

微波单缝衍射实验中杂波的理论解释与计算

邵 坤, 龙 洋, 张志华, 王晓栋, 杜 艾, 方 恺

(同济大学 物理科学与工程学院, 上海 200092)

摘 要: 利用惠更斯-菲涅耳原理论证了微波分光计单缝衍射实验中所采用的傍轴近似下的理论公式的可行性, 并研究了不同缝宽下的衍射强度分布情况, 对不同条件下的实验结果提供了一定的理论解释. 考虑杂波对衍射强度分布的影响情况, 计算其对实验的影响程度, 并提出了一定的修定方案. 计算并解释实验中衍射分布不对称的原因, 并计算不对称对实验结果的影响程度.

关键词: 微波分光计; 单缝衍射; 杂波; 衍射强度

中图分类号: O436.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-4642(2016)12-0019-03

在微波分光计的单缝衍射实验中, 往往会出现实验现象与理论预测误差较大的现象, 这些现象的产生并不是因为微波衍射不遵从单缝衍射理论公式, 而是实验环境和器材产生的杂波对单缝衍射实验结果的影响导致的^[1-4]. 这种杂波并不是任意的, 而是遵从一定的规律, 通过理论计算可知这些杂波产生的主因, 并且还能知道哪些杂波对实验影响最大, 哪些杂波对单缝衍射分布的影响程度可忽略, 这些杂波被哪些因素所决定等, 从而按照理论结果改进实验条件以提高实验的精度.

1 理论基础与计算模型

衍射的理论基础是惠更斯-菲涅耳原理, 可用菲涅耳-基尔霍夫衍射积分公式来表示空间中任意点 P 的振幅为^[5]

$$E(P) = \frac{1}{i\lambda} \iint E(Q) \frac{e^{ikr} \cos \theta_0 + \cos \theta}{2} dS = \frac{1}{i\lambda} \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \sum E(Q) \frac{e^{ikr} \cos \theta_0 + \cos \theta}{2} \Delta S.$$

通过求和形式便可以编写程序对杂波发生源进行累加计算得到空间中任意一点的振幅. 波源是喇叭状开口的谐振腔, 其设计使其在空间形成一较窄的光束, 在此将其近似为高斯光束, 即光束在横截面上的分布具有衰减特性, 衰减因子

e^{-r^2/ω^2} , 其中 ω 为波束宽度.

2 验证傍轴近似条件下单缝衍射公式的正确性

图 1 是理论计算得到的不同缝宽 a 下衍射强度分布情况, 图 2 是理论计算得的不同缝宽 a 下接收端光强与角度的关系分布. 由理论计算结果可以看出, 傍轴近似推出的单缝衍射理论公式和用更基础的菲涅耳-基尔霍夫衍射积分公式推出的结果一致, 说明单缝衍射在微波段内, 也较好地符合理论公式. 计算所得的单缝衍射分布情况也

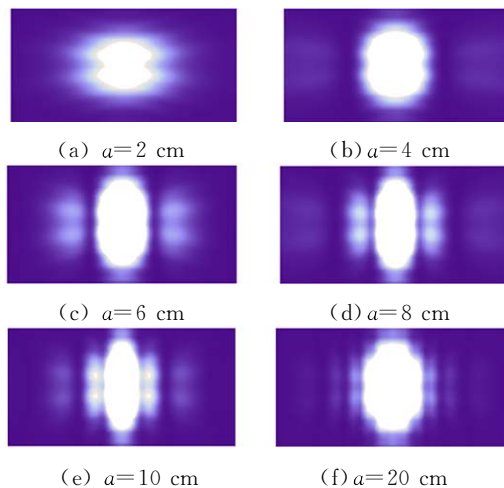


图 1 理论计算得到的不同缝宽 a 下衍射强度分布

“第 9 届全国高等学校物理实验教学研讨会”论文

收稿日期: 2016-05-31

资助项目: 同济大学教学改革研究与建设项目; 同济大学精品实验项目; 2015 年上海高校本科重点教学改革项目; 同济大学实验教学改革项目

作者简介: 邵 坤(1991-), 男, 陕西西安人, 同济大学物理科学与工程学院 2015 级硕士研究生, 从事无线传能方面的研究.

指导教师: 张志华(1977-), 女, 山西运城人, 同济大学物理科学与工程学院副教授, 博士, 从事凝聚态物理方面研究和大学物理教学工作.



很好地表征了量子力学中不确定原理, 光子的位置与动量永远不可能同时测准^[6].

