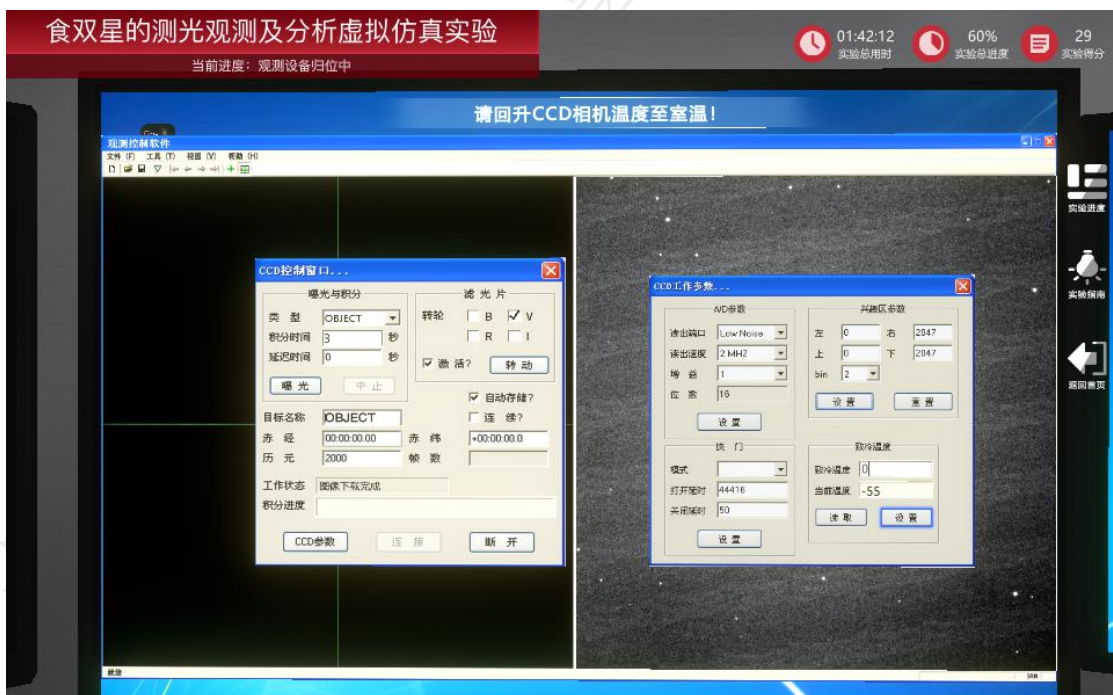


图 67 CCD 升温

步骤 20: 关闭圆顶天窗及电源

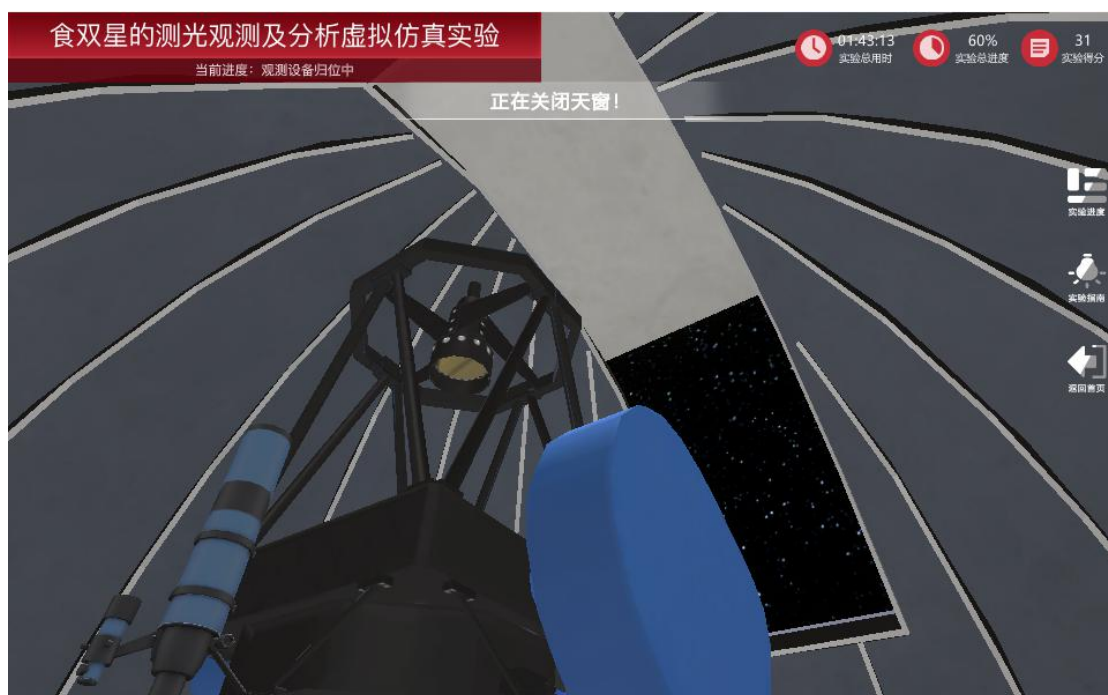


图 68 关闭天窗

步骤 21: 关闭 CCD 相机电源，完成测光观测，开启后续实验内容。

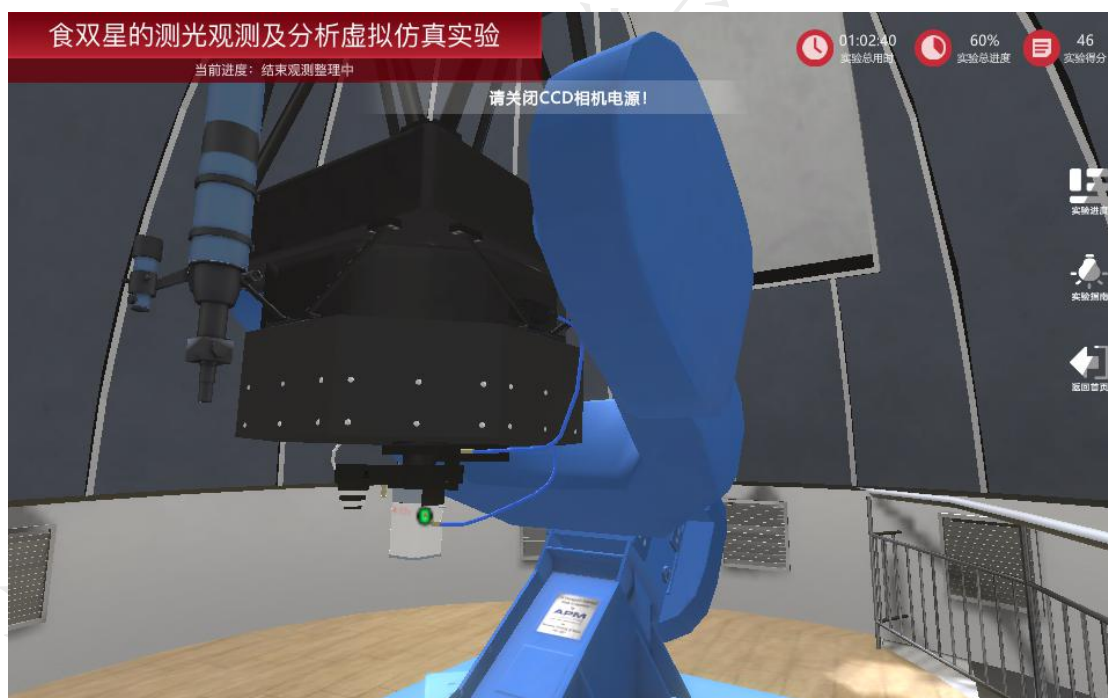


图 69 关闭 CCD 电源



图 70 测光观测完成

四、 综合应用层级的“数据处理及分析”实验步骤（共 11 步）

步骤 1：BIAS 合并。

实验者载入观测获得的 BIAS 图像，合并观测获得的 BIAS 图像获得一幅合并后的 BIAS 图像。观测图像数据处理中需要扣除不曝光情况下 CCD 由于偏置电压而起取的读数，因此需要做 BIAS 改正。载入观测获得的 BIAS 图像，可查看观测获取的每幅观测 BIAS 图像，通过 BIAS 合并功能获取合并后的 BIAS 图像以供后续本底改正使用，可以查看合并后 BIAS 图像每个位置的 ADU 读数。



图 71 BIAS 合并准备



图 72 BIAS 图像合并



图 73 合并后的 BIAS 图像查看

步骤 2: 各波段 FLAT 分别进行 BIAS 改正及合并。

实验者分别选取每一个波段的 FLAT 图像，完成 FLAT 的 BIAS 改正及合并。观测数据处理中需要将图像各个像素位置上响应的不均匀性进行改正，这个不均匀性各个波段是不一样的，所以需要对各个波段的观测图像分析进行 FLAT 改正。改正前需要用合并的 BIAS 图像对 FLAT 图像进行本底改正，BIAS 改正后的各波段 FLAT 图像分别进行合并以供后续平场改正使用。实验者要分别选取每一个波段的 FLAT 图像，完成 FLAT 的 BIAS 改正后进行合并，合并前后可以点击图像查看图像及数值。

