

射线光学模块

简介

射线光学模块简介

© 1998–2016 COMSOL 版权所有

受 cn.comsol.com/patents 中列出的美国专利和美国专利 7,519,518、7,596,474、7,623,991、8,457,932、8,954,302、9,098,106、9,146,652 及 9,323,503 的保护。

本文档和本文所述的程序根据 COMSOL 软件许可协议 (cn.comsol.com/comsol-license-agreement) 提供，且仅能按照许可协议的条款进行使用和复制。

COMSOL、COMSOL 徽标、COMSOL Multiphysics、Capture the Concept、COMSOL Desktop、LiveLink 和 COMSOL Server 为 COMSOL AB 公司的注册商标或商标。所有其他商标均为其各自所有者的财产，COMSOL AB 公司及其子公司和产品不与上述商标所有者相关联，亦不为其正式认可、赞助或支持。相关商标所有者的列表请参见 cn.comsol.com/trademarks。

版本：COMSOL 5.2a

联系信息

请访问“联系 COMSOL”页面 cn.comsol.com/contact，以提交一般查询、联系技术支持或搜索我们的联系地址及号码。您还可以访问全球销售办事处页面 cn.comsol.com/contact/offices，以获取地址和联系信息。

如需联系技术支持，可访问 COMSOL Access 页面并填写在线申请表，位于：cn.comsol.com/support/case 页面。其他有用的链接还包括：

- 技术支持中心：cn.comsol.com/support
- 产品下载：cn.comsol.com/product-download
- 产品更新：cn.comsol.com/support/updates
- COMSOL 博客：cn.comsol.com/blogs
- 用户论坛：cn.comsol.com/community
- 活动：cn.comsol.com/events
- COMSOL 视频中心：cn.comsol.com/video
- 技术支持知识库：cn.comsol.com/support/knowledgebase

文档编号：CM024202

目录

简介.....	5
射线光学仿真.....	5
物理场接口支持的空间维度和预设研究类型.....	10
几何光学设置.....	12
在释放特征允许频率分布.....	12
最大次级射线数.....	12
强度计算.....	12
使用强吸收介质校正.....	15
参考强度.....	15
曲率张量计算容差.....	15
计算光路长度.....	15
存储射线状态数据.....	15
壁精度阶次.....	16
产生随机数的参变量.....	16
射线释放特征.....	17
从格点释放.....	17
入口.....	17
释放.....	18
从数据文件释放.....	19
受照面.....	20
太阳辐射.....	20
边界条件.....	21
材料突变.....	21
壁.....	22

光栅.....	22
其他光学设备.....	22
分析光学像差.....	24
使用线性波延迟器操控射线偏振.....	25

简介

射线光学模块用于模拟波长远小于几何特征尺寸的电磁波传播。与其他基于求解偏微分方程得到的电场和磁场的模块一起构成完备的电磁波模拟工具集，这类基于求解偏微分方程的模块包括 RF 模块和波动光学模块。

几何光学接口用于计算射线的轨迹，射线轨迹可比电磁波大几个数量级。对于每条射线，都有一套耦合的一阶常微分方程组用于求解其位置和波矢。

射线可以从一个面、一个域或一组坐标上发射，在均匀介质或变折射率介质中传播，并可同时计算两种物质界面处的反射和折射光线的轨迹。预置丰富的边界条件，包括镜面反射和漫散射面的混合边界。各种预置特征可用于计算边界或域上的源项，这些源项可与其他物理场进行耦合。

可以定义任意数量的一阶偏微分方程，并随着时间或沿着射线轨迹进行求解，这些偏微分方程求解的变量称为助因变量。除用户定义的助因变量外，**几何光学**接口还包含内置的数量变量，常用于计算射线轨迹。这些内置助因变量可用于监测射线的强度和偏振态、计算光程、定义用于和其他物理场耦合的热源项，甚至对干涉图样进行可视化。

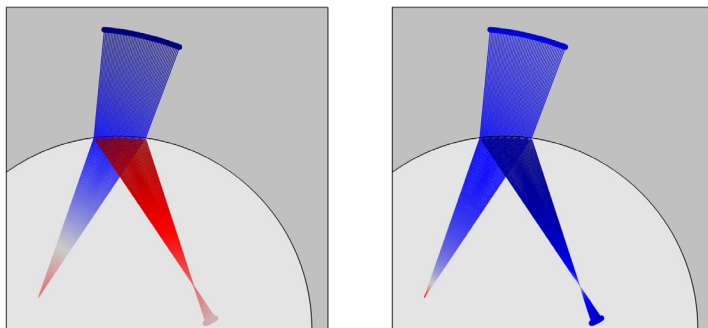
射线光学仿真

射线强度

通过计算波前的主曲率半径得到每条射线轨迹上的光强。主曲率半径是指前进电磁波和某个平面相交圆弧的半径。在靠近焦点附近的曲率半径可能会呈数量级减小，引起光强的相应增强。

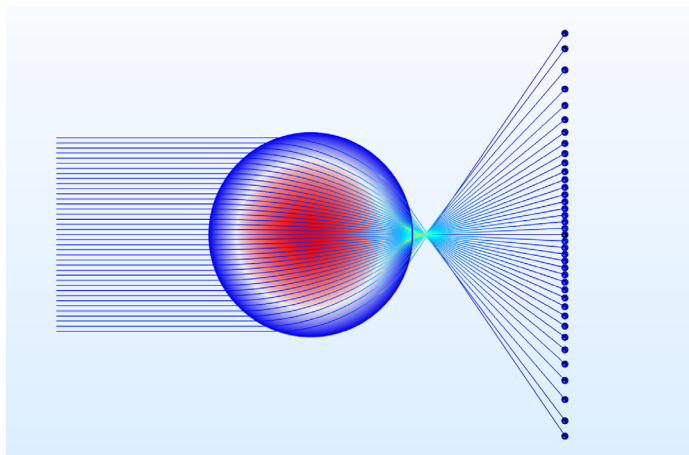
当通过不同介质边界时，光线产生折射同时产生一条反射光线。要创建反射光线，必须有可用的二次射线自由度。反射和折射光线的曲率半径通过入射光线