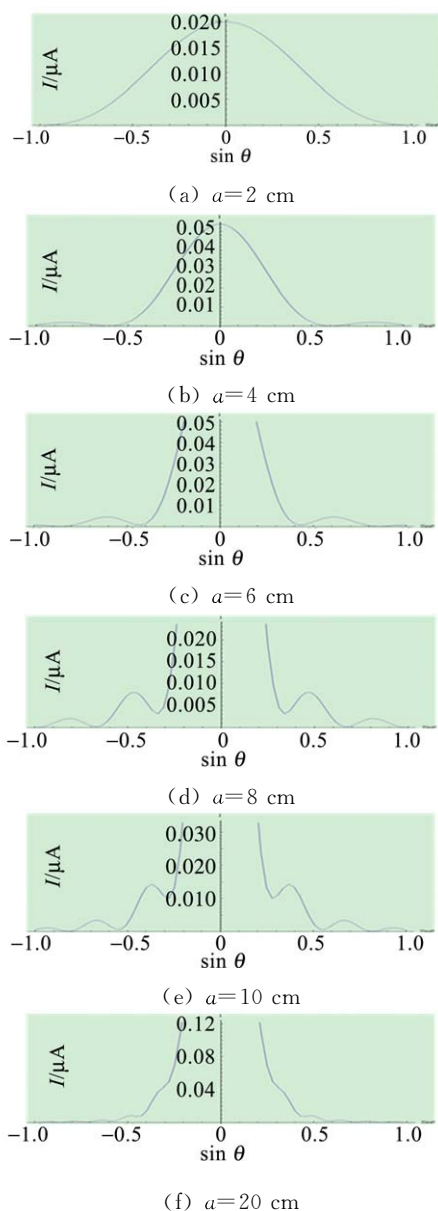


图 2 理论计算得的不同缝宽 a 下接收端光强与角度的关系分布情况

3 杂波对单缝衍射强度分布的影响

杂波来源之一为衍射屏的边缘. 虽然单缝入射波束为高斯光束, 但因为微波波长为宏观数量级, 则衍射屏边缘应该能够产生一定强度的衍射波束干扰单缝衍射实验结果^[7], 通过理论计算便可知道其影响程度.

图 3 为没有单缝时杂波的分布和考虑杂波后单缝衍射 ($a=0.06$ m) 的分布情况, 图 4 是考虑杂波后单缝衍射 ($a=0.06$ m) 在接收端强度分布

与角度的关系. 由理论计算结果可知, 杂波对单缝衍射的实验结果的影响相当明显, 衍射分布情况出现了较大的偏差, 尤其是对一级极大位置的判断, 极容易造成误判. 所以, 为减小杂波对实验结果的影响, 可以适当加大衍射屏的尺寸.

