

光子-电子和光子-原子(或分子) 相互作用的研究

陈建文 王之江 林福成 高佩娟 陈时胜 夏康民*
(中国科学院上海光学精密机械研究所)

提 要

本文介绍了光子和电子,光子和稀薄气体间相互作用的研究结果,观察到光子和稀薄气体间的相互作用,测到了电子脉冲和负离子脉冲信号。

最近 Lampre^[1]等人报导了自由电子吸收多光子的实验结果,并提出了所谓逆韧致辐射的机理,一度曾引起广泛的兴趣,但也有人持怀疑态度,例如文献[2]作者提出,基于能量守恒和动量守恒,单个自由电子吸收单个光子或多个光子是不可能的,这是因为光子静止质量为零,而自由电子具有静止质量。

从守恒的原理出发,设想在光的驻波场中两个电子吸收两个光子,能量守恒和动量守恒才均可满足,如图1所示。

基于上述思想,我们重复了 Lampre 等人的实验,并按图1的设想,设计了一个实验。

实验中所采用的激光器件,已在文献[3]中作过详细的描述。本文只采用一路高功率钕玻璃激光系统,其中包括一台主动-被动锁模 YAG 振荡器,一台 YAG 前置放大器和八级玻璃放大器,输出孔径 $\phi 60\text{mm}$,脉宽(FWHM)为 100 ps,输出能量 1~10 J。

为了形成光的驻波场,采用如图2所示的三平板干涉仪结构,图中的 L_1, L_2 构成了一

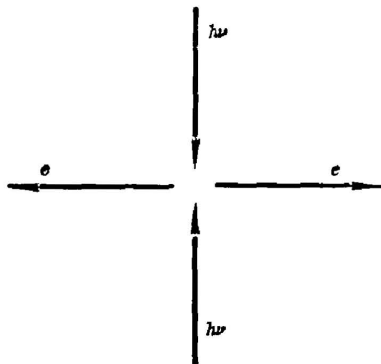


图1 在光的驻波场中,两个电子吸收两个光子示意图
Fig. 1 Schematic diagram of two photons absorbed by two electrons in a optical standing field

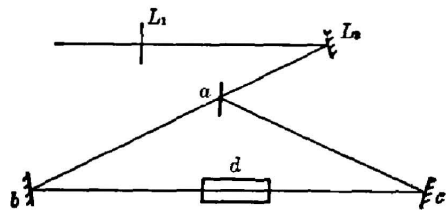


图2 三平板干涉实验装置
Fig. 2 Experimental device of three-plate interference

收稿日期: 1982年4月8日

* 作者分别属于四室、十室、十三室及六路装置实验组。

个缩孔望远镜系统。为了在作用区域内获得足够高的光子数密度, L_2 应尽量选择短焦距透镜, 但遗憾的是, 由于受膜层的抗破坏能力的限制, 焦距再短时, 膜层被烧毁。众所周知, 钎玻璃激光器单色性较差, 又因脉冲仅为 100 ps, 在布置光路时要保证 $abd = acd$ 。图中 a 为 $1.06 \mu\text{m}$ 分光板; b, c 为 $1.06 \mu\text{m}$ 全反射板; d 为真空六极管。

电子束源 d 是一个真空六极管*, 含有氧化物阴极, 阳极, 聚焦极, 控制极, 第一栅和第二栅, 管子结构示于图 3。灯丝加热约为 850 K, 热电子能量约为 10^{-2} eV, 真空度 $\sim 10^{-6}$ torr。在第二栅后面是一电子倍增器, 当倍增器板压为 3.5 kV 时, 增益可高达 10^8 。图 4 是六极管的输出特性曲线。当知道电子倍增器的增益曲线时, 可以估算出管内的电子密度。

