

超强超短激光与固体靶作用 产生磁场的估算

报告人：马套 PB01007044

指导老师：秦敢

一 引言

1 九十年代来，脉冲激光改进

强度 $\sim 10^{19}\text{W}/\text{cm}^2$ ， 脉冲宽度 $\sim 1\text{ps}$

2 激光固体靶作用与惯性约束，天体物理

3 1999年，Gremillet拍摄过程图片

2000年，Clark 测量18Mev质子角偏转，

表明有强自生磁场

4 人们猜测该磁场源自超热电子，本文利用简化模型求超热电子与自生磁场的关系

二 动力学过程定性分析 实验一

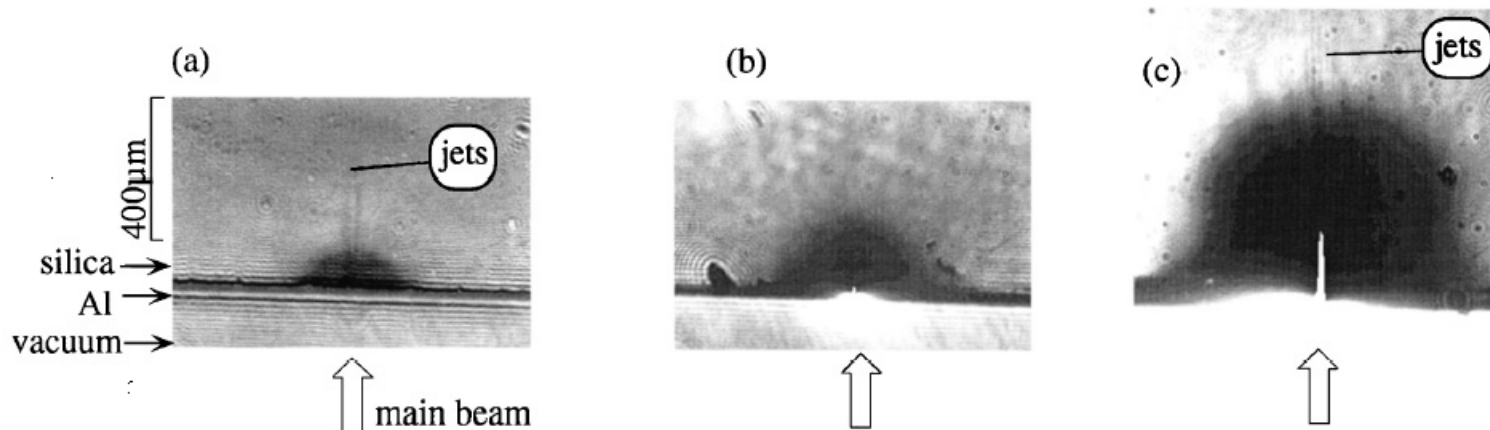


FIG. 1. Shadowgraphic images of the silica target at three times, (a) 1.2 ps, (b) 2.2 ps, and (c) 3 ps after the interaction pulse. Note that in (a) the fringes inside the cloud are an artifact of the image subtraction process (the diffraction pattern at the target edge being present only in the reference image).

激光 脉宽0.35ps,强度 $\sim 10^{19} \text{W/cm}^2$, 焦斑半径 $\sim 5 \mu\text{m}$.

靶 SiO_2 圆柱, $10 \mu\text{m}$ Al保护层, $h=400 \mu\text{m}$, $R=250 \mu\text{m}$.

a. (a) $t=1.2 \text{ps}$, 两jets 宽 $20 \mu\text{m}$, 长 $350 \mu\text{m}$;

