

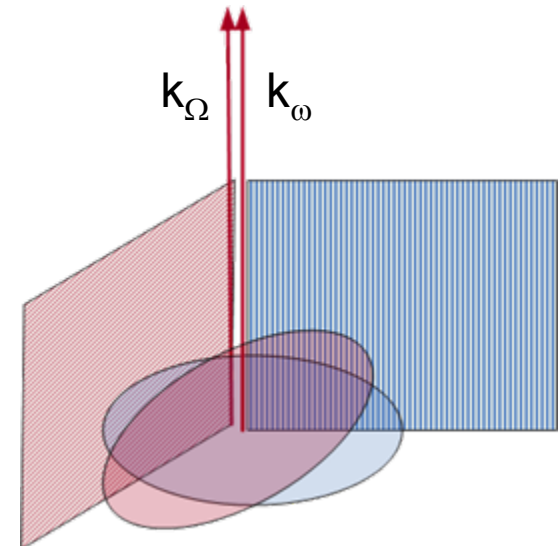
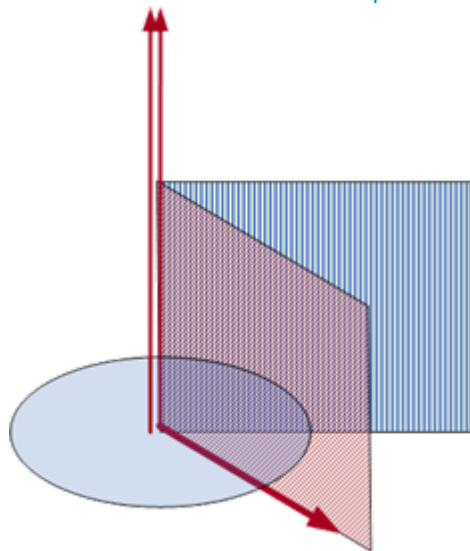
Дихроизм

Циркулярный дихроизм это разница между коэффициентами отражения для право и лево поляризованной компоненты электромагнитного поля



Что происходит с поляризацией поля при прохождении через среду с дихроизмом?

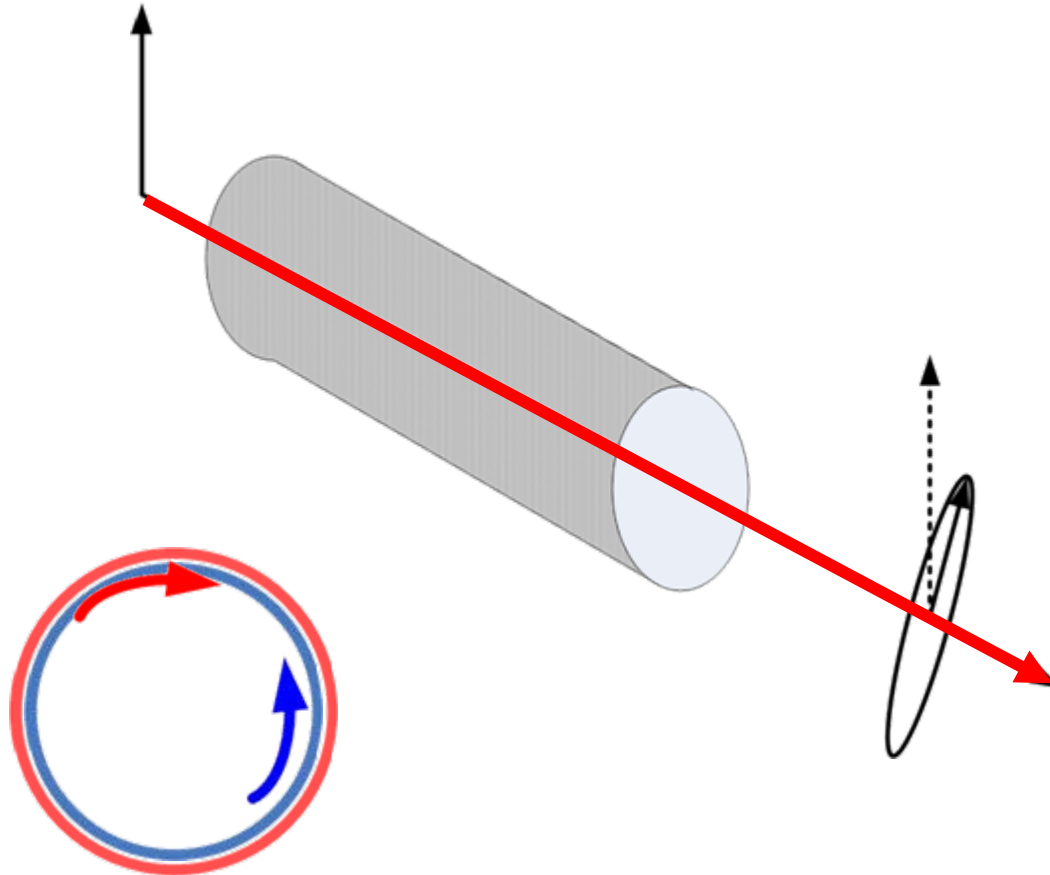
Пробное поле проходит через среду с дихроизмом ($\Delta n = n_+ - n_-$)



Дихроизм

Первые наблюдения кругового дихроизма в естественно хиральных средах

В средах, обладающих разным показателем преломления относительно право и лево поляризованных компонент света, наблюдается эффект **двойного лучепреломления**.