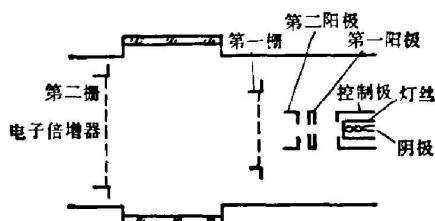


图 3 六极管结构图

Fig. 3 Construction of the hexode

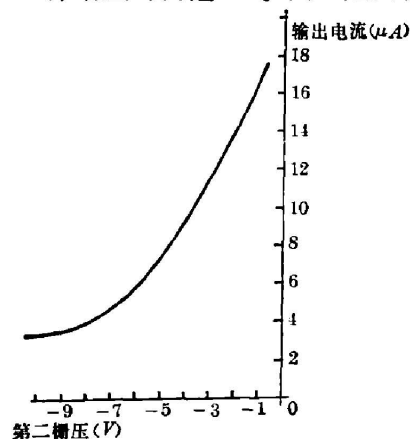


图 4 六极管输出特性

Fig. 4 Output performance of the hexode

电子倍增器的输出信号接到 7904 示波器上, 采用 Polaroid 401 型底片记录, 测试系统由双层金属网屏蔽, 干扰信号小于 5 mV。

图 5、图 6 分别为激光器输出能量 7 J (即作用光束能量为 7 J) 时, 六极管灯丝加热和不加热的示波照片, 即前者具有电子束源, 后者无自由电子, 但示波器上照片信号相近, 这说明在本文实验条件下的实验结果中, 没有明显的自由电子对光子的吸收信号。

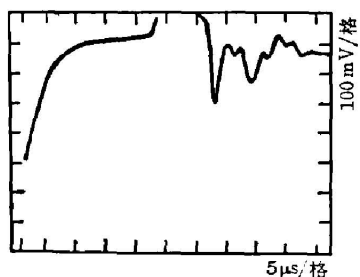


图 5 灯丝加热时, 观察到的示波器信号

Fig. 5 Oscillogram observed when filament was heated

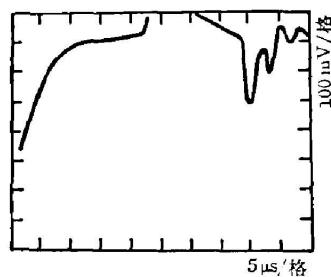


图 6 灯丝不加热时, 观察到的示波器信号

Fig. 6 Oscillogram observed when filament was not heated

我们猜测这种情况的出现是由于管内剩余气体原子或分子密度太高所致。据 Lampre 等人的结果, 灯丝加热 85 K 时, 电子密度约为 $10^{10}/\text{cm}^3$, 而剩余气体的粒子数密度亦为 $10^{10}/\text{cm}^3$ 量级。

* 此管系长春光学精密机械研究所赵汉章等同志所提供。

根据文献[4], 同时与一个电子相互作用的光子数目的量级为: $N = \rho \sigma_0 \lambda^2$ 。其中 ρ 为光子数密度, λ 为作用光束的波长, 在我们的条件下 $N \sim 10^{-4}$ 。如果对原子或分子仍采用上述模型, 则同时和原子或分子相互作用的光子数要比电子的大得多。即使在元素周期表中截面最小的氢原子, 其玻尔半径 a 要比电子大四个量级以上。

可见, 即使在实验中存在电子对光子的吸收, 其信号也将被淹没掉。这样, 光子-原子(或分子)间的相互作用, 严重干扰了光子-电子间的相互作用, 这种干扰必须排除。可能的途径是提高电子密度, 并采用高真空系统, 以降低管内剩余气体粒子数密度。

从我们的实验可以看出, 实验条件与 Lampre 等人相近, 他们观察到的看来也不是电子吸收多光子的信号。

为了进一步证实实验观察到的电信号可能是管内剩余稀薄气体, 在强光场作用下, 产生了多光子离解。若我们在电子倍增器打拿极上加正电位, 那么在电场作用下, 负离子和电子将被加速, 并向电子倍增器飞行。假定电子和负离子的初速为零, 这样可以用非相对论经典力学来讨论问题。由于它们在同一电场作用下, 所以电场力相等, 则 $m_e a_e = m_a a_a$ 。其中 m_e , m_a 分别为电子和原子的质量; a_e , a_a 分别为电子和原子的加速度。由于它们的加速度不一样, 因此飞行到倍增器的时间是不相等的, 于是在示波器上可以看到两个具有延迟的信号脉冲, 延迟的比值为: $t_e/t_a = (M_a/M_e)^{1/2}$ 。我们采用示波器不同的扫描速度, 果然可以看到两个信号(见图 7 和图 8)分别为示波器观察到的电子信号和负离子信号。