的曲率半径和曲面进行计算，壁上镜面反射光线的曲率半径采用类似的方法进行计算。



两种介质边界处的反射和折射光线的主曲率半径（左）和光强（右）

提供两种不同的光强计算方法，一种方法可计算折射率随空间位置连续变化的变折射率材料中的射线光强，另一种方法适用于除不同介质的边界外折射率均匀分布的材料中的射线光强计算。



由变折射率材料组成的伦伯透镜光强分布

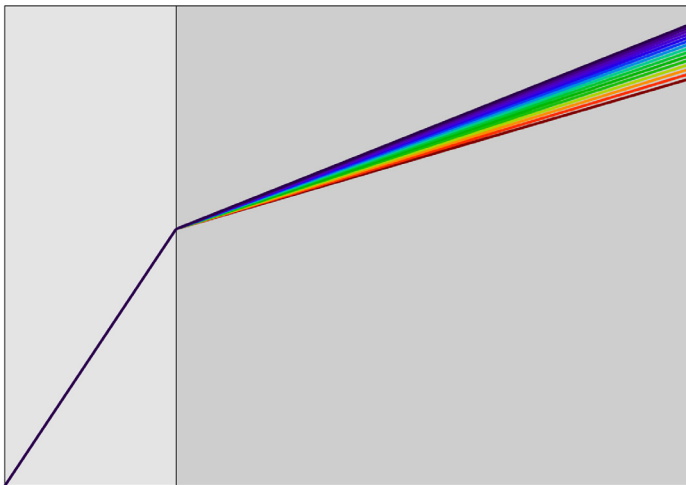
射线偏振

由于反射和折射光线的光强取决于入射光线的偏振态，因此，有关射线偏振态的信息对于精确的光强计算非常必要。每条射线都能计算得到 4 个斯托克斯参数。它们可看作是光通过起偏器和延迟器组成的光学器件得到的辐射能量。

在对光强和偏振态进行可视化时，斯托克斯参数是非常有效且灵活的方式，可以非常直观地发射和模拟不同偏振态光线的传播。可通过乘以斯托克斯矢量对多个常用光学设备（如起偏器）进行建模，该四元矢量通过米勒矩阵包含斯托克斯参数。如果计算了相位，则斯托克斯参数还可用于可视化干涉图样。

多色光辐射

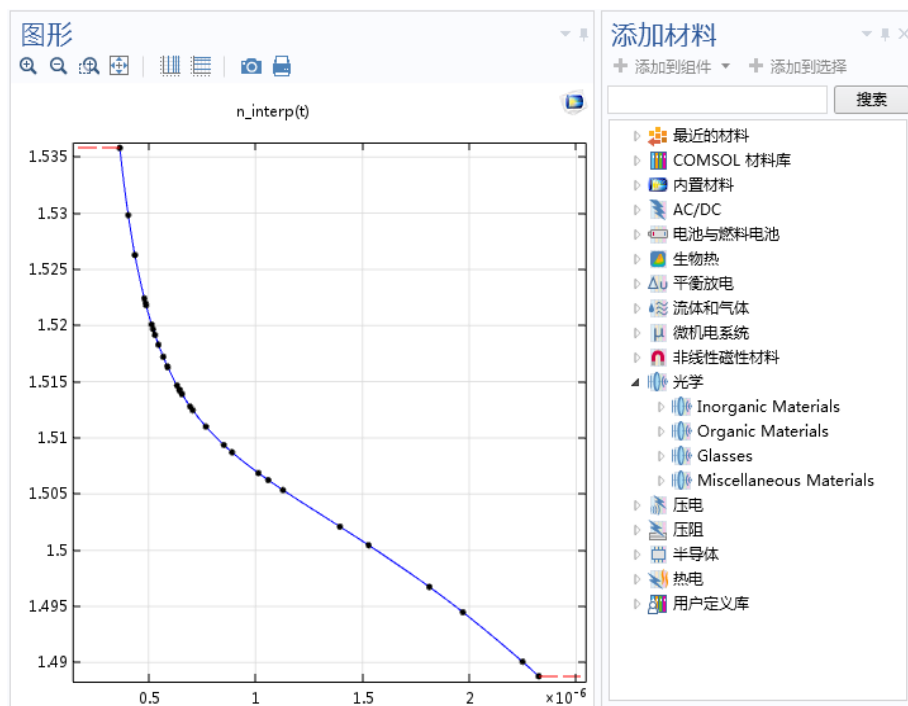
光与具有频率相关属性的介质或设备之间会相互作用，对此进行建模通常非常有用。例如，许多材料的折射率随真空中波长呈函数分布。在物理场接口设置区中进行设置即可发射一定频率分布的光，预置的频率分布函数包括正态、对数正态、均一分布及列表。基于以上功能可模拟多色光分离。



一束白光通过色散介质分离成单色光线，真空波长由不同颜色表示。

光学材料库

射线光学模块包含专门的光学材料库，其中包含超过 1400 多种材料的折射率数据，且折射率通常是频率的函数。



光学材料库（右）和某一材料折射率随真空波长的变化曲线（左）。

零件库

射线光学模块包含专有的零件库，其中包含射线光学仿真中常用元件的几何，例如普通透镜、镜子、反射镜、棱镜及分束器等。这些几何零件可以进行任意参数化，预置的选择可以非常方便地定义增透膜等。

零件库

刷新 更新 COMSOL “零件库”

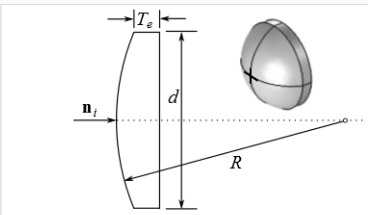
搜索

- COMSOL Multiphysics
- Microfluidics Module
- Mixer Module
- Multibody Dynamics Module
- Ray Optics Module
 - 2D
 - 3D
 - Aspherical Lenses
 - Beam Splitters
 - Cemented Doublets
 - Cylindrical Lenses
 - Mirrors
 - Prisms
 - Retroreflectors
 - Spherical Lenses
 - spherical equi concave lens 3d
 - spherical equi convex lens 3d
 - spherical meniscus lens 3d
 - spherical plano concave lens 3d
 - spherical plano convex lens 3d**
- Structural Mechanics Module

