

多粒子场侧向散射总光强性质研究

袁兴起 高文英 张明军

(河南理工大学机械与动力工程学院, 河南 焦作 454000)

摘要 对线偏振光入射到群体粒子场时侧向散射光的总光强特性进行了实验研究, 散射介质为直径分别为 0.065, 0.123, 0.220, 0.360, 0.494 和 1.240 μm 的粒子与过滤的蒸馏水所构成的不同体积分数的悬浮液。研究表明, 粒子侧向散射光的总光强相对散射角的变化, 受粒子直径变化影响较大, 且其变化程度随粒子直径的减小(1.240~0.123 μm)而变得更明显; 而当粒子直径进一步减小时(0.123~0.065 μm), 则此变化又趋于平缓。而总散射光强相对散射角的变化受粒子浓度和探测深度的影响则很小, 没有粒子直径变化的影响大, 但在探测平面内总散射光强相对散射角始终呈现对称分布的特性。

关键词 物理光学; 线偏振光; 侧向散射; 光强; 激光

中图分类号 O436.2 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP48.072901

Total Intensity Property for Multiple Particles Side-Scattered Laser Radiation

Yuan Xingqi Gao Wenying Zhang Mingjun

(School of Mechanical and Power Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000, China)

Abstract The properties of the total intensity of radiation side-scattered by the multiple particles when using linearly polarized incident light are studied experimentally. The scattering medium is the suspending liquid consisting of various concentrations of particles which are 0.065, 0.123, 0.220, 0.360, 0.494 or 1.240 μm in diameter and mixed into filtered, distilled water. The experimental results show that the influence of various diameters of particles on the intensity of total side-scattered light is obvious in relation to scattering angles. The change of the intensity is greater when the diameters of the particles are reduced (1.240~0.123 μm). When the diameters reduce further (0.123~0.065 μm), the change has slowed down. The influence of the particle concentration and the depths on the total intensity is minute, not as obvious as the influence of the change of the diameters of the particles. And in the detected plane, the intensity distribution of each component of the side-scattered light is angular-symmetric.

Key words physical optics; linearly polarized light; side-scattering; intensity; laser

OCIS codes 290.4210; 290.5850; 290.5855

1 引言

近年来, 在发射、烟雾和星云等领域利用非接触光散射法来确定粒子参数已受到越来越多的关注^[1~4], 尤其是随机分布粒子及粗糙面光散射在现代科学技术领域更获得了广泛的应用^[5~7]。本课题组对偏振光入射到复合粒子场的侧向散射性质已进行了一定的研究^[8,9]。本文则使用线偏振光对复合粒子场的侧向散射总光强性质进行探讨。散射介质由直径分别为 0.065, 0.123, 0.220, 0.360, 0.494 和 1.24 μm 的球形粒子在过滤的蒸馏水中混合成不同体积分数的悬浮液构成, 并对与入射光垂直的截面内的散射光强度进行了研究。

收稿日期: 2011-02-21; **收到修改稿日期**: 2011-03-09; **网络出版日期**: 2011-05-09

基金项目: 国家自然科学基金(50176020)、河南省重点学科基金(509916)和河南理工大学博士基金(B2008-63)资助课题。

作者简介: 袁兴起(1972—), 男, 博士, 副教授, 主要从事光电信息探测与处理等方面的研究。

E-mail: yuanxingqi@hpu.edu.cn

2 实验步骤

实验装置如图 1 所示。整套装置置于隔震平台上并保持水平,以保证容器中的液体表面与入射激光束相互正交。转盘可以绕着散射场容器中心轴线在水平面内作 360° 的转动,从而实现在与入射光垂直的平面内不同的角度处对散射场侧向散射光强的测量。偏振片连接于光纤前端的接收窗处以实现对散射光不同成分的测量。实验所用入射光是波长 λ 为 $0.6328 \mu\text{m}$ 的 He-Ne 激光束,激光入射方向与圆柱形容器的轴重合并与混合液液面正交垂直。

图 1 中 1 为光束,2 为散射场(粒子和水混合液),3 为转盘,4 为偏振片,5 为接收窗,6 为垂直支架,7 为光纤。实验时,在容器的水平周边与液面平行的平面内任意选取一点作为 $\varphi=0^\circ$ 点来放置光纤接收窗进行散射光接收测量。实验中使用不同直径的粒子、采用不同体积分数的散射场、在不同的探测深度和不同的散射角方向上测量实验数据。