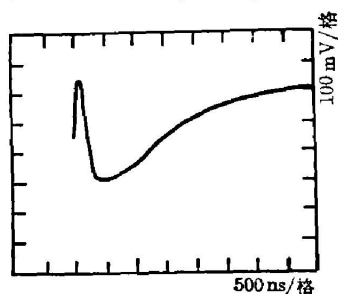


图 7 示波器上观察到的电子信号

Fig. 7 Electrical signal observed from the oscillograph

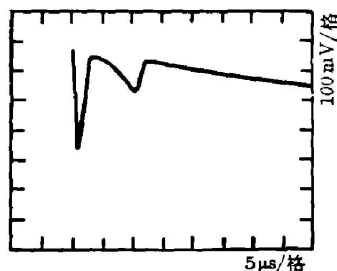


图 8 第一个脉冲为电子信号, 第二个脉冲为离子信号

Fig. 8 The first pulse is electrical signal, the second pulse is ionic signal

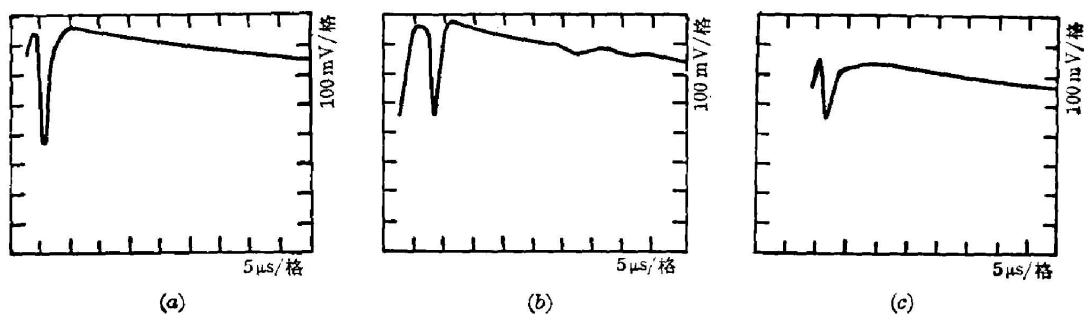


图 9 输出信号随作用光束和能量变化的曲线

(a) 作用光束 5.1J; (b) 作用光束 3.3J; (c) 作用光束 1.44J

Fig. 9 Output signal vs beam energy

(a) beam energy 5.1J; (b) beam energy 3.3J; (c) beam energy 1.44J

我们还研究了作用光束强度改变时, 负离子信号的变化情况。图 9(a)、(b)、(c) 分别为不同作用光束能量时负离子的信号。从图中可以看出: 随着作用光束的增强, 信号变大。

在完成本实验之后, 见到了 G. Bolchen^[5] 等人在第十一届国际量子电子学会议上发表的“光子-电子集体效应实验研究结果”的报道。有趣的是, 两者有许多雷同之处。不过他们在实验装置中充入了极稀薄的氦气, 测量了电子数随作用光强的变化, 而我们只是在极稀薄的剩余气体中完成了实验, 不仅观察到电子信号, 而且测量到负离子的信号。

参 考 文 献

- [1] L. A. Lampre *et al.*; *Phys. Rev. Lett.*, 1979, **43**, No. 17 (Oct), 1243.
- [2] 王之江;《光学学报》, 1981, **1**, No. 2 (Mar), 115.
- [3] 邓锡铭等;《光学学报》, 1981, **1**, No. 4 (Jul), 289.
- [4] J. H. Eberly; *Progress in Optics*, (Edited by E. Wolf, North-Holland Com.), 1969, **7**, 369.
- [5] B. W. Boreham, J. L. Hughes; 11th IQEC (1980), *Digest of Technical Papers*, **7**, 619.

Investigation of interaction of photon-electron and photon-atom (or molecule)

CHEN JIANWEN WANG ZHIJIANG LIN FUCHENG KAO PEIJUAN
CHEN SHISHENG AND XIA KANGMIN

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academic Sinica)

(Received 8 April 1982)

Abstract

Experimental results of interaction between photon electron as well as photon and atom have been studied in this paper. Interaction between photon and tenuous gas has been observed. The electron pulse and negative ion pulses have been measured.