添加到几何

帮助 取消

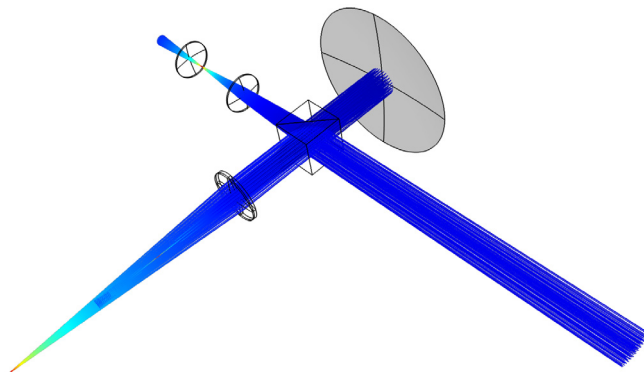
三维球形平凸透镜



具有一个凸面和一个平面的球形透镜。

名称	spherical_plano_convex_lens_3d
模型版本	1
空间维度	3
使用的产品	COMSOL Multiphysics
创建版本	COMSOL 5.1 (Build: 93)
作者	COMSOL
上次修改时间	Feb 13, 2015 7:35:58 PM
创建时间	Feb 13, 2015 7:35:58 PM

几何光学模块中的零件库。

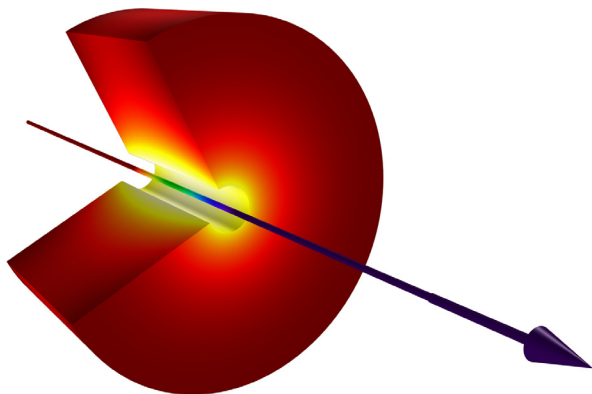


光线在由分束器，双胶合透镜，抛物面反射镜以及一对凸透镜组成的光学系统中传播，图中包含的所有光学元件都可以在零件库中找到。

多物理场耦合

射线传输的能量大小取决于射线的光强，波前曲率半径以及由波前所对的立体角，软件包含用于存贮光线能量信息的预置助因变量。

专门的射线加热多物理场耦合接口用于计算射线在损耗介质中传播产生的热，可与其他接口耦合计算温度分布，如固体传热接口。



光线穿过吸收材料层，引起介质层升温。

物理场接口支持的空间维度和预设研究类型

物理场接口	图标	标记	空间维度	可用的预设研究类型
光学				
射线光学				
几何光学		gop	三维，二维， 二维轴对称	射线追踪；双向耦合射线追踪；瞬态
射线加热		—	三维，二维， 二维轴对称	射线追踪；双向耦合射线追踪；瞬态

几何光学

几何光学接口 () 位于**模型向导**的射线光学分支下，可用于计算电磁波的传播轨迹。默认设置下仅计算射线的位置和波矢，通过修改设置来计算包括光强在内的其他物理量，可计算变折射率介质和非连续介质中的传播。

射线加热

射线加热接口 () 位于**模型向导**的射线光学分支下，耦合了**几何光学接口**和**固体传热接口**。当射线在吸收介质中传播时会产生热，射线加热接口会自动计算所产生的热，并计算由此形成的温度分布。

通过使用双向耦合射线追踪研究步骤，可计算由于射线产生热导致的温度分布以及带来的折射率变化，并同时计算折射率变化引起的射线传播轨迹的变化，通过自洽的方式同时计算射线轨迹和温度分布。

几何光学设置

通过单击模型开发器中的几何光学节点可完成下述设置，这些设置用于控制每条射线的变量，例如斯托克斯参数和光程等。某些情况下，这些设置会改变射线的释放方式或影响射线轨迹的计算。

在释放特征允许频率分布

在释放特征复选框中选择**允许频率分布**，以允许单独指定每条光线的光线频率。可指定包括列表值、正态分布、对数正态分布及均一分布等不同频率分布类型。

最大次级射线数

当射线和非连续介质相互作用时，将释放反射光线和折射光线。其中折射光线具有和入射光线相同的自由度，而反射光线将作为次级射线。此外，光栅的高阶衍射光也可作为次级射线。

在求解开始时必须给次级射线分配一定的自由度，因此有必要指定最大次级射线数。如果该值过小，可能导致非连续界面处无法释放发射线。

强度计算

本设置用于确定是否使用计算光强的助因变量。默认设置为**无**，表明不定义任何用于计算光强的变量。

计算强度选项定义光强计算中所需的所有变量，包括描述偏振的、部分相干的以及非偏振辐射的 4 个斯托克斯参数。建议将此选项用于计算光线在均匀介质中的传播时的光强。

计算强度和功率选项定义了光强计算所需的变量以及用于计算边界和域热源的额外变量。此选项通常用于光线对周围温度具有较大影响的情况。

计算变折射率介质中的强度选项定义了光线在变折射率材料传播中光强计算所需的变量，所谓的变折射率材料是指材料折射率随空间分布函数为连续函数。同**使用主曲率**选项一样，此选项也支持发射任意偏振态的光线。

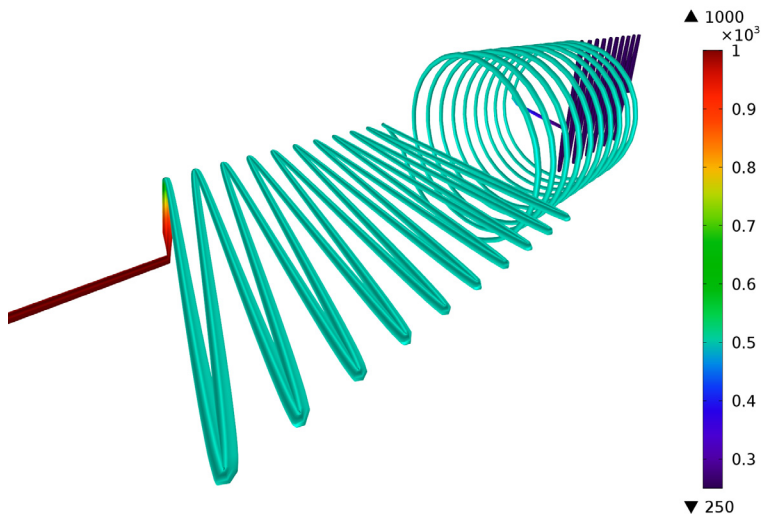
计算变折射率介质中的强度和功率选项定义了光线在变折射率材料传播中光强计算所需的变量以及用于计算边界和域热源的额外变量。此选项通常用于光线对周围温度具有较大影响的情况。