3 实验结果与讨论

图 2 所示是在测量深度和介质体积分数相同而粒子直径不同时进行侧向散射总光强测量实验所得到的数据对比图(本实验中所测量得到的光强值均进行了归一化,均是当量值)。在同一坐标系中可以明显地看出粒子直径对侧向散射总光强的影响。

由图 2 可以直观地得到这样的结论:1)当线性偏振激光入射到群粒子散射介质场时,其侧向散射总光强相对入射光偏振方向成对称分布;2)在相同的粒子体积分数和相同的探测深度下,散射场侧向散射总光强相对散射角的变化程度随粒子直径的减小($1.240 \sim 0.123 \mu\text{m}$)而变得更加明显;3)而当粒子直径进一步减小时($0.123 \sim 0.065 \mu\text{m}$),则此变化又趋于平缓。

图 3 是同种粒子构成不同体积分数浓度的介质时总光强对散射角的分布情况。可以很直观地看出:1)在线性偏振激光入射到群粒子散射介质场时,其侧向散射总光强依然相对入射光偏振方向成对称分布;2)当粒子体积分数改变时,其散射场侧向散射总光强相对散射角所测得的量值会随着体积分数的降低而减小,但其变化规律基本不变,也即,群粒子场目标光学侧向散射总光强相对散射角的变化规律受粒子浓度的影响很

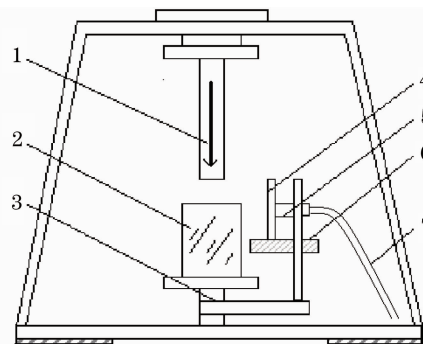


图 1 实验装置系统

Fig. 1 Experimental apparatus system

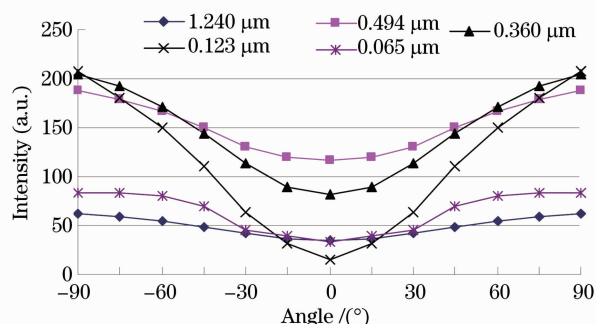


图 2 侧向散射总光强相对散射角的变化(测量深度 $D=0$, 散射场体积分数比为 0.00500%)

Fig. 2 Comparison of the intensity of total side-scattered light (concentration: 0.00500% , depth: 0)

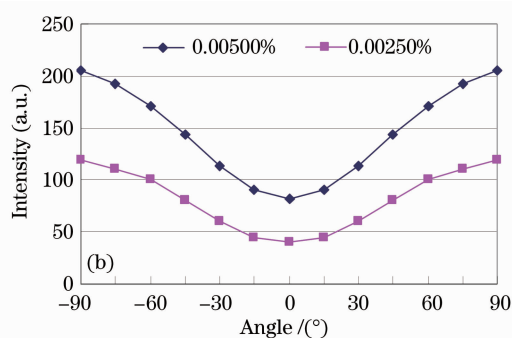
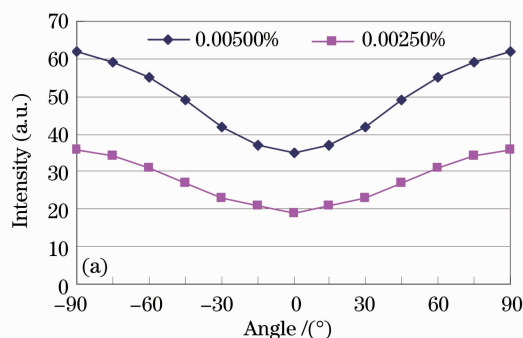


图 3 侧向散射总光强相对散射角的变化。测量深度 $D=0$, 粒子直径为 $1.240 \mu\text{m}$ (a), $0.360 \mu\text{m}$ (b)

Fig. 3 Comparison of the intensity of total side-scattered

light for $1.240 \mu\text{m}$ (a) and $0.360 \mu\text{m}$ (b) particles at a depth of 0

小,不像受粒子直径变化影响那么明显;3)当粒子直径改变时,侧向散射总光强相对散射角的变化规律基本不受影响,保持不变。改变探测深度,或者换用其他直径的粒子进行实验,其变化规律和变化趋势基本不变。