Jean-Baptiste Biot
(1774-1862)



François Arago
(1786-1853)

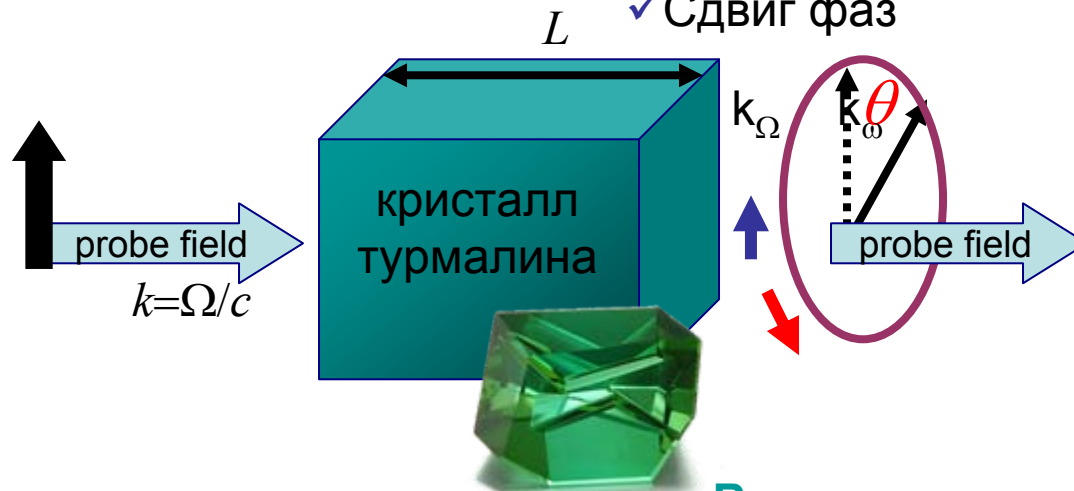
Дихроизм

Линейно поляризованный свет:

- ✓ Циркулярные компоненты равны
- ✓ Фазы совпадают

Эллиптически поляризованный свет:

- ✓ Различные циркулярные компоненты
- ✓ Сдвиг фаз



Пробное поле проходит через среду с дихроизмом ($\Delta n = n_+ - n_-$)

Вращение поляризации и возникновение эллиптичности

θ – угол вращения
 ε – приобретаемая эллиптичность

$$\varepsilon = k \operatorname{Im}(\Delta n) L / 4$$

$$\theta = k \operatorname{Re}(\Delta n) L / 4$$

Каковы причины возникновения дихроизма?

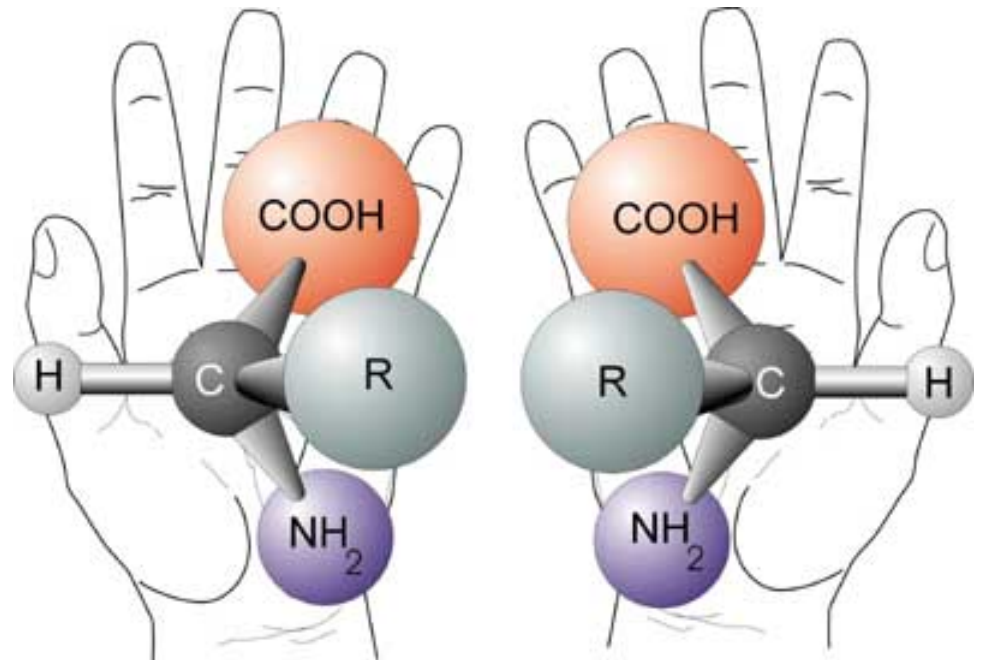
Дихроизм

Молекула называется **хиральной** если ее зеркальное отражение невозможно совместить с исходной молекулой вращениями и сдвигами. Происходит от греческого $\chi\epsilon\iota\rho$ – рука.



Louis Pasteur
1822-1895