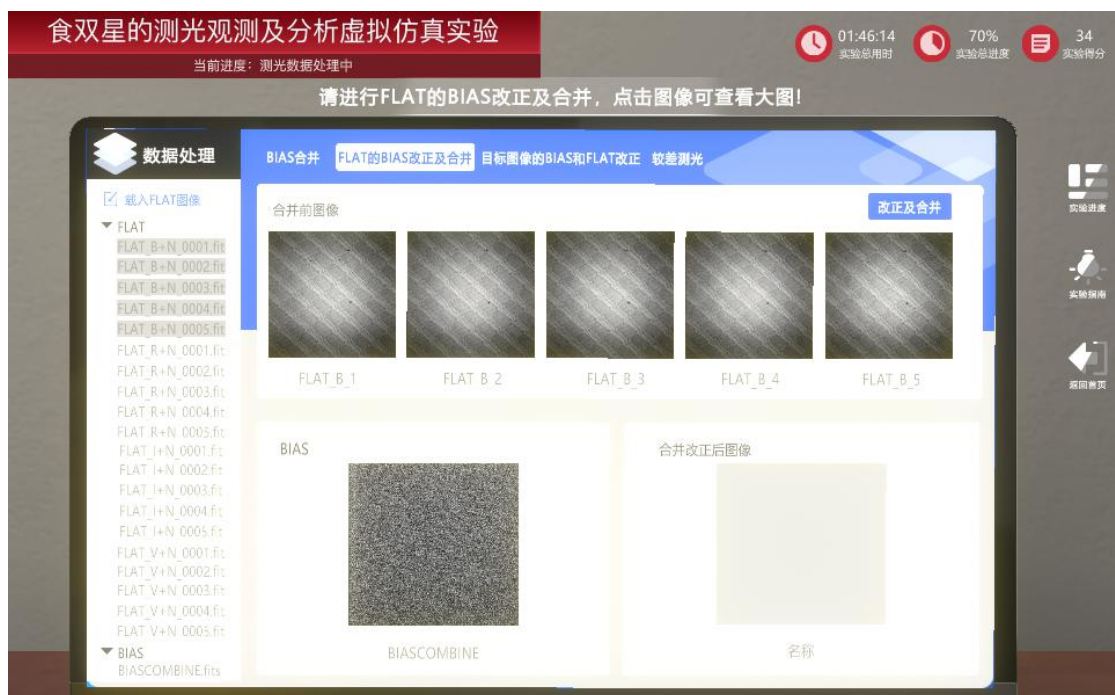


图 74 FLAT 合并准备

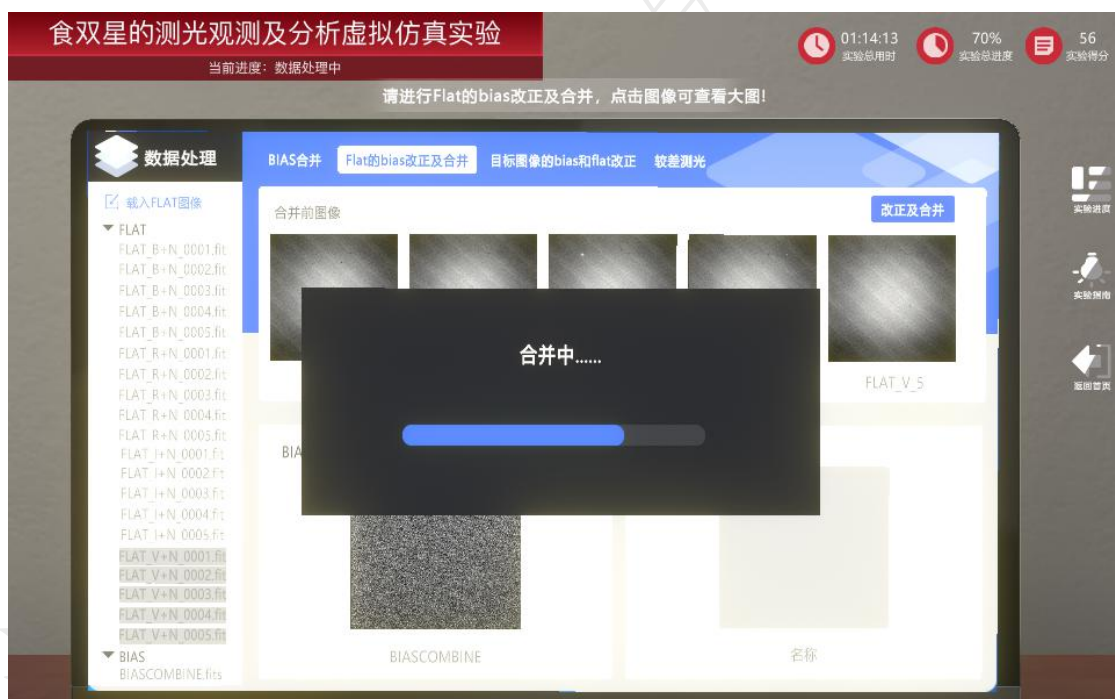


图 75 FLAT 合并进行中

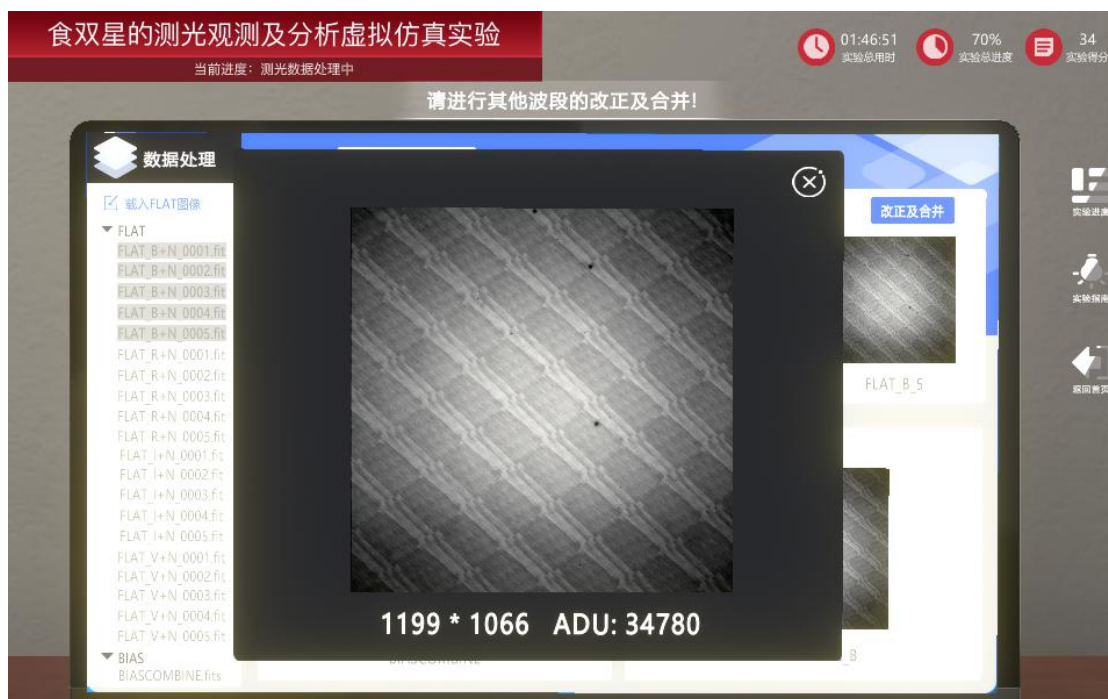


图 76 合并后的 FLAT 图像查看

步骤 3: 目标图像的 BIAS 和 FLAT 改正。

实验者选取各波段的目标图像，点选 BIAS 及对应的 FLAT 图像，分别对各波段的目标图像进行预处理。观测数据处理中需要对目标图像进行 BIAS、FLAT 的改正，以消除 CCD 相机本底，观测系统不均匀响应。实验者选取各波段的目标图像，点选合并后的 BIAS 及对应波段的 FLAT 图像，分别对各波段的目标图像进行改正处理。当选择了错误波段的 FLAT 图像进行改正时，数据处理将错误，系统将给出提示，如果已经做完改正的目标图像再次做改正时，不能多次进行改正，系统将给出提示，可以查看改正前后的图像。