计算相位

仅当计算射线光强时才显示**计算相位**复选框。

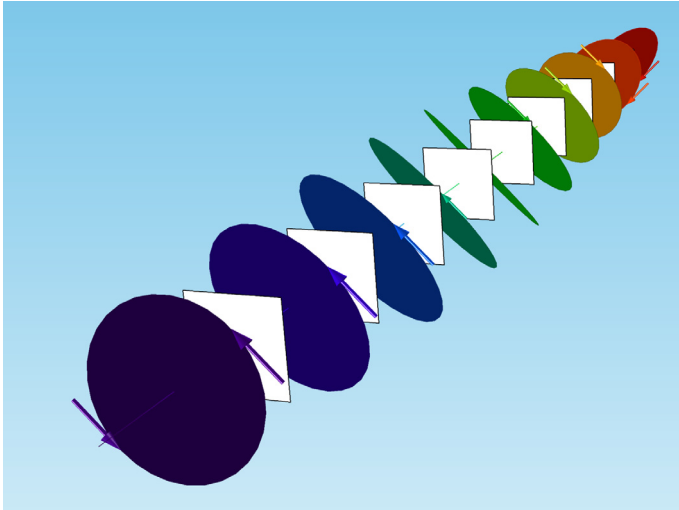
选择**计算相位**复选框可声明相位的变量。计算相位时，可得到多条光线在平面中相互作用形成的干涉图样。

如果要可视化显示偏振光的瞬时电场强度，可发射一束非常宽谱的光并进行相位计算，然后在结果的射线轨迹节点下添加变形，变形操作将根据瞬时电场强度改变光线的位置，例如线偏振光将显示为正弦曲线，而圆偏振光将显示为螺旋线。



波延迟器将线偏振光转化为圆偏振光，可通过在射线轨迹绘图节点下应用变形节点对偏振态的变化进行可视化。

也可通过使用内置的偏振椭圆半长轴和偏振椭圆半短轴变量来可视化偏振光的偏振态，由于本方法并不基于瞬时电场强度，因此无需进行相位计算。



通过一系列线性波延迟器来传播的圆偏振光的偏振椭圆。

使用强吸收介质校正

仅当计算光强时才显示此选项。

当材料的复折射率虚部和实部具有相当的数量级时，非连续介质中重置光强和方向的经典方程不再适用，选中**使用强吸收介质校正**复选框以应用修正后的斯奈尔定律和菲涅尔方程精确计算光线在强吸收介质中的传播。此选项额外在二维模型中定义 2 个变量，而三维模型中将定义 3 个额外变量，这些额外的自由度用来存储电场强度等值面的方向。

参考强度

仅当计算光强时才显示**参考强度**文本框。参考强度仅用于评估模型中射线典型光强的数量级，以定义某些特殊极限情况下的容差。

曲率张量计算容差

仅当使用基于曲率张量的方法计算光强时才显示**曲率张量计算容差**文本框，该容差用于某些特定极限情况下（例如球面波）确定内部容差。一般而言，大的容差可增强模型的数值稳定性，但模型的精度会下降。

计算光路长度

选中**计算光路长度**复选框可定义一个描述光路长度的变量，当光线和某些特定边界相互作用时该变量可重置为 0，该行为可通过选择边界条件设置窗口中的**重置光路长度**复选框来控制。

存储射线状态数据

选择**存储射线状态数据**选项可存储每条射线的发射时间、停止时间及最终状态。通过射线状态可判断射线是否被发射，是否正在传播（激活），或是否已粘附、冻结或消失于某边界。

壁精度阶次

壁精度阶次决定射线与边界相互作用时进行外推射线位置所采用的时间步长类型。1 阶表明相互作用前后都采用前向欧拉步长；2 阶（默认选项）表明射线 - 边界相互作用之前采用二阶泰勒法，而相互作用之后则采用二阶龙格库塔法。

产生随机数的参变量

本设置仅影响使用了随机数的模型，例如漫散射壁根据兰伯特余弦定理发射任意方向的反射光线。

产生唯一参变量（默认）选项可确保所有包含随机数的物理特征采用相同的设置产生随机数，此选项可保证连续多次运行模型得到相同的结果。

产生随机参变量选项可在每次计算射线路径时都随机生成随机数的种子，采用此选项可以确保多次运行时得到唯一的结果。

用户定义选项可对每个随机数指定不同的种子，当选择该选项时会在设置区中出现针对每个随机数的额外文本框。

允许在选定的域外传播

默认情况下，**允许在选定的域外传播**复选框已选中。这个选项使射线可以在**几何光学**接口设置窗口中选择的域列表之外传播。射线设置可以通过几何外部的空隙区域传播。

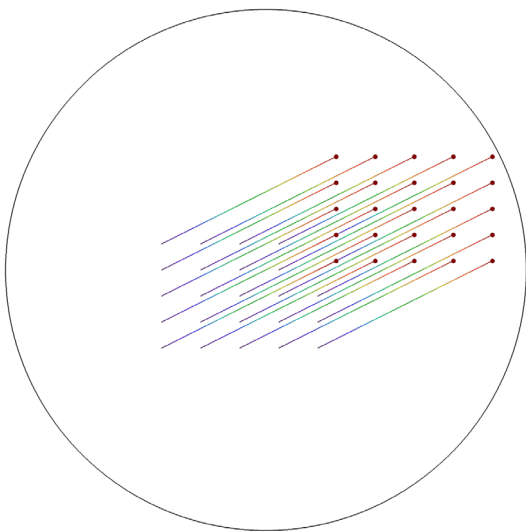
射线可通过未剖分网格的域无阻传播，但是，若要与边界相互作用，必须存在边界网格。

射线释放特征

释放特征用于指定射线的初始位置和方向。如果模型中定义了其他类似光强的变量，这些变量的初始值也可通过释放特征来定义。在几何光学接口中包含以下释放特征。

从格点释放

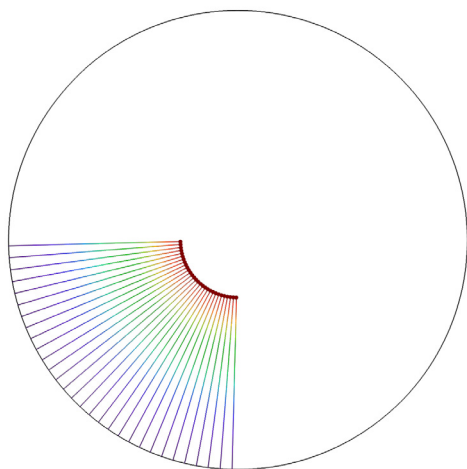
从格点释放允许用户指定每条射线的初始位置坐标并生成一系列格点，适用于射线初始位置已精确确定的情况。