估算超热电子 $v=0.973c$, $T=1.71 \text{MeV}$

b. (b) $t=2.2 \text{ps}$, (c) $t=3 \text{ps}$, 半球形 cloud 膨胀, $v \sim 0.5c$

c. channel 半径 $\sim 10 \mu\text{m}$

实验二

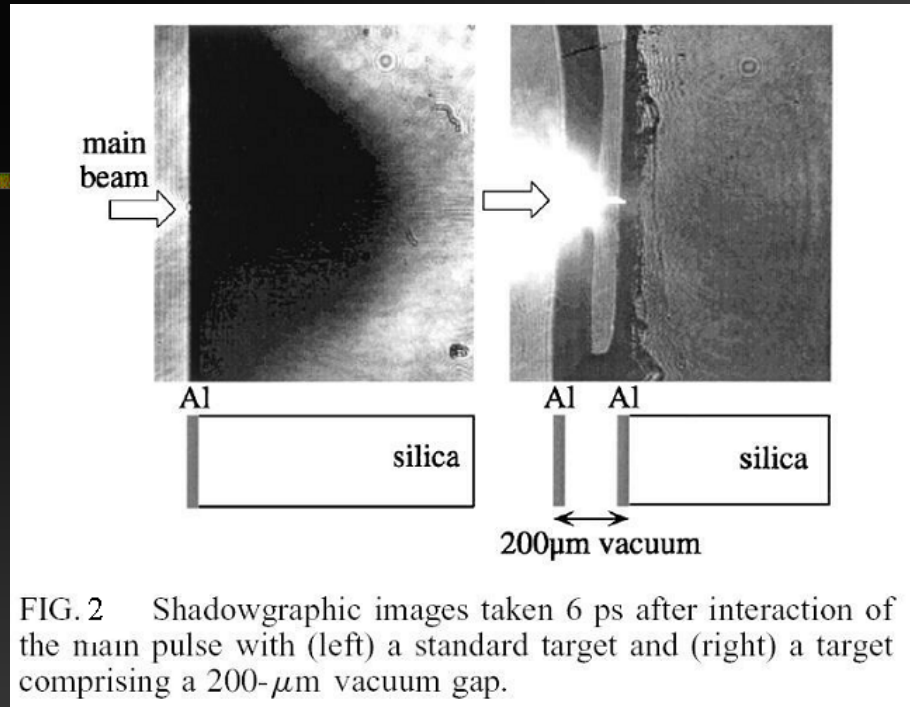


FIG. 2 Shadowgraphic images taken 6 ps after interaction of the main pulse with (left) a standard target and (right) a target comprising a 200- μm vacuum gap.

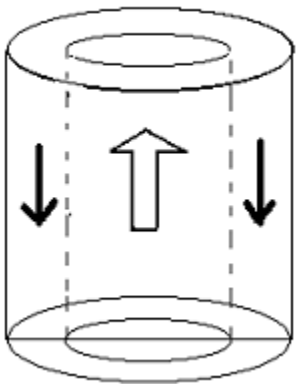
$t=6\text{ps}$,正常拍照与200 μm 真空隔离拍照对比,右图无电离迹象

推测 右图大部分超热电子受电场力回流.左图超热电子逃逸,靶点带正电,形成电荷分离场,但电子有补充源,动态平衡维持中间的超热电子流.

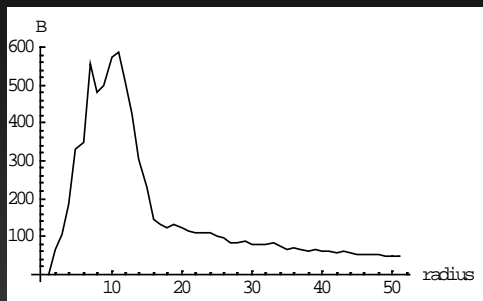
三 物理模型

1. 匀速模型

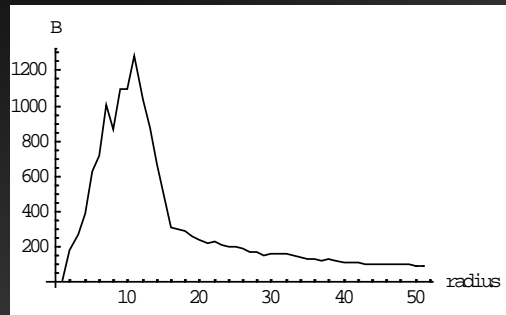
根据上述实验提出模型如下，假定 $h=200\mu\text{m}$, $10\mu\text{m}$ 半径内超热电子沿轴向运动, $10\text{-}15\ \mu\text{m}$ 电流反向. 轴向环向对称分布; 径向余弦分布, $\rho_0=5 \times 10^6/\mu\text{m}^3$, 环柱电荷均匀分布, 内外电流大小相等, 方向相反. $v=0.933c$. FIG.4. 是 $h=0, 50, 100\mu\text{m}$, B 沿径向变化, 反映匀速模型磁场的大致情况.