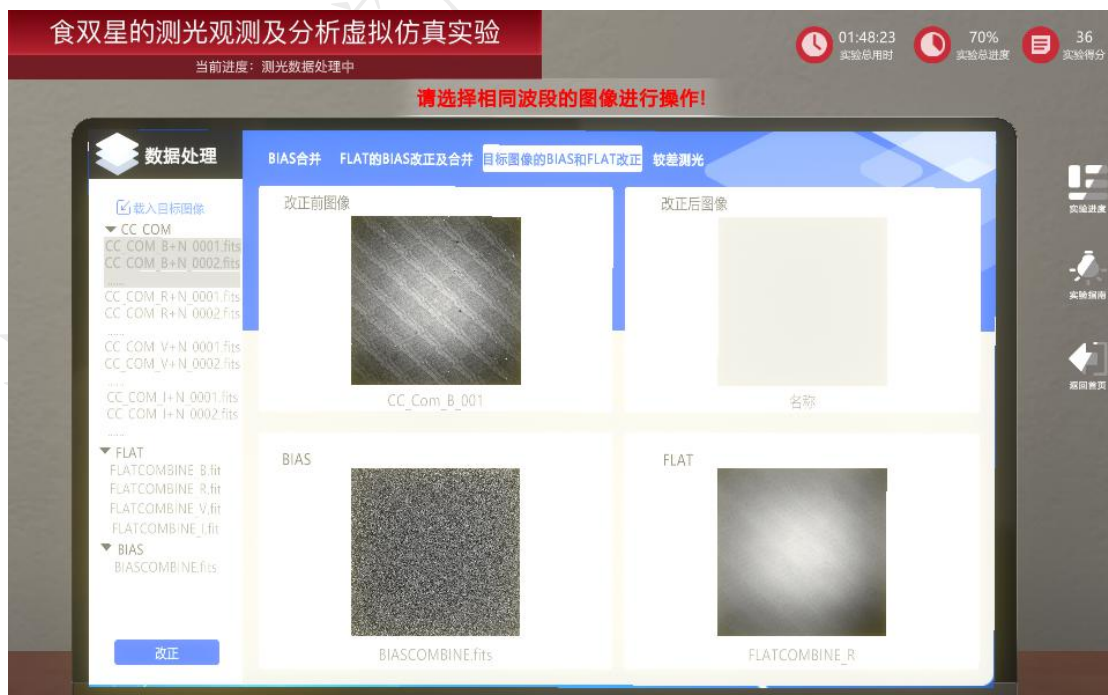


图 77 目标图像的 BIAS 和 FLAT 改正准备



图 78 目标图像的 BIAS 和 FLAT 改正

步骤 4: BIAS 及 FLAT 改正后的目标图像查看。

实验者通过对照查看预处理前后的图像，深入认识预处理的意义。

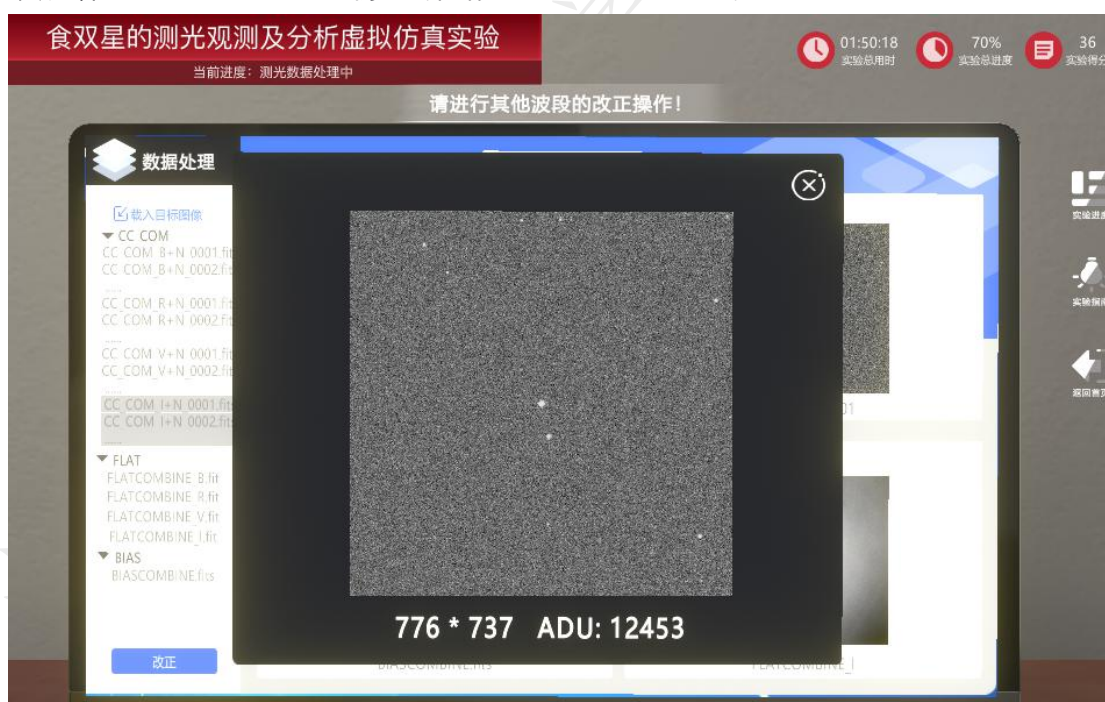


图 79 改正后的目标图像查看

步骤 5: 较差测光准备。

实验者根据提示了解较差测光原理及方法，并根据提示设置测光孔径、天光内径及宽度。根据提示，实验者给出实测过程中应该使用的测光参数。