4 结 论

对线性偏振光入射到群体粒子场时目标光学散射场的侧向散射光的总散射光强受粒子场粒子直径、体积分数比以及探测深度的影响进行了实验研究,可以得到以下结论:

1) 群体粒子场目标光学侧向散射的总光强在与入射光垂直的平面内关于入射光偏振方向呈对称分布;

2) 不同直径的粒子其散射场侧向散射总光强相对散射角的变化受粒子直径变化影响明显,且其变化程度随粒子直径的减小(1.240~0.123 μm)而会变得更明显;而当粒子直径进一步减小时(0.123~0.065 μm),则此变化又趋于平缓。

3) 散射场粒子体积分数比改变时,侧向散射总光强相对散射角的变化规律受粒子浓度的影响很小,不像受粒子直径变化影响那么明显;当粒子体积分数改变时,侧向散射总光强相对散射角的变化规律基本不受影响,保持不变。

4) 散射场侧向散射总光强相应散射角的变化随着探测深度增加而趋于平缓,但总体规律相对深度的变化不大,同样地,没有受粒子直径变化的影响明显。

参 考 文 献

- Jia Zhixin, Gong Ke, He Shufang *et al.*. High-speed flyer velocity measurement system based on laser scattering[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(7): 1050~1054
贾哲新, 巩 轲, 何淑芳 等. 基于激光散射的高速微粒测速系统[J]. 中国激光, 2008, **35**(7): 1050~1054
- Xia Hui, Lin Xu, Xiao Yuanyuan *et al.*. Monte-Carlo simulation of photon's transport properties in highly scattering media [J]. *Chinese J. Lasers*, 2010, **37**(12): 3019~3024
夏 辉, 林 旭, 肖元元 等. 光子在高散射媒质中传输特性的蒙特-卡罗模拟[J]. 中国激光, 2010, **37**(12): 3019~3024
- Zhang Heyong, Wang Tingfeng, Shao Junfeng *et al.*. Measurement of CO₂ laser atmospheric transmission property based on Mie scattering[J]. *Chinese J. Optics and Applied Optics*, 2010, **3**(4): 353~362
张合勇, 王挺峰, 邵俊峰 等. 基于 Mie 散射的 CO₂ 激光大气传输特性测量[J]. 中国光学与应用光学, 2010, **3**(4): 353~362
- Yuan Lin, Liu Bo, Wang Bangxin *et al.*. Design of mobile 1064 nm Mie scattering lidar[J]. *Chinese J. Lasers*, 2010, **37**(7): 1721~1725
袁 林, 刘 博, 王邦新 等. 车载式 1064 nm 米氏散射激光雷达的研制[J]. 中国激光, 2010, **37**(7): 1721~1725
- Zhao Zhigang, Huang Lixian, Xu De *et al.*. Stimulated Brillouin scattering based detection of no-reflection object in water [J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(6): 1512~1516
赵智刚, 黄立贤, 徐 德 等. 基于受激布里渊散射的水中无反射物体探测[J]. 中国激光, 2009, **36**(6): 1512~1516
- Luo Yunhan, He Zhonghai, Han Yonghui *et al.*. Investigations on path-length of photons migrating in turbid media[J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(8): 1150~1154
罗云瀚, 贺忠海, 韩永辉 等. 混浊介质中光子的迁移程长研究[J]. 中国激光, 2005, **32**(8): 1150~1154
- Wu Zhensen, Dou Yuhong. Visible light scattering and infrared radiation of spatial object[J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(10): 1250~1255
吴振森, 窦玉红. 空间目标的可见光散射与红外辐射 [J]. 光学学报, 2003, **23**(10): 1250~1255
- Yuan Xingqi, Zhao Qi, Chen Yuanru *et al.*. Side-scattered laser radiation analyzing for the particle's property in the multiple particle field[J]. *Chinese J. Science Instrument*, 2005, **26**(8s): 207~208
袁兴起, 赵 琦, 陈延如 等. 群粒子场粒子性质的侧向散射光分析[J]. 仪器仪表学报, 2005, **26**(8s): 207~208
- Yuan Xingqi, Chen Yanrru, Zhao Qi *et al.*. Experimental study on the angular distribution of radiation side-scatter by the multiple particlefield using circularly polarized incident light[J]. *Chinese J. Light Scattering*, 2007, **19**(2): 179~184
袁兴起, 陈延如, 赵 琦 等. 群体粒子场圆偏入射光侧向散射的角分布实验研究[J]. 光散射学报, 2007, **19**(2): 179~184