

在第 19 讲和第 20 讲中，老师给我们讲了一个金属在加上磁场后，会造成介质的导电率和介电常数由一个数变成一个张量，同时正因为材料的介电常数的变化，使得入射并透出的光波会从原本的线偏振的光变成一个椭圆偏振的光，同时椭圆的长轴与原本线偏振的方向会产生一个角度的变化，在学到这个知识点以后，我就在想，如果我们研究的不是透射过去的光，而是一个反射的光，那么这束反射的光会不会也产生类似于法拉第效应这样的现象呢？带着这个问题，我通过网上搜索以及到吴义政老师组中询问（之所以会选择吴老师组，是因为我知道他们在科学楼有一个专门做和磁有关实验室）。最后的结果是，对于反射的光波，其也会产生一个相同的“旋光效应”，叫做磁光克尔效应。在得到了这个肯定的答复之后，我感到很激动，同时非常想知道，克尔效应的产生是不是也和法拉第效应一样，是由于介电张量的“升阶”所造成的？通过查看参考书以及仿照老师上课时的课件推导，我自己得到了一套关于克尔效应的推导，现在推导如下：

通过课上的讨论，可以知道，对于处于磁场中的材料，其介电张量为：

$$\varepsilon_r = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 & i\varepsilon_2 & 0 \\ -i\varepsilon_2 & \varepsilon_1 & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

又，此时麦克斯韦方程组可以写成：

$$\begin{cases} \vec{k} \cdot (\varepsilon_r \cdot \vec{E}_0) = 0 \\ \vec{k} \cdot \vec{H}_0 = 0 \\ \vec{k} \times \vec{E}_0 = \omega \mu_0 \vec{H}_0 \\ \vec{k} \times \vec{H}_0 = -\omega \varepsilon_0 \varepsilon_r \cdot \vec{E}_0 \end{cases} \quad (2)$$

同时，整个对于此方程组中的第 3,4 式，可以改写为： $k^2 \cdot \vec{E}_0 = k_0^2 (\varepsilon_r \cdot \vec{E}_0)$ ，同时又有色散

关系： $k^2 = (\omega \frac{n}{c})^2$ ，所以方程可以改写为矩阵的形式：

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 & i\varepsilon_2 & 0 \\ -i\varepsilon_2 & \varepsilon_1 & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_3 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \\ 0 \end{pmatrix} = n^2 \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \\ 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

在求解过程中，认为光是沿着 Z 方向传播，并且取电场方向为 x 方向。通过求解其本征方程，可以得到

$$n_+ = \sqrt{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}, n_- = \sqrt{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} \quad (4)$$

其中 n_+ 代表右旋光， n_- 代表左旋光。代入 (3) 中，得到 x,y 方向电场之间的关系。同时，根据正入射菲涅尔反射率公式，有：

$$r_{\pm} = \frac{n_{\pm} - 1}{n_{\pm} + 1} \quad (5)$$

并得到反射后的光波的公式为：

对于反射右旋光： $E_{r,r} = r_+ E_0 (e_x - ie_y) e^{-i(k_z - \omega t)}$ ，

对于反射左旋光： $E_{r,l} = r_- E_0 (e_x + ie_y) e^{-i(k_z - \omega t)}$

其合成以后，为：

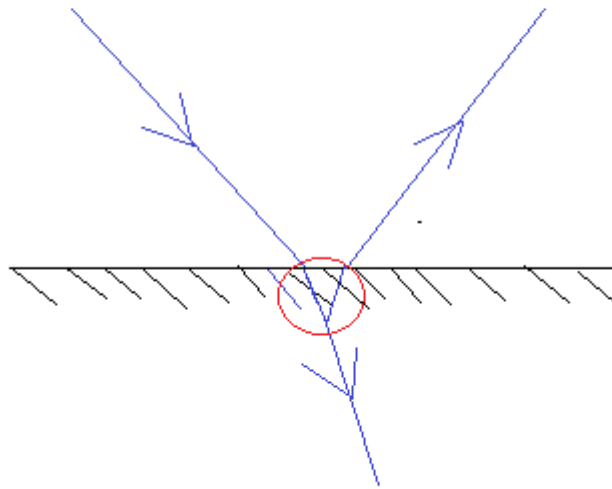
$$E_r = \left[\frac{(r_+ + r_-)e_x}{2} + i \frac{(r_- - r_+)e_y}{2} \right] E_0 e^{-i(k_z z - \omega t)} \quad (6)$$