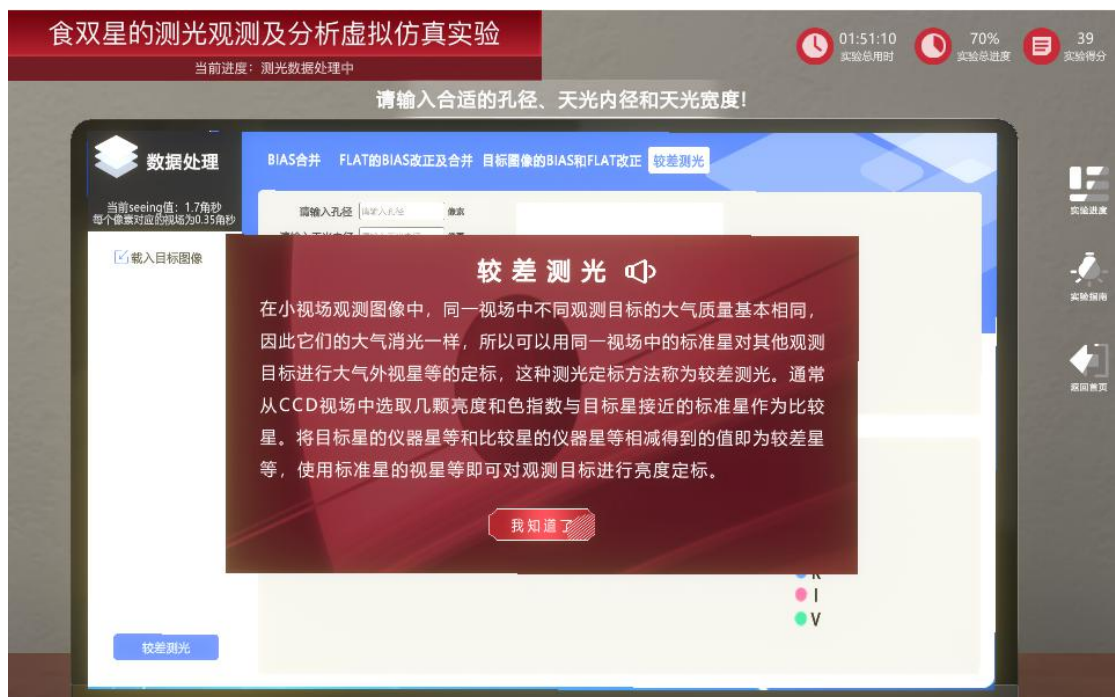


图 80 较差测光原理



图 81 测光参数设置

步骤 6: 较差测光。

实验者依次选择目标星、比较星、校验星进行较差测光，获得各波段光变曲线。

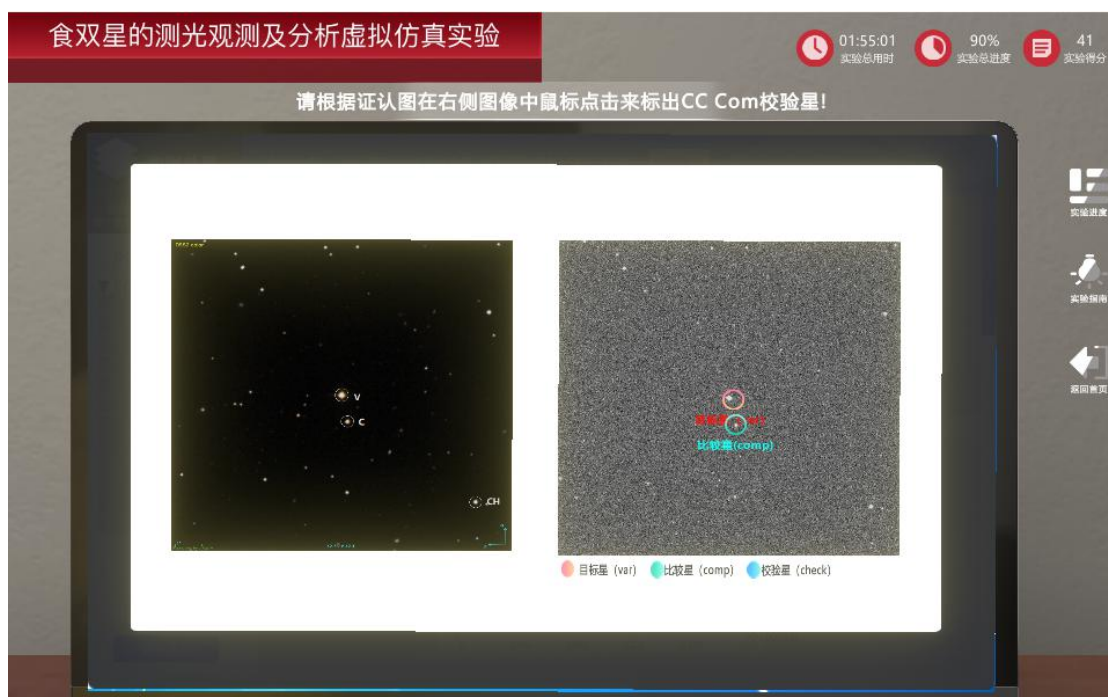


图 82 证认并选取拟测光天体



图 83 较差测光过程中

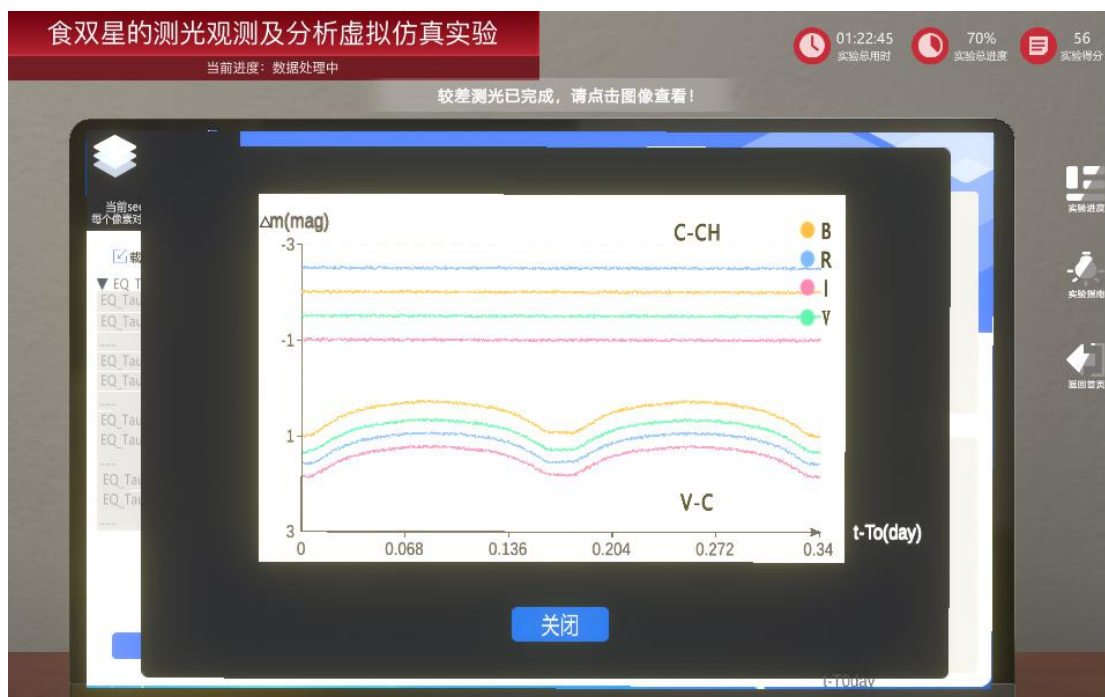


