

<<多层介质红外热辐射传输>>

图书基本信息

书名：<<多层介质红外热辐射传输>>

13位ISBN编号：9787030348180

10位ISBN编号：7030348184

出版时间：2012-9

出版时间：科学出版社

作者：谈和平、易红亮

页数：381

字数：505250

版权说明：本站所提供下载的PDF图书仅提供预览和简介，请支持正版图书。

更多资源请访问：<http://www.tushu007.com>

<<多层介质红外热辐射传输>>

内容概要

《多层介质红外热辐射传输》系统地归纳、整理和总结了作者二十多年来在热辐射传递基准解及多层介质辐射传热等方面的研究工作，系统论述了作者提出的一种求解热辐射传递问题的基准算法——射线踪迹-节点分析法的基本原理，详细介绍了采用该方法研究各向异性散射介质、多层半透明介质、梯度折射率介质、半透明相变介质及矩形半透明介质内辐射传递及辐射-导热耦合传热的特性与规律。

《多层介质红外热辐射传输》可供工程热物理、红外技术物理以及航空航天、材料等相关学科从事热辐射模拟与应用的科研人员、工程技术人员，以及高等院校相关专业的研究生和高年级本科生参考。

<<多层介质红外热辐射传输>>

书籍目录

前言符号表第1章 半透明介质层辐射与导热耦合传热1.1 半透明介质和自然状态界面1.2 热辐射光谱特性的处理1.2.1 灰体、灰介质1.2.2 平均当量参数法1.2.3 谱带近似法(谱带模型)1.3 射线踪迹-节点分析法简介1.4 辐射与导热耦合传热能量方程1.5 辐射热源项1.5.1 表面 S_1 、 S_2 均半透明1.5.2 表面 S_1 、 S_2 均不透明1.5.3 表面 S_1 半透明、表面 S_2 不透明1.6 表面辐射热流密度1.6.1 表面 S_1 、 S_2 均半透明1.6.2 表面 S_1 、 S_2 均不透明1.6.3 表面 S_1 半透明、表面 S_2 不透明1.7 热辐射边界条件1.7.1 折射率与全反射1.7.2 界面光学特性1.7.3 热边界条件1.8 射线踪迹-节点分析法研究进展参考文献第2章 单层各向同性散射介质内的辐射传热2.1 单层吸收、发射性介质的辐射传递系数2.2 单层吸收、发射、各向同性散射介质的辐射传递系数2.2.1 计算散射时的能量平衡2.2.2 考虑 n 次散射2.2.3 数值计算方法2.3 辐射传递系数的完整性检验2.4 单层半透明介质内的辐射传热2.4.1 玻璃平板冷却过程分析2.4.2 航天飞机重返大气层时舷窗的瞬态加热2.4.3 不透明界面下给定边界温度的瞬态耦合传热2.4.4 部分漫反射、部分镜反射表面的辐射传递2.5 脉冲激光引起的瞬态热效应2.5.1 边界条件2.5.2 激光入射在吸收、发射性介质内产生的辐射外热源2.5.3 激光入射在吸收、发射、各向同性散射介质内产生的辐射外热源2.5.4 激光入射的数值模拟和温度响应2.6 红外加热过程中均匀介质内部温度场分析2.6.1 物理模型2.6.2 半透明界面下介质物性对内部温度分布的影响2.6.3 半透明界面下边界条件对介质内部温度分布的影响2.7 本章小结参考文献第3章 三层各向同性散射介质内的辐射传热3.1 引言3.2 物理模型简介3.3 两层介质辐射强度和辐射能量的传递模型3.3.1 镜反射模型3.3.2 漫反射模型3.4 辐射传递系数3.4.1 镜反射辐射传递系数的推导3.4.2 镜反射率的确定3.4.3 漫反射率的确定3.4.4 全反射对辐射强度份额传递函数的影响3.4.5 镜反射辐射传递系数的求解3.4.6 漫反射下辐射传递系数的相对性和完整性3.4.7 漫反射辐射传递系数的推导3.5 三层模型的检验3.6 