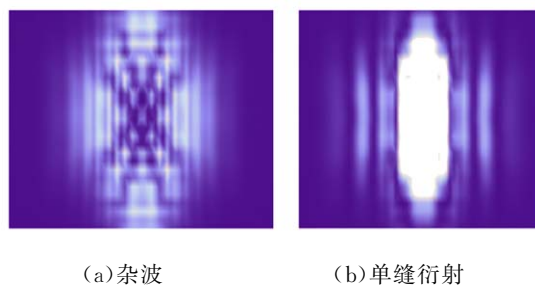


图 3 没有单缝时杂波的分布和考虑杂波后单缝衍射 ($a=0.06$ m) 的分布

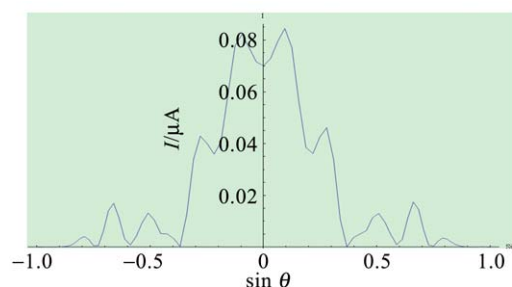
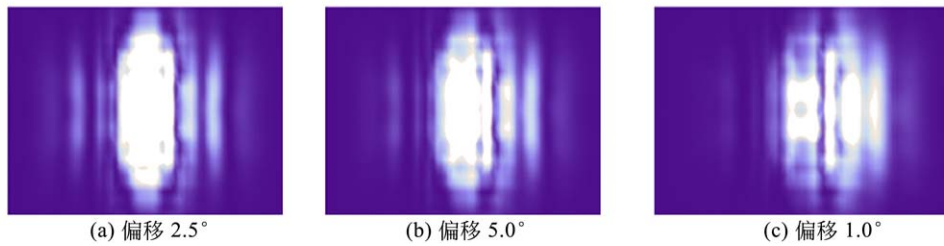
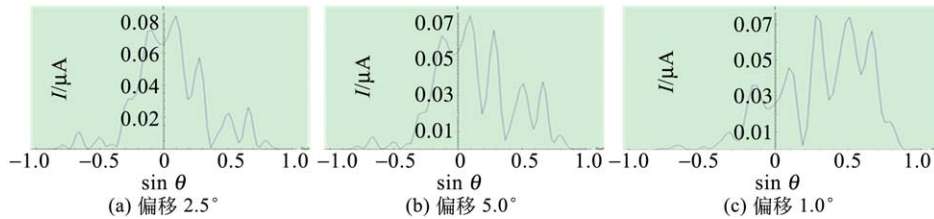


图 4 考虑杂波后单缝衍射 ($a=0.06$ m) 在接收端强度分布与角度的关系

4 不同情况下杂波叠加对单缝衍射情况的影响

实验中常常会发现衍射分布左右不对称, 这种不对称的原因是入射光束与衍射屏不垂直引起的^[2]. 然而这种不垂直能带来多少影响? 如果只是小角度偏移会有多大影响? 能否忽略吗? 下面通过理论进行计算模拟.

不同偏移角度对单缝衍射 ($a=0.06$ m) 强度分布的影响见图 5, 不同偏移角度下单缝衍射 ($a=0.06$ m) 在接收端强度分布与角度的关系见图 6. 由理论计算结果可知, 入射光束与衍射屏的不垂直对单缝衍射分布情况的影响非常显著, 即使是很小的偏移角都能对实验结果造成很大的影响, 尤其是对一级主极大的位置判断, 甚至有可能丢失一级主极大, 严重干扰实验精度. 所以在实验开始时, 需先不放衍射屏或其他器材, 测量波源光强的分布情况以调整波源喇叭口的对准情况.

图 5 不同偏移角度对单缝衍射($a=0.06\text{ m}$)强度分布的影响图 6 不同偏移角度下单缝衍射($a=0.06\text{ m}$)在接收端强度分布与角度的关系

5 结束语

微波分光计实验是近代物理中重要的实验,但由于微波波长为宏观数量级,该实验容易受周围实验条件的影响,造成结果不易测准,误差较大.研究微波分光计的误差来源具有很大的意义,正确分析误差来源及影响程度对使用微波来探测和传递信息意义重大.

参考文献:

[1] 章志敏,戴建明,骆冠松,等.论微波单缝衍射实验中主极大的缺失[J].淮北煤炭师范学院学报(自然科学版),2010,31(2):23-25.

- [2] 吴俊林,王社柱.对单缝衍射实验中空间非对称问题的分析[J].物理实验,1993,13(4):155-156.
- [3] 余伟超,杜艾,张志华,等.窄缝条件下影响微波单缝衍射图样的主要因素[J].物理实验,2013,33(2):37-40.
- [4] 霍伟刚,程世红,王秋薇,等.微波单缝衍射实验中的畸变现象研究[J].物理实验,2008,28(9):1-4.
- [5] 郭永康.光学[M].北京:高等教育出版社,2005.
- [6] Griffiths D J.量子力学概论(英文版)[M].北京:机械工业出版社,2006.
- [7] 吴俊,吴本科,谢莉莎,等.微波单缝衍射的实验研究及数值模拟[J].物理实验,2008,28(6):39-41.

Theoretical explanation and calculation about clutter in single slit diffraction experiment

SHAO Kun, LONG Yang, ZHANG Zhi-hua, WANG Xiao-dong, DU Ai, FANG Kai
(School of Physics Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Using the Huygens-Fresnel principle, the feasibility of theoretical equation in paraxial approximation condition was proved in single slit diffraction experiment by microwave spectrometer. The distribution of diffracted intensity was researched at different slit width. Some theoretical explanations were offered for the experimental results in different conditions. The improved method was presented by considering the influence of clutter on the diffraction intensity distribution and calculating its influence on the experiment. The reason of the asymmetric diffraction was explained, its effects on the experiment was also calculated.

Key words: microwave spectrometer; single slit diffraction; clutter; diffracted intensity

[责任编辑:郭 伟]