图 84 获得的较差测光曲线示例

步骤 7: 进入观测数据分析, 学习食双星光变曲线拟合方法与原理。



图 85 查看食双星光变曲线拟合方法与原理

步骤 8: 载入测光数据及视向速度数据。

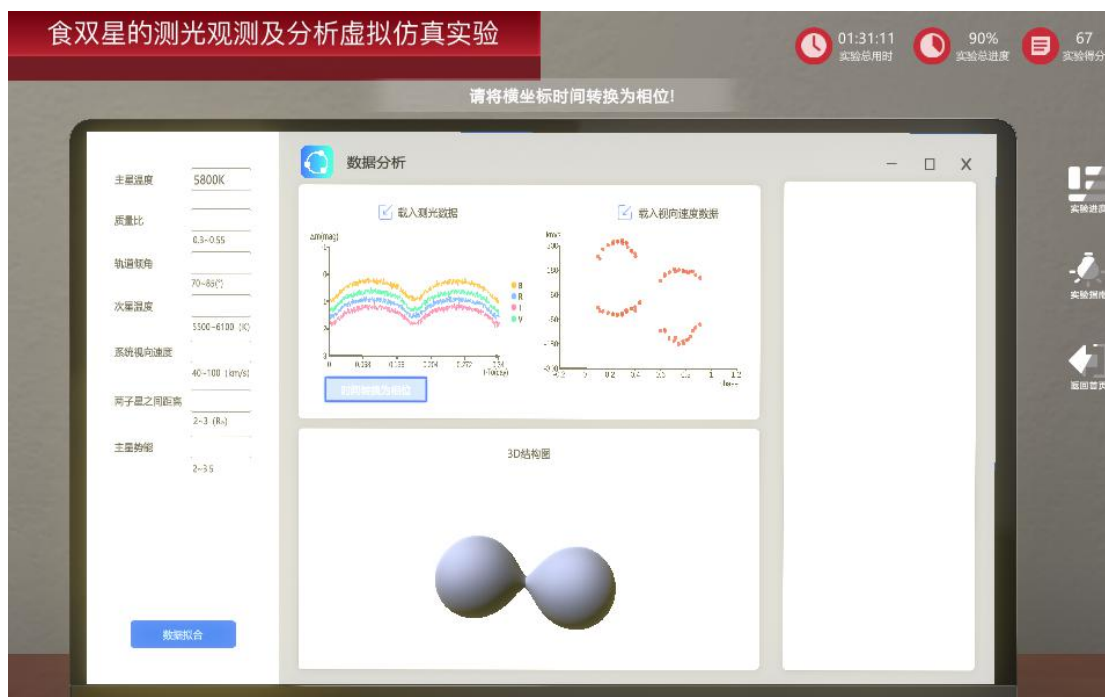


图 86 测光与光谱数据载入

步骤 9: 光变曲线相位化。

实验者利用 $T = T_0 + P \cdot E$ 将观测的曲线转为相位曲线 (其中 T 为观测时间, T_0 为主极小时刻, P 为光变周期), 并载入光谱观测得到的视向速度数据 (本实验直接使用光谱数据)