两侧表面均半透明镜反射下三层介质耦合换热3.6.1 真空隔离层对耦合换热的影响3.6.2 非均匀辐射物性对温度分布的影响3.7 两侧表面均不透明镜反射下三层介质耦合换热3.7.1 导热-辐射参数对温度分布的影响3.7.2 表面发射率对温度分布的影响3.7.3 散射反照率对温度分布的影响3.7.4 折射率对温度分布的影响3.7.5 衰减系数对温度分布的影响3.7.6 本节小结3.8 一侧不透明一侧半透明镜反射下三层介质耦合换热3.8.1 S_1 不透明、 S_2 半透明时的耦合换热3.8.2 S_1 半透明、 S_2 不透明时的耦合换热3.8.3 本节小结3.9 两侧表面均半透明漫反射下三层介质耦合换热3.9.1 对流换热系数对传热的影响3.9.2 吸收系数对传热的影响3.9.3 折射率对耦合换热的影响3.9.4 导热-辐射参数对耦合换热的影响3.9.5 单位体积比热容对传热的影响3.9.6 本节小结3.10 两侧表面均不透明漫反射下三层介质耦合换热3.11 镜反射和漫反射对耦合换热影响的比较3.12 本章小结参考文献第4章 n 层各向同性散射介质内的辐射传热4.1 引言4.2 n 层介质物理模型4.3 多层辐射强度和辐射能量传递模型4.3.1 镜反射模型4.3.2 漫反射模型4.3.3 多层模型子程序4.4 辐射传递系数的推导4.4.1 镜反射下辐射传递系数的相对性和完整性4.4.2 镜反射下辐射强度在 n 层介质中的传递4.4.3 镜反射下辐射传递系数的求解4.4.4 漫反射下辐射传递系数的相对性和完整性4.4.5 漫反射下辐射传递系数的推导4.5 n 层辐射传递模型的检验4.6 两侧表面半透明镜反射时折射率对耦合换热的影响4.6.1 折射率排列对传热的影响4.6.2 介质层厚度对传热的影响4.6.3 介质层数及折射率排列对传热的影响4.6.4 本节小结4.7 两侧表面不透明镜反射时 n 层介质内耦合换热研究4.7.1 折射率对瞬态耦合换热的影响4.7.2 真空隔离层对瞬态耦合换热的影响4.7.3 本节小结4.8 S_1 半透明、 S_2 不透明镜反射下 n 层介质内耦合换热研究4.8.1 对流换热系数、表面发射率对耦合换热的影响4.8.2 外界入射辐射对耦合换热的影响4.8.3 介质层厚度对耦合换热的影响4.8.4 折射率排列对耦合换热的影响4.8.5 本节小结4.9 界面光学特性对镜、漫反射模型耦合换热的影响4.10 本章小结参考文献第5章 单层各向异性散射介质内的辐射传热5.1 引言5.2 各向异性散射的第一个子过程5.2.1 表面 S_1 、 S_2 均不透明5.2.2 表面 S_1 、 S_2 均半透明5.3 各向异性散射的第二个子过程5.3.1 散射能量传输递推函数5.3.2 考虑多次散射5.3.3 考虑第 n 次散射5.4 辐射传递系数的相对性和完整性5.4.1 辐射传递系数的相对性5.4.2 辐射传递系数的完整性5.5 单层各向异性散射传递模型的验证5.5.1 线性各向异性散射的结果比较5.5.2 非线性各向异性散射的结果比较5.6 CPU时间和精度分析5.7 节点对计算结果的影响5.8 辐射-导热瞬态耦合换热5.8.1 不透明光学界面、第一类热边界条件5.8.2 一侧半透明另一侧不透明光学界面、第三类非线性热边界条件5.9 本章小结参考文献第6章 复合层各向异性散射介质内的辐射传热6.1 引言6.2 辐射传递的第一个子过程6.2.1 从 S_n 面或 P 面发射的能量6.2.2 从控制体 V_j 发射的能量6.2.3 $(V_i V_j)_{ft}$ 和 $(V_i V_j)_{bt}$ 的推导6.2.4 $(V_i S_n)_{ft}$ 和 $(V_i S_n)_{bt}$ 的推导6.2.5