由一系列格点释放的射线，颜色表示光程。

入口

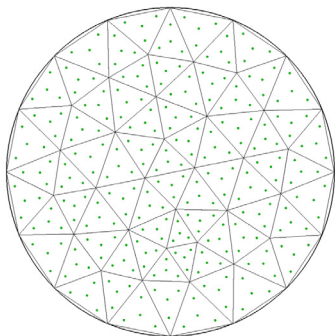
入口特征用于从边界释放光线。释放的光线可以均匀分布，基于格点或由密度函数定义。本特征还包含根据表面曲率设置初始波前曲率的内置选项，该方法定义的射线在表面曲率中心处具有最大光强。



垂直于边界释放的射线，继承曲率的初始半径。颜色表示射线光强对数值，曲率中心位置处光强趋于无穷大。

释放

释放特征用于从域释放光线。与用户指定光线初始位置的**基于格点释放**不同，**释放**根据网格定义射线初始位置，也支持使用密度函数释放光线。



基于网格释放的射线，给出了网格剖分结果以及射线初始位置，其中细化因子为 2。

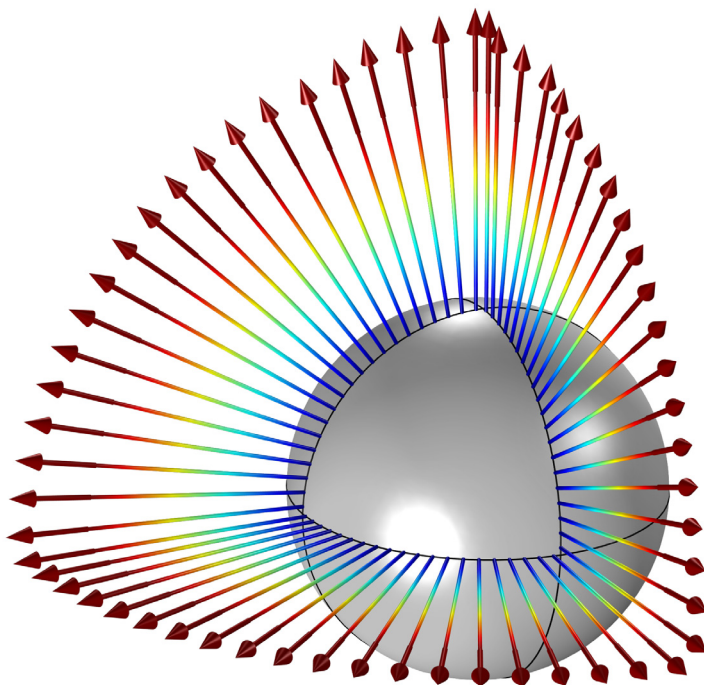
从数据文件释放

使用导入文本文件的列来指定射线的初始位置和方向，适用于从某个特定位置释放大量射线的情况。

从边和点释放

在三维模型中，通过**从边释放**特征可沿三维几何中的边释放光线。同样，**从点释放**特征可用于从几何的选定点释放光线。

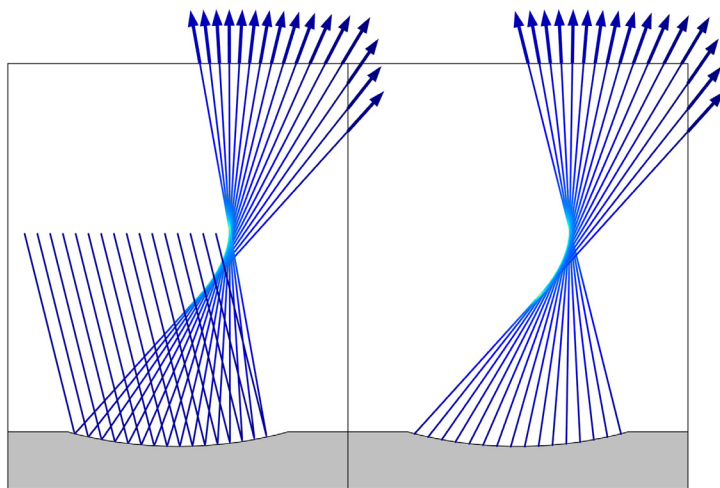
沿边释放光线时，可通过基于网格、用户定义的密度或沿边均一分布的方式定义射线的初始位置。



射线可以从几何的任意选定边释放。上图中射线从球面的三条边释放出来。

受照面

受照面是一种特殊边界条件，用于定义基于反射或折射释放射线；指定入射光为平面波或点源，自动计算反射光和折射光方向；内置了受太阳光照射产生反射和折射的选项。内置的校正选项可用于考虑表面粗糙度，从有限尺寸源释放光线以及太阳辐射引起的临边昏暗效应。