可见，这里的反射光仍然为一个线偏振的光，只是其偏振面转过了一个角度：

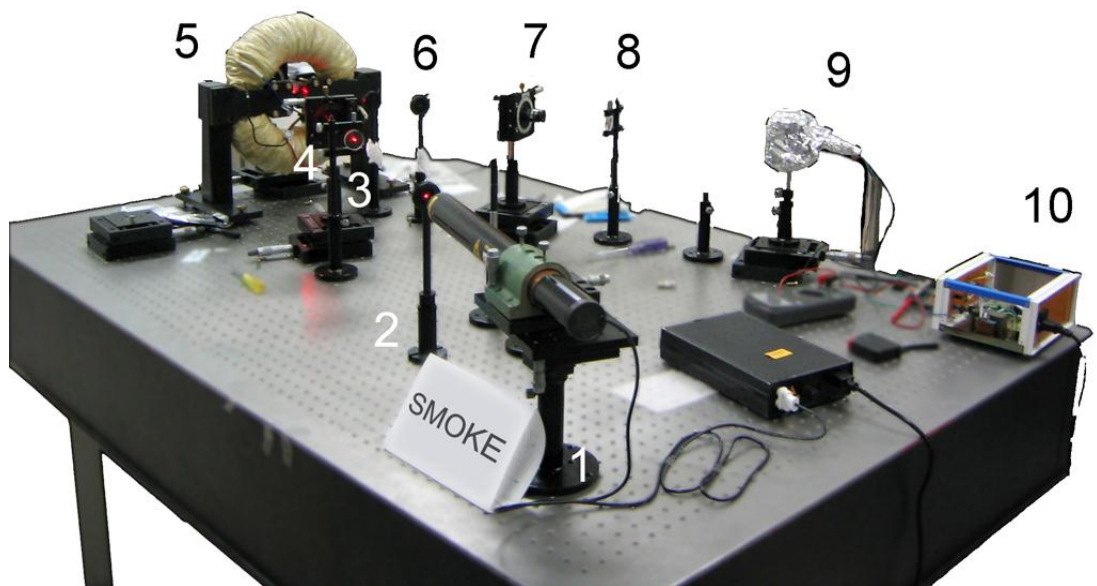
$$\Delta\phi = \left| \arctg \left(\frac{r_- - r_+}{r_+ + r_-} \right) \right| \quad (7)$$

此角度称为克尔角。同时，这个外加的磁场其实可以是材料本身的磁化强度，通过测量这个克尔转角，可以帮助人们了解材料的很多性质。

在以上推导中，我发现一个问题，就是我最后的结论是认为反射光是一个线偏振的光，但是通过查阅文献可知，反射光应该是一个椭圆偏振的光，这让我百思不得其解。通过对照“反射光是椭圆偏振”以及我上述的推导，我觉得，在推导过程中最有可能出现问题的就是在得到两束反射光的时候没有考虑相位差的问题。也就是说，在上述推导中我认为，当光一达到材料的表面，就立刻分为反射光和折射光，对于反射的左旋光和右旋光来说，其间并没有相位差。但其实（这是我通过这个问题，经过想象建立的一个模型）对于反射光来说，应该是如下情况：



也就是说，我认为，反射的过程应该是这样的：光到达介质表面，会透入一定的深度，然后再分开成为反射光和折射光，或者，更准确的说，是光到达介质表面的时候，会使得分子受到响应，然后通过某种形式的辐射，发出反射光和折射光，而参与反射光辐射的，不仅仅是表面的一层分子层，而是具有一定厚度的分子层，于是就造成了反射的左旋光和右旋光由于在旋磁介质中折射率不同，造成速度不同，从而使得出射的反射光有了相位差，形成了圆偏振光。



- 1 激光器 2 光阑(a) 3 聚焦透镜(a) 4 偏振棱镜(a) 5 电磁铁和样品
6 光阑(b) 7 偏振棱镜(b) 8 聚焦透镜(b) 9 光电探头 10 光电探头
内放大器电源

这张图片就是金晓峰老师组里面以前搭建的测量表面磁光克尔效应的实验装置图，它可以被用来测量磁性介质中极化强度 M 的微小变化。