<<多层介质红外热辐射传输>>

(ViS+)ft和(ViS+)bt的推导6.3 辐射传递的第二个子过程6.4 界面全反射的处理6.5 两层各向异性散射传递模型的验证6.6 瞬态辐射-导热耦合传热6.6.1 导热-辐射参数的影响6.6.2 散射反照率排列的影响6.6.3 折射率排列的影响6.6.4 表面发射率的影响6.6.5 界面光学特性的影响6.7 本章小结参考文献第7章 两界面具有不同反射特性的介质层的辐射传热7.1 引言7.2 辐射传递系数7.2.1 (S1S2)s-do-o的推导7.2.2 (S2S1)s-do-o的推导7.2.3 (S1Vi)s-do-o的推导7.2.4 (ViS1)s-do-o的推导7.2.5 (S2Vi)s-do-o的推导7.2.6 (ViS2)s-do-o的推导7.2.7 (ViVj)s-do-o的推导7.3 s-d辐射传递模型的验证7.4 s-d表面反射特性下辐射与导热瞬态耦合传热7.4.1 对流-辐射参数的影响7.4.2 导热-辐射参数的影响7.4.3 折射率的影响7.4.4 散射反照率的影响7.4.5 不透明表面发射率的影响7.4.6 各向异性散射特性的影响7.4.7 光学厚度的影响7.5 本章小结参考文献第8章 多层模型求解梯度折射率介质辐射传热8.1 引言8.2 离散物理模型8.3 多层辐射传递函数8.4 梯度折射率介质的辐射传递系数8.4.1 辐射传递系数的推导8.4.2 折射(或透射)/全反射判据8.5 辐射传递系数正确性的验证8.6 计算结果的验证8.6.1 与文献[13]在辐射平衡条件下计算结果的比较8.6.2 与文献[14]在辐射-导热耦合换热条件下计算结果的比较8.6.3 与文献[12]在辐射平衡及辐射-导热耦合换热下计算结果的比较8.6.4 与文献[6]、[8]在不透明表面条件下的计算结果的比较8.7 辐射-导热瞬态耦合换热8.7.1 两表面均半透明且镜反射8.7.2 两镜反射表面一侧半透明一侧不透明8.8 非均匀介质瞬态辐射换热8.8.1 折射率连续变化对介质瞬态辐射传热的影响8.8.2 衰减系数连续变化对介质瞬态辐射传热的影响8.8.3 散射反照率连续变化对介质瞬态辐射传热的影响8.8.4 本节小结8.9 本章小结参考文献第9章 二维射线踪迹-节点分析法求解矩形介质辐射传热9.1 引言9.2 物理模型及能量方程9.3 各表面均为黑体时矩形介质耦合换热研究9.3.1 辐射源项及不透明边界条件9.3.2 未考虑散射影响的辐射传递系数求解9.3.3 未考虑散射影响的辐射传递系数的相对性和完整性关系9.3.4 各向同性散射性介质的辐射传递系数求解9.3.5 温度场求解9.3.6 耦合换热物理模型正确性的检验9.3.7 结果与讨论9.4 一个表面半透明漫反射时矩形介质耦合换热研究9.4.1 物理模型简介及反射率的确定9.4.2 辐射源项与边界条件9.4.3 未考虑散射的辐射传递系数求解9.4.4 未考虑散射的辐射传递系数的相对性和完整性9.4.5 各向同性散射性介质的辐射传递系数9.4.6 温度场求解9.4.7 耦合换热物理模型正确性检验9.4.8 结果与讨论9.5 本章小结参考文献第10章 多层半透明介质耦合传热在工程中的应用10.1 空间液滴辐射散热器散热分析10.1.1 空间辐射散热器的物理模型和数学模型10.1.2 含液滴介质辐射特性计算10.1.3 计算结果及验证10.2 空间光学窗口的热分析10.2.1 单层光学窗口10.2.2 双层光学窗口10.2.3 三层光学窗口10.3 半透明相变介质内的耦合传热10.3.1 控制方程10.3.2 辐射源项的求解10.3.3 模型验证10.3.4 结果与讨论10.4 本章小结参考文献附录A 两侧表面均半透明镜反射时三层介质的辐射传递系数附录B 任意层介质的辐射传递系数附录C 漫反射表面下的辐射传递系数附录D 复合层半透明表面各向异性散射介质的方向入射、吸收性辐射传递系数附录E 复合层不透明表面各向异性散射介质的辐射传递系数附录F 两侧半透明s-d表面下的辐射传递系数附录G 一侧半透明s-d表面下的辐射传递系数附录H 不透明s-d表面下的方向散射辐射传递系数附录I 界面辐射能量传递函数求解附录J 其他辐射传递系数的求解附录K 线性化方程组系数的确定