比较边界对射线的反射（左）和受照面特征释放的射线（右）。

太阳辐射

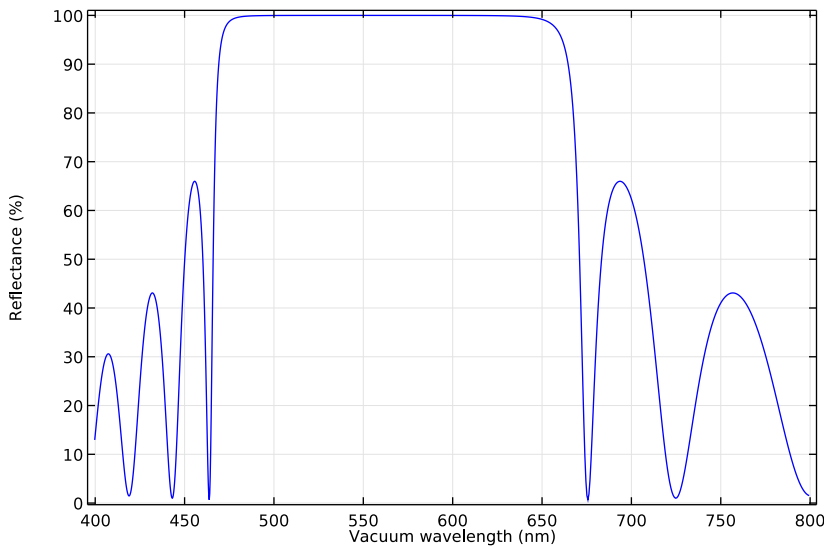
太阳辐射与从格点释放类似，但只能释放非偏振光且根据太阳位置计算射线的初始位置。可根据日期时间和经纬度定义太阳位置。预置了多个主要城市的坐标。

边界条件

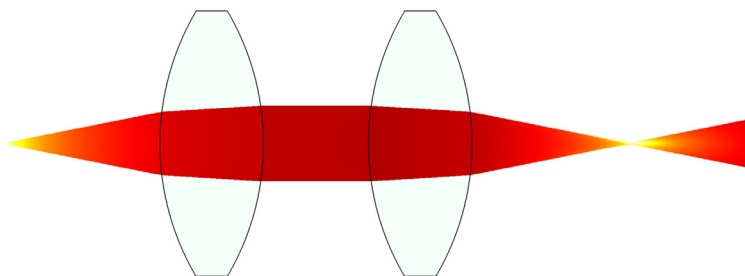
材料突变

材料突变是默认的内部边界条件。材料突变边界处将产生反射和折射光，根据菲涅尔方程计算光强。由于支持偏振光，重置光强时可考虑入射光的偏振态。

可在材料突变边界处增加薄介电膜，使得抗反膜和分束器仿真变得非常方便。一系列的内置设置可自动完成特定反射率和透射率的镀膜设置，也可用于指定周期性的镀膜结构，例如分布式布拉格反射器。



分布式布拉格反射器的反射作为自由空间波长的函数。



球面波被两个柱状凸透镜组成的透镜组聚焦。

壁

壁是默认的外部边界条件。可使光线冻结、粘附、消失或反射。支持漫散射和镜面反射，还可根据用户定义的表达式进行反射。

光栅

光栅特征用于对衍射光栅进行建模。默认情况下释放 0 阶透射和反射光，也可添加**衍射级**子节点释放高阶衍射光，其中 0 阶反射线和其他高阶衍射线都需要占用由**最大次级射线数**定义的额外自由度。

其他光学设备

多种常用光学元件可用作操控入射光线的斯托克斯参数的边界条件。

线性偏振器

线性偏振器用于传输沿用户定义的透射轴线性偏振的辐射。

线性波延迟器

线性波延迟器在两个正交的偏振态之间形成一定相移。通过指定快轴方向可将线偏振光更改为圆偏振光，反之亦然。

圆形波延迟器

偏振旋转器的**圆形波延迟器**可用于绕光线方向矢量旋转光线的偏振态。

理想消偏器

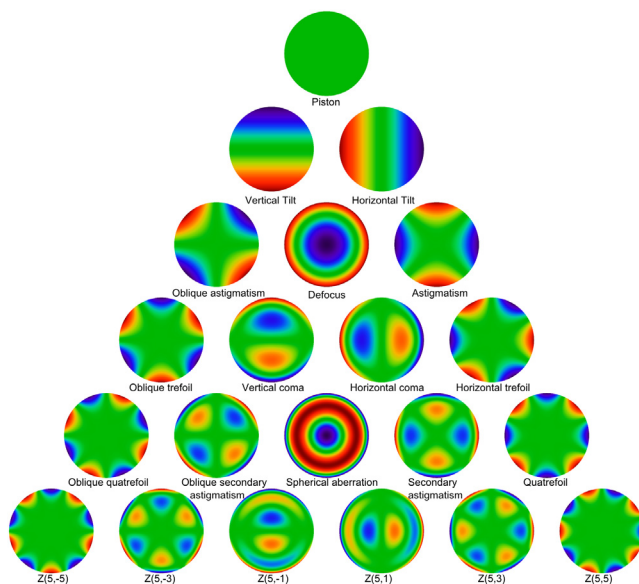
可将所有入射光线转换为非偏振辐射。

MUELLER 矩阵

可用于定义某边界是多种光学元件的串联，在 Mueller 矩阵节点下可设置任意矩阵，将该矩阵和入射光的斯托克斯参数相乘得到任意偏振态的出射光。

分析光学像差

射线光学模块可用于研究透镜系统中的单色像差。要执行该研究，可使用**光学像差**或**像差评估**功能。这些功能可计算由透镜和镜面系统聚焦的射线的波前误差，然后将波前误差表示为 Zernike 多项式的线性组合。



Zernike 多项式，常用于描述单色像差的标准正交多项式基。

使用线性波延迟器操控射线偏振

本节详细介绍光线在一组光学元件中传播的轨迹和斯托克斯参数的详细计算步骤。通过合理组合多个光学元件可实现对光强和偏振态的控制，可在后处理时沿光线轨迹绘制偏振椭圆图来可视化光强和偏振态的变化。

模型向导

注：这些操作说明基于 Windows 用户界面，但同样适用于 Linux 和 Mac 系统，只是界面稍有不同。

- 1 双击桌面上的 COMSOL 图标打开 COMSOL 软件。可选择**模型向导**或**空模型**来新建模型。在本教程中，单击**模型向导**按钮。

如果 COMSOL 软件已打开，可单击文件菜单下的**新建**  按钮，然后单击**模型向导** .

模型向导会引导您完成建模的第一步，接下来需要选择模型的空间维度。

- 2 在**选择空间维度**窗口中单击**三维**按钮 .
- 3 在**选择物理场**窗口，展开**光学 > 射线光学**，并单击**几何光学** .
- 4 单击**添加**，然后单击**研究**  按钮。
- 5 在**预设研究树**中，单击**射线追踪** .