图 87 光变曲线相位化

步骤 10: 对质量比等参数进行初值设置, 拟合食双星的物理参数。

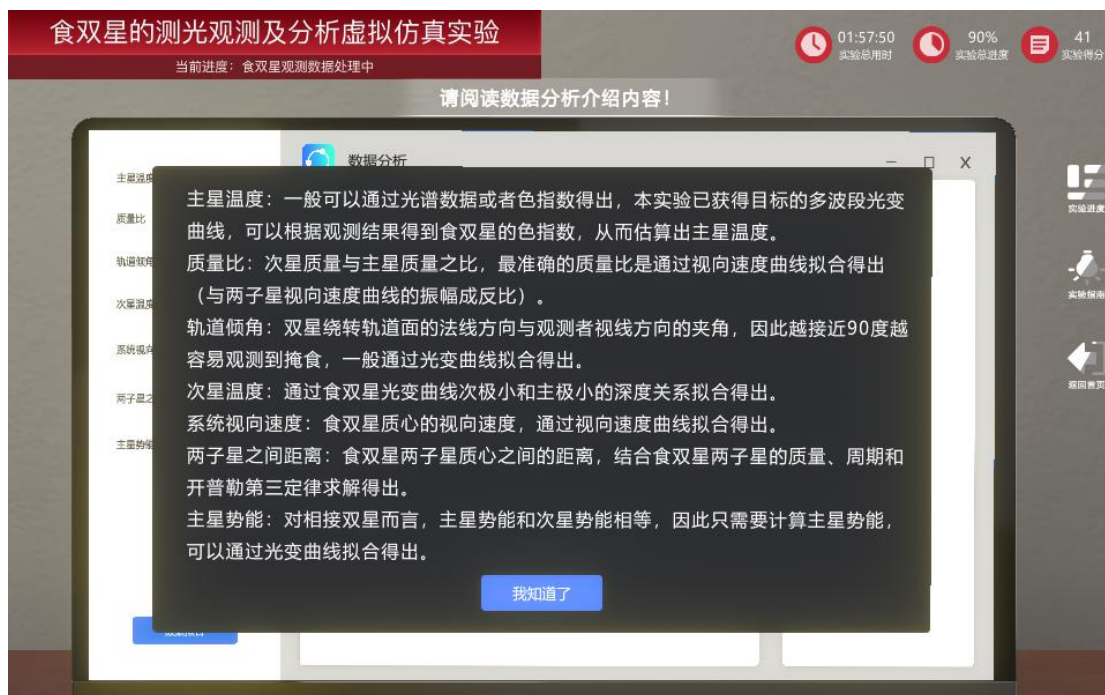


图 88 食双星物理参数含义



图 89 数据拟合

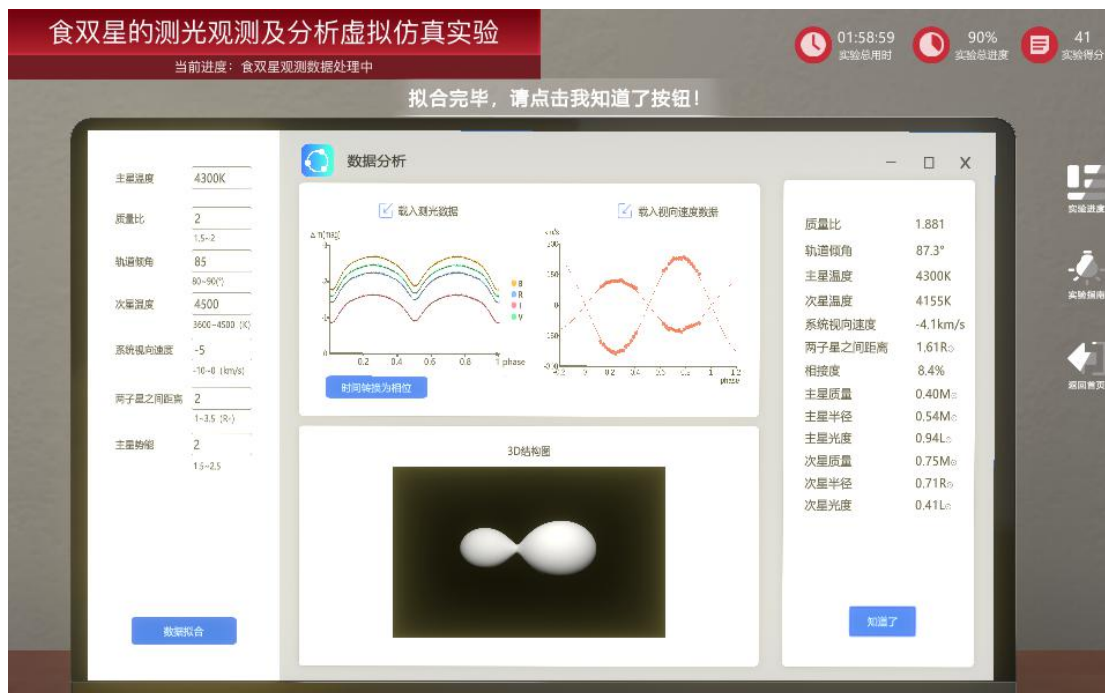


图 90 拟合结果查看

步骤 11：完成实验。

实验者输入实验总结与收获，生成实验报告并查看实验情况及成绩。实验完成后，学习者可以输入实验的体会和感想，之后可以自动生成实验报告，学习者可以下载实验报告。实验报告内容包括实验内容、学习者的观测目标图像、数据处理后的目标图像，数据处理得到的光变曲线、数据分析后得到的食双星 3D 图，同时包括学习者的成绩情况，考核题目的作答情况。