<<多层介质红外热辐射传输>>

章节摘录

第1章半透明介质层辐射与导热耦合传热 热(红外)辐射传输涉及的研究内容包括:辐射热物性,表面辐射,粒子辐射,介质(气体、半透明固体或流体)辐射,辐射与导热、对流(包括相变)等的耦合传热,热辐射反问题,微尺度辐射传热等。

但从物理本质上可归纳为两类:热辐射特性参数和热辐射传输过程的研究[1]。

热辐射特性参数包括:固体表面辐射特性、介质辐射特性和粒子辐射特性。

表征固体表面辐射特性的最基本参数是光谱双向反射分布函数BRDF($\theta_i, \phi_i, \theta_r, \phi_r, T$)和光谱双向透射分布函数BTDF($\theta_i, \phi_i, \theta_r, \phi_r, T$),其他的参数均可由这两个参数导出。

介质的热辐射特性参数包括:光谱吸收系数 a_λ 、光谱散射系数 s_λ 和光谱衰减系数 e_λ , 并存在下列关系: $e_\lambda = a_\lambda + s_\lambda$ (1.1) 表征微小粒子热辐射特性的最基本参数是粒子的光谱复折射率(光谱光学常数): $m(\lambda, T) = n(\lambda, T) - ik(\lambda, T)$ (1.2) 式中: n 、 k 分别为折射指数(单折射率)和吸收指数。

由粒子的光谱复折射率,利用电磁理论 Mie散射公式,可以确定单个微小球粒子的其他光谱辐射参数,如光谱衰减因子 Q_e 、光谱散射因子 Q_s 、光谱吸收因子 Q_a 、光谱散射反照率 ρ 和光谱散射相函数 p ; 然后结合粒子浓度、粒径分布等非辐射性参数计算粒子系的光谱辐射特性参数,进而利用某种平均方法求粒子系全光谱辐射特性参数[1]。

1.1半透明介质和自然状态界面 一种介质,若在一个或若干个谱带(波段) k ($k=1, 2, \dots$) 范围内,其谱带光学厚度 k 为有限值,则称其为半透明介质(semi-transparent material, STM) [2]。

由此定义显见,半透明介质等同于吸收、散射性介质(或称参与性介质)。

由于绝大多数的散射源于粒子,且粒子也具有吸收性,因此含粒子介质也等同于吸收、散射性介质。在本书中,研究对象为固体材料时,称之为半透明介质;研究对象为粒子时,称之为含粒子介质;在其他场合则称之为吸收、散射性介质。

玻璃、硼硅酸盐、氟化镁(MgF_2)、尖晶石($MgAl_2O_4$)、蓝宝石(Al_2O_3)、氧化锆、半透明塑料、陶瓷、硅胶、絮状纤维、部分涂料等均为半透明介质,其中有些介质尽管它们的谱带衰减系数 e_λ , k 较大,但当几何尺度较小时,其谱带光学厚度也为有限值。

半透明介质的不透明光谱区域用“BOP”表示,半透明光谱区域用“BST”表示。

半透明介质直接与不透明介质接触,称为“不透明界面”;若直接与低折射率非吸收性介质(如空气)接触,称为“自然状态界面”。

例如,一块玻璃放在金属台上,与金属接触的一面为不透明界面,裸露在空气中的一面为自然状态界面。

又如燃烧室内气体的四周均为不透明界面,而空气中自由燃烧的火焰、导弹的喷焰等其绝大部分界面则为自然状态界面。

在有些文献中,“自然状态界面”又称为“半透明界面”、“透明界面”,原因有二:(1)与光谱有关,即指半透明介质半透明光谱区和全透明光谱区下的界面。

但“透明界面”的称谓并不严格,因为自然状态界面涵盖了全光谱范围,半透明界面亦涵盖了不透明、半透明和全透明光谱区,而此种情况下的透明界面仅描述了部分光谱区。

(2)与数值计算中区域的离散化方法和界面两侧的折射率等有关。

图1.1和图1.2为直角坐标系下两种区域离散法。

如图1.1所示,在外节点法中,位于非顶角上的边界节点代表了半个控制容积,即边界节点的谱带光学厚度 k 不为零,故称其为半透明界面。

在内节点法中,图1.2中阴影区是节点P1、P2的控制容积,而边界节点所代表的控制容积的厚度为趋向于零时的极限[3],即边界节点的 k 为零,因此界面的谱带吸收率 k 为零,故 $k^+ + k^- = 1$ (k^+ 为反射率, k^- 为透射率)。