射线追踪研究步功能与**瞬态**  研究步类似，但包含更适合射线追踪计算的额外和默认设置。

- 6 单击**完成**  按钮。

全局定义

1 在主屏幕工具栏中单击**参数** P_i 。

注：在 Linux 和 Max 系统中，**主屏幕**工具栏是指 Desktop 顶部的一组特定的控制按钮。

2 在**参数** P_i 的**设置**窗口中，找到**参数**栏。

3 在表中输入以下设置：

设置			
参数			
▼ 参数			
名称	表达式	值	描述
delta	0	0	Retardance

几何

几何包含三个边界，这些边界用于定义光学元件。

1 在**几何**工具栏上，单击**工作平面** .

2 在**工作平面**设置窗口中，找到**平面定义**栏。

3 在 **z 坐标**文本框中，键入 1。

4 在**模型开发器**窗口的**组件 1 (comp1) > 几何 1 > 工作平面 1 (wp1)** 下，单击**平面几何** .

5 在**工作平面**工具栏上，单击**体素**  并选择**正方形** .

6 在**正方形 1 (sq1)** 的**设置**窗口中，找到**位置**栏。

7 从**基准**列表中，选择**中心**。

8 在**模型开发器**窗口中，单击**几何 1**。

9 在**几何**工具栏上，单击**变换**  并选择**阵列** .

10 在**阵列**的设置窗口中，找到**输入**栏。

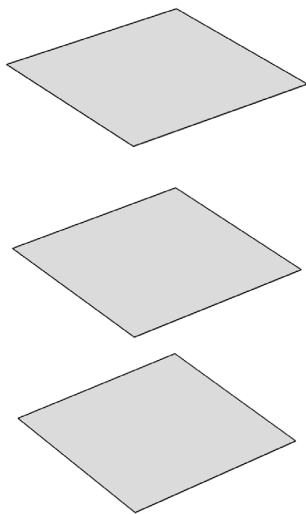
11 仅选择**对象 wp1**。

12 在**阵列**的设置窗口中，找到**尺寸**栏。

13 从**阵列类型**列表中，选择**线性**。

14 在**尺寸**文本框中键入 3。

- 15 找到**位移**栏，在 z 文本框中键入 1。
- 16 单击**构建所有对象**  按钮。
- 17 在图形工具栏上单击**缩放到窗口大小** 。您应会看到图形窗口中显示的几何，如下所示。



这三个面将用于标识三个光学元件。该模型包含通过所有三个元件的单一射线。

物理场接口

由于在非连续性材料界面处不发生反射，可以将最大次级射线数设为 0。这样可以减少模型的自由度数，提高模型的计算效率。

- 1 在**模型开发器**窗口中，单击**组件 1(comp1)**  下的**几何光学 (gop)** 节点 .
- 2 在**几何光学**的**设置**窗口中，找到**射线释放和传播**栏。
- 3 在**最大次级射线数**文本框中键入 0。
- 4 找到**强度计算**栏。从**强度计算**列表中选择**计算强度**。

添加射线释放特征。

- 1 在**物理场**工具栏中，单击**全局** ，然后选择**从格点释放**。
- 2 在**格点释放**的**设置**窗口中，找到**射线方向矢量**。
- 3 指定 L_0 矢量：

▼ 射线方向矢量

射线方向矢量:

表达式 

射线方向矢量:

L_0	0	x	1
	0	y	
	1	z	

创建一对光轴正交的线性起偏器。

- 4 在**物理场**工具栏中，单击**边界** ，然后选择**线性偏振器** 。
- 5 仅选择**边界 1**。
- 6 在**物理场**工具栏中，单击**边界** ，然后选择**线性偏振器** 。
- 7 仅选择**边界 3**。

编辑第二个**线性偏振器**节点，使其透射轴与第一个轴垂直。

- 8 在**线性偏振器 2**节点的**设置**窗口中，找到**设备属性**栏。
- 9 根据下图指定 T 矢量：

▼ 设备属性

透射轴明细表:

用户定义 

透射轴:

T	0	x	1
	1	y	

接下来，添加一个四分之一波长减速器以控制出射射线的强度。

- 10 在**物理场**工具栏中，单击**边界** ，然后选择**线性波减速器** 。
- 11 仅选择**边界 2**。
- 12 在**线性波减速器 1**节点的**设置**窗口中，找到**设备属性**栏。

13 根据下图指定 F 矢量：

设备属性

快速轴明细表:

用户定义

快速轴:

1	x	1
1	y	
0	z	

14 在文本框中键入 delta。

研究

1 在研究工具栏中，单击参数化扫描 。

2 在参数化扫描的设置窗口中，找到研究设置。

3 单击添加 。

4 在表中输入以下设置：

研究设置

扫描类型: 指定组合

参数名称	参数值列表	参数单位
delta (Retardance)	0 pi/2 pi	rad

↑ ↓ + - 保存 打印

5 在模型开发器窗口中，单击研究 1 节点下的步骤 1：射线追踪。

6 在射线追踪的设置窗口中，找到研究设置。

7 从时间步长规格列表中选择指定最大路径长度。

8 单击长度文本框旁边的范围图标 。

9 在范围对话框的步长文本框中键入 0.1。

10 在停止文本框中键入 4。

11 单击替换。

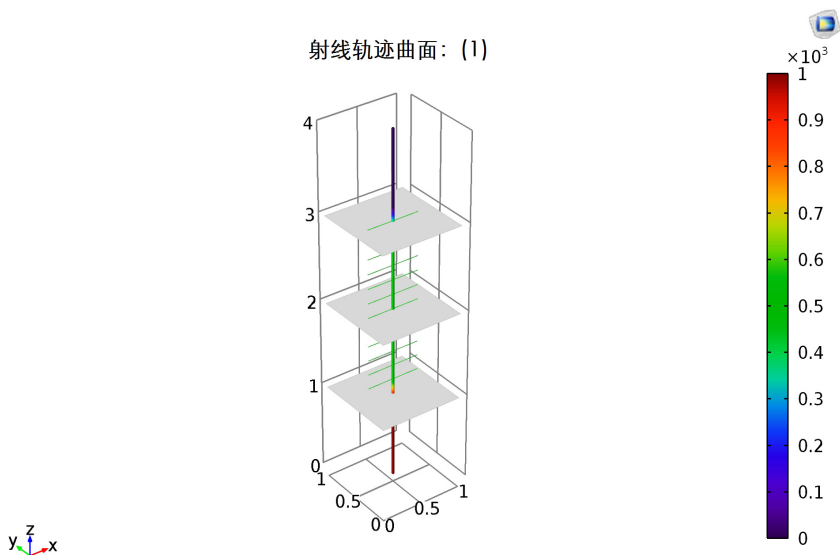
12 在研究工具栏中，单击计算 。

结果

为每个延迟性值创建射线追踪图。

- 1 在**模型开发器**窗口中，右键单击**结果**选择**三维绘图组** .
- 2 在**标签**文本框中输入 No Wave Retarder。
- 3 在**三维绘图组**的**设置**窗口中，找到**数据**，然后将**数据集**改为**射线 1**。
- 4 从**参数值 (delta(rad))** 中选择 0。
- 5 找到**绘图设置**栏。清除**绘图数据集边界**复选框。
修改默认绘图以表示光线的强度和偏振态。
- 6 在**模型开发器**窗口中，右键单击 No Wave Retarder ，然后在**更多图**中选择**射线轨迹** .
- 7 在**射线轨迹 1**  节点的**设置**窗口中，找到**着色和样式**。
- 8 将**线样式**下的**类型**更改为**管**。
- 9 将**点样式**下的**类型**更改为**椭圆**。默认的**长半轴**和**短半轴**表达式分别为射线偏振椭圆的长半轴和短半轴。
- 10 在**最大椭圆数**编辑框中键入 25。
- 11 在**模型开发器**窗口中，展开**结果 > No Wave Retarder**  > **射线轨迹 1**  节点，然后单击**颜色表达式 1** .
- 12 找到**着色和样式**栏。从**颜色表**中选择 Spectrum。
- 13 在 No Wave Retarder 工具栏上，单击**表面** .
- 14 在**表面 1**  节点的**设置**窗口中，找到**数据集**栏。并从**数据集列表**中选择**研究 1/ 解 1**。
- 15 找到**着色和样式**栏。从**着色列表**中选择**均匀**。
- 16 从**颜色列表**中选择**灰色**。
- 17 单击**绘制** .
- 18 单击**图形**工具栏上的**切换到默认三维视图** .

将结果图与下图进行比较。



由上图可知，经过非偏振光后第一个线性偏振器光强减半，经过第二个光轴垂直的线性偏振器后光强进一步降低为 0；由偏振椭圆可知，两个线性偏振器之间的光线属于线偏振光。

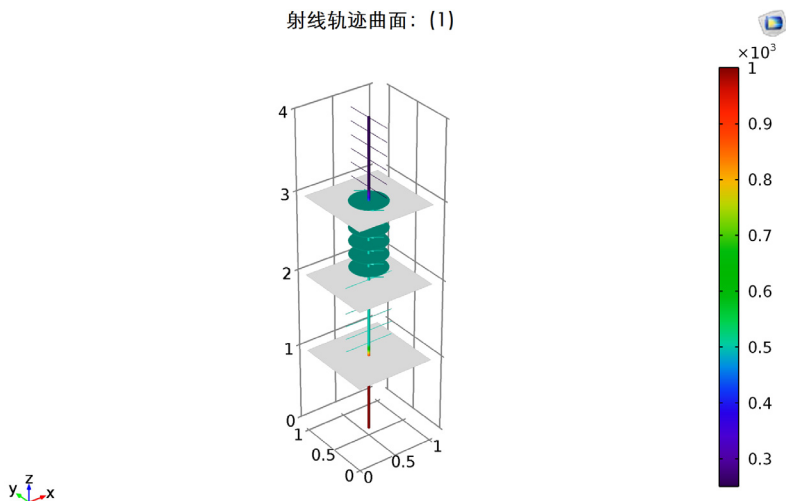
19 在**模型开发者**窗口中，右键单击 **No Wave Retarder** 节点，然后选择**生成副本**。或在快捷工具栏上依次单击 **No Wave Retarder** 和**生成副本**。

20 在**标签**文本框中输入 Quarter-Wave Retarder。

21 在**数据集**下的**参数值 (delta(rad))** 中选择 1.5708。

22 单击**绘制**。

将结果图与下图进行比较。



四分之一波长减速器使平行光轴电场分量和垂直光轴电场分量发生相移，导致线偏振光变成圆偏振光。第二个线性偏振器将圆偏振光变成线偏振光，并且光强减半。

23 在模型开发器窗口的结果下，右键单击 **Quarter-Wave Retarder**，并选择生成副本 。或在快速访问工具条上依次单击 **Quarter-Wave Retarder** 和生成副本 。

24 在标签文本框中输入 Half-Wave Retarder。

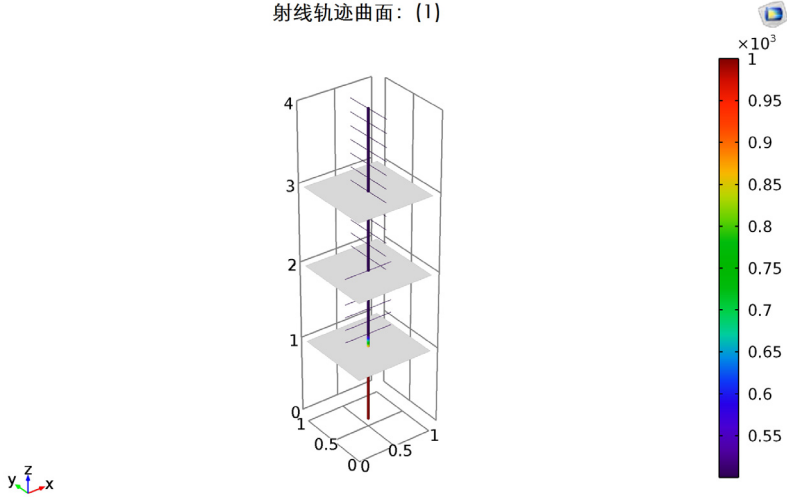
25 在 Half-Wave Retarder 绘图组的设置窗口中，找到数据栏。

26 从参数值 (delta(rad)) 列表中选择 3.1416。

27 单击绘制 。

将结果图与下图进行比较。

射线轨迹曲面: (1)



经过半波片时，射线仍然是线偏振的，但偏振方向发生了旋转，因此经过第二个线性偏振器时没有任何光强损耗。