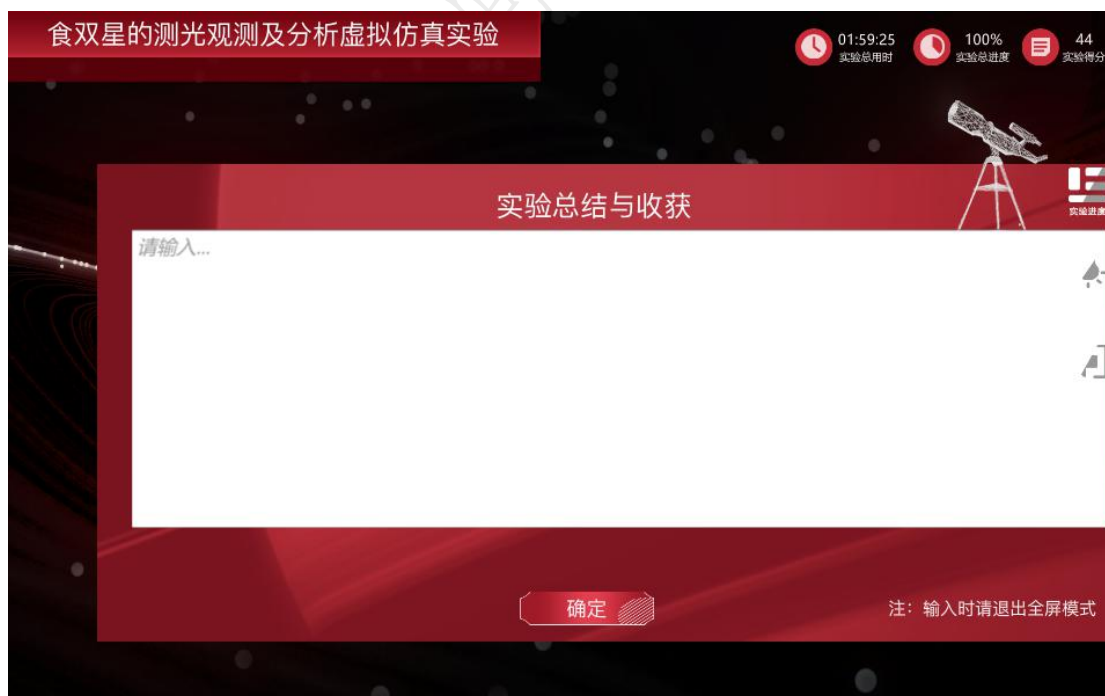


图 91 实验总结与收获输入

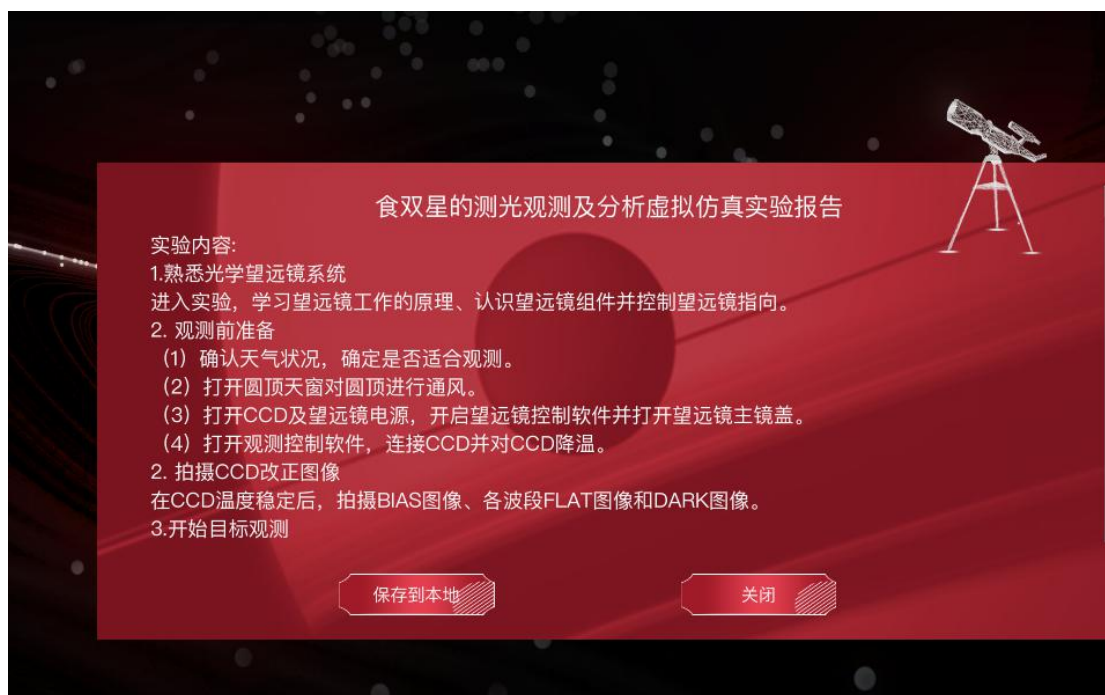


图 92 实验报告查看与保存