对于镜反射,若此时界面两侧的谱带折射率 n_k 也相等,则 $s_k = 0$ (上标s表示镜反射), $k = 1$, 故

<<多层介质红外热辐射传输>>

称其为透明界面。

鉴于第一个原因,在本书中不采用“透明界面”;但为了叙述方便,对“自然状态界面”和“半透明界面”将不加区别。

1.2热辐射光谱特性的处理 辐射强度不仅是时间、空间位置的函数,也是波长、空间方向的函数。

物体表面、介质和粒子的辐射特性随波长的变化,通常采用三种处理方法(参见文献[1]2.6节)。

1.2.1灰体、灰介质 假设物体表面、介质、粒子分别为灰体、灰介质、灰粒子,这是最简单的处理方法,但是误差较大。

工程计算中采用灰体、灰介质、灰粒子的假设往往基于两方面原因,一是为了简化工程计算,二是由于缺乏各种辐射特性随波长变化的资料和数据。

如果具备这些数据,同时分析计算本身又要求较高的精确性时,就需要考虑物体、介质、粒子的辐射特性随波长及温度等的变化。

1.2.2平均当量参数法 将随波长变化的表面、介质和粒子特性,按黑体发射光谱或入射能量光谱等在全光谱范围内积分平均,得出相应的平均物性参数,使辐射传输方程中不再出现单色光谱参量。

例如,半球全光谱发射率 $\epsilon(T)$ (简称发射率)由半球光谱发射率 $\epsilon(\lambda, T)$ 按黑体发射光谱平均: $\epsilon(T) = \int_0^\infty \epsilon(\lambda, T) E_b(\lambda, T) d\lambda / E_b(T)$ 又如,入射平均吸收系数 a_i 按入射能量光谱平均: $a_i = \int_0^\infty a_i(\lambda) I(\lambda) d\lambda / \int_0^\infty I(\lambda) d\lambda$ 式中: T 为温度, K ; λ 为波长, μm ; E_b 为黑体光谱辐射力, $W/(m^2 \mu m)$; E_b 为黑体辐射力, W/m^2 ; I 为光谱辐射强度, $W/(m^2 sr \mu m)$; s 为辐射传递行程, m 。

介质的辐射物性参数与温度、压力、密度等(有时还包括入射光谱)的分布有关[4]。

通常,温度、压力、密度等沿射线传递路径变化,若考虑多种因素,计算就比较复杂,所以平均当量参数法只适合比较简单或简化的情况。

1.2.3谱带近似法(谱带模型) 1.3射线踪迹-节点分析法简介 吸收、散射性介质辐射传热的特点是辐射能量与空间坐标、空间方向和波长有关。

辐射能量随空间坐标的变化,并不构成热辐射传输方程求解的特殊问题。

与计算流体力学和计算传理学一样,求解热辐射传输方程时,可以将空间与时间坐标中连续的物理量场(温度场、辐射强度场),在计算区域内进行离散。

辐射能量对空间方向的依赖性使热辐射传输问题复杂化的关键因素。

自20世纪50年代以来,各国研究者已经提出了多种辐射传递的数值求解方法。

但是,绝大多数求解方法是基于微分形式辐射传递方程的全局离散,如热流法(heatflux method, HFM)、离散坐标法(discrete ordinate method, DOM)、有限体积法(finite volume method, FVM)、有限元法(finite element method, FEM)等,均对辐射传递方向进行了离散,不可避免地带来了离散空间方向所产生的误差。

“射线踪迹-节点分析法”(ray tracing nodal analyzing method, RTNAM),简称“射线踪迹法”(ray tracing method, RTM),是由文献[9]~[11]提出。

RTNAM在数学上可看成是分离变量法:将温度与介质的几何尺度、辐射物性分离,采用辐射传递系数(radiative transfer coefficient, RTC)描述介质内的辐射传输特性;RTC仅是介质几何尺度、辐射物性参数的函数。

RTNAM也可看成是一种半解析法:热流密度用温度的四次方与辐射传递系数的乘积的代数多项式来表达。

因此,该方法的关键在于RTC的求解。

射线踪迹-节点分析法的局限性在于,目前只能用于规则形状介质的热辐射传递问题。

但是,该方法具有以下一些显著的优点:(1)形象直观、形式简单、物理概念清晰;对各种界面光学特性,如不透明和半透明界面,反射、折射和全反射,镜反射、漫反射和部分镜反射、部分漫