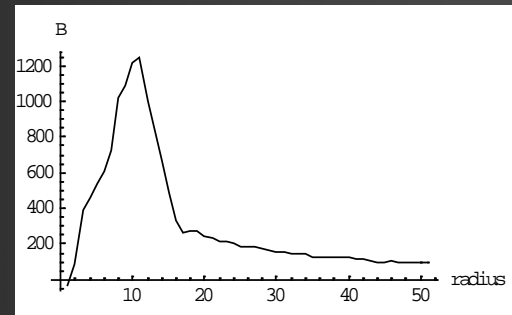
$$B(R, h) = \frac{1}{4\pi} \mu v \gamma \rho \int_{\text{IN}} dV \frac{\left(\cos\left(\frac{\pi}{2} \frac{z}{z_0}\right) (R - y) \right)}{\left(x^2 + (y - R)^2 + \gamma \gamma (z - h)^2 \right)^{3/2}} - \frac{1}{4\pi} \mu v \gamma \rho \left(\frac{\pi - 2}{2} \right) \int_{\text{OUT}} dV \frac{(R - y)}{\left(x^2 + (y - R)^2 + \gamma \gamma (z - h)^2 \right)^{3/2}}$$



(a). $h=0\mu\text{m}$. peak(10,586)。



(b). $h=50\mu\text{m}$. Peak(10,1286)。



(c). $h=100\mu\text{m}$. Peak(10,1244)。

最大值~1200T，在 $10\mu\text{m}$ 处，与实验量级相符
但磁场沿轴向的变化趋势与模拟不符。

2. 匀强电场模型

匀强电场模型

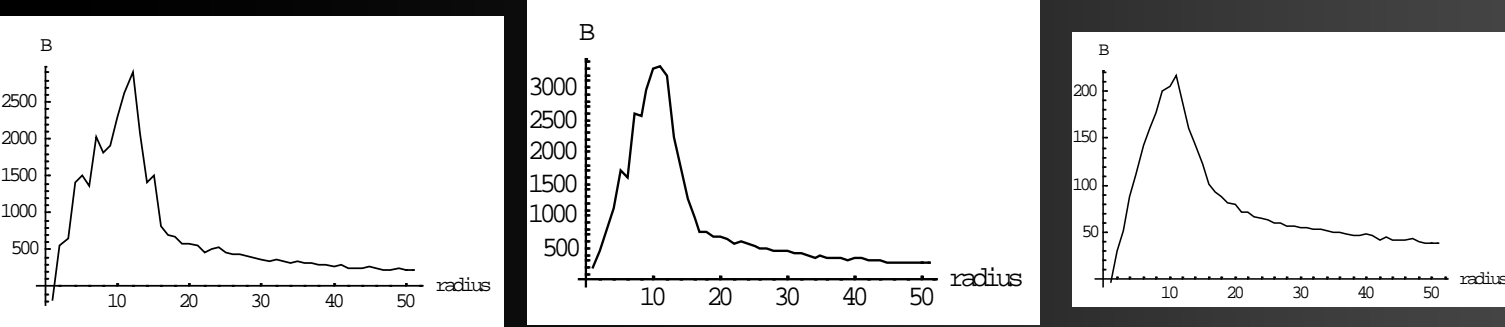
匀速修正为 $h=0, v=0.9724c; h=200\mu\text{m}, v=0;$
动能沿 h 正比例减小, $h=100\mu\text{m}, v=0.833c.$

$$\left(\frac{m_e c^2}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}} - m_e c^2 \right) \frac{0.0002 - z}{0.0002} = \frac{m_e c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_e c^2;$$

$$v = v(z),$$

$$\gamma = \gamma(z);$$

$$B(R, h) = \frac{1}{4\pi} \mu\rho \int_{\text{IN}} dV v\gamma \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \frac{r}{x_0}\right) (R - y)}{[(x^2 + (y - R)^2 + \gamma\gamma (z - h)^2)^{3/2}]}$$
$$- \frac{1}{4\pi} \mu\rho \left(\frac{\pi - 2}{2}\right) \int_{\text{OUT}} dV v\gamma \frac{(R - y)}{[(x^2 + (y - R)^2 + \gamma\gamma (z - h)^2)^{3/2}]}$$



(a). $h=0 \mu\text{m}$. Peak(11,2897). (b). $h=100 \mu\text{m}$. Peak(10,3354). (c). $h=200 \mu\text{m}$. Peak(10,216).

磁场高于匀速模型值,沿轴向上先略微升高,后迅速降低;

(0,2897) \rightarrow (100,3354) \rightarrow (200,216);与模拟大致相符,如下图所示

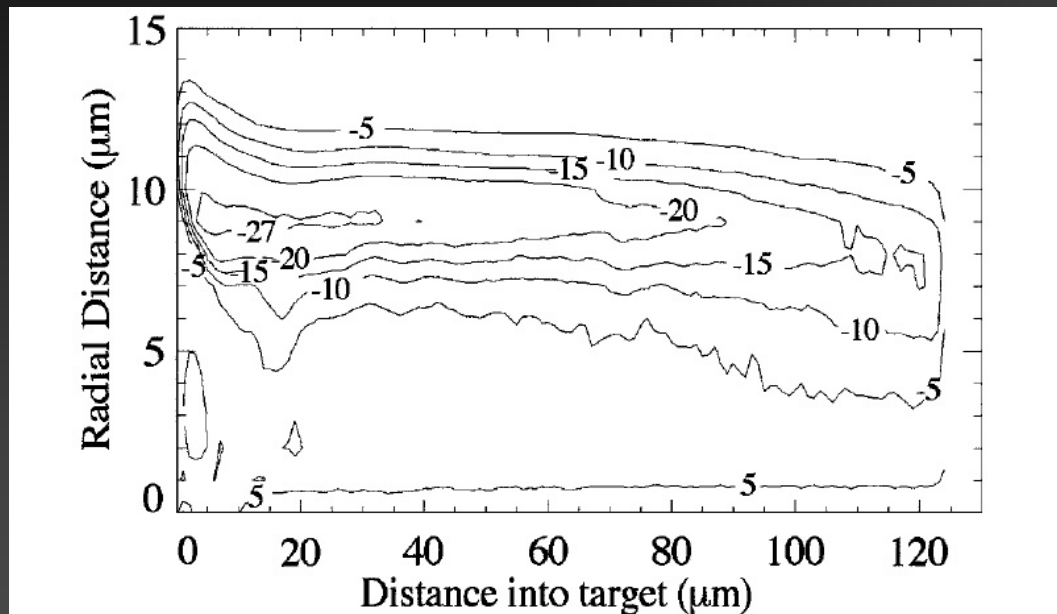


FIG. 4. Simulated magnetic field structure inside solid density target (contours are in MG) from Fokker-Planck calculation at time 1 psec after peak of laser pulse. Electrons are incident from left.

四 结论

对于超强超短激光与固体靶作用的磁场，匀强电场模型给出了与实验及模拟大致相符的磁场量级和空间分布.这表明，本文的模型在解决这个问题上方向是正确的.

进一步的研究可考虑强光子群与原子分子的作用机理.

参考文献

- [1] GremilletL, Phys.Rev.Lett.83(1999),5015
 - [2] Clark, Phys.Rev.Lett.84(2000),670
 - [3] M.Borghsi, Phys.Rev.Lett.80(1998),5137
 - [4] M.Borghsi, Phys.Rev.Lett.83(1999),4309
-