<<多层介质红外热辐射传输>>

反射, 漫发射、各向异性发射等均具有很好的适应性。

(2) 仅对空间位置离散, 对空间立体角不离散而采用直接积分, 从而避免了离散辐射传递方向带来的误差, 故与目前常用的一些解法如热流法、离散坐标法、有限体积法、有限元法等比较, 该方法在理论上具有更高的精度, 而对比计算中也证实了这一点。

(3) 适宜处理各种散射特性(各向同性 [12, 13]、线性和非线性各向异性 [14~18]), 且精度高。

(4) 处理复合层 [19~21]、多层 [22~24]、n层 [25, 26] 介质内的辐射传递具有独到的优势。

(5) 隐含了辐射传递系数的相对性和完整性, 为检验辐射传递系数的正确性提供了理论依据。

射线踪迹-节点分析法求解辐射传递的基本思想如图1.4所示: (1) 将求解积分-微分方程的难点分离。

引入辐射传递系数, 用一系列只含指数积分和相函数积分的代数式表示辐射传递过程。

对散射性介质其传递过程包括: 单元i的辐射能直接投射到单元j; 经表面一次或多次反射及介质衰减后到达j; 经表面一次或多次反射及介质一次或多次散射后到j。

(2) 将研究对象离散为面元和体元(或称表面和控制体), 分别用节点号表示。

采用射线踪迹-节点分析法, 导出面元与面元、面元与体元、体元与体元间未考虑散射的辐射传递系数, 分别用 $(SiSj)$ 、 $(SiVj)$ 、 $(ViVj)$ 表示。

在此过程中, 考虑了介质的吸收、发射以及表面的多次反射。

对于半透明镜反射界面, 还考虑了全反射和折射; 对于半透明漫反射界面, 则全反射放在反射率和透射率中考虑 [22]。

(3) 从散射的基本概念出发, 将前面求出的未考虑散射的辐射传递系数所代表的能量根据散射特性(各向同性或各向异性)重新进行分配, 导出吸收、发射、散射性介质的辐射传递系数 $[SiSj]$ 、 $[SiVj]$ 、 $[ViVj]$ 。

在此过程中, 考虑了介质的散射 [12]。

(4) 采用节点分析法, 由辐射传递系数导出穿过每个控制体界面的辐射净热流, 再通过控制体界面辐射净热流之差得到当地辐射热源项和表面辐射热流。

(5) 最后把辐射热源项代入离散化的瞬态能量方程求解温度场, 再利用已求得温度场和步骤

(4) 中净辐射热流公式计算辐射热流密度。

.....

<<多层介质红外热辐射传输>>

编辑推荐

谈和平、易红亮所著的《多层介质红外热辐射传输》共10章。

第1章论述了基于射线踪迹-节点分析法求解辐射传递及辐射与导热耦合传热问题的基本思想与基本原理、热辐射源项的推导以及各种光学界面下辐射传热边界条件。

第2章介绍了单层吸收、各向同性散射性介质的辐射传递模型的推导、激光入射在单层半透明介质内引起的瞬态热响应及均匀介质在红外加热过程中的耦合传热分析。

第3章和第4章分别导出了三层与n层吸收、各向同性散射性介质的辐射传递模型。

第5章和第6章分别论述了单层、复合层吸收与各向异性散射性介质的辐射传递模型的推导。

第7章提出了一种射线混合跟踪法，导出了多种光学界面条件下介质层两表面具有不同反射特性时的辐射传递模型。

第8章采用第4章建立的多层辐射传递模型，分析了梯度折射率介质层内的辐射传递及瞬态耦合传热。

第9章建立了一种求解矩形半透明介质辐射传递的二维射线踪迹-节点分析法模型，分别研究了黑体界面及具有一个半透明漫反射界面条件下的瞬态耦合传热。

第10章介绍了多层半透明介质耦合传热在空间液滴辐射散热、空间光学窗口热分析及半透明介质相变过程中的应用。

<<多层介质红外热辐射传输>>

版权说明

本站所提供下载的PDF图书仅提供预览和简介，请支持正版图书。

更多资源请访问:<http://www.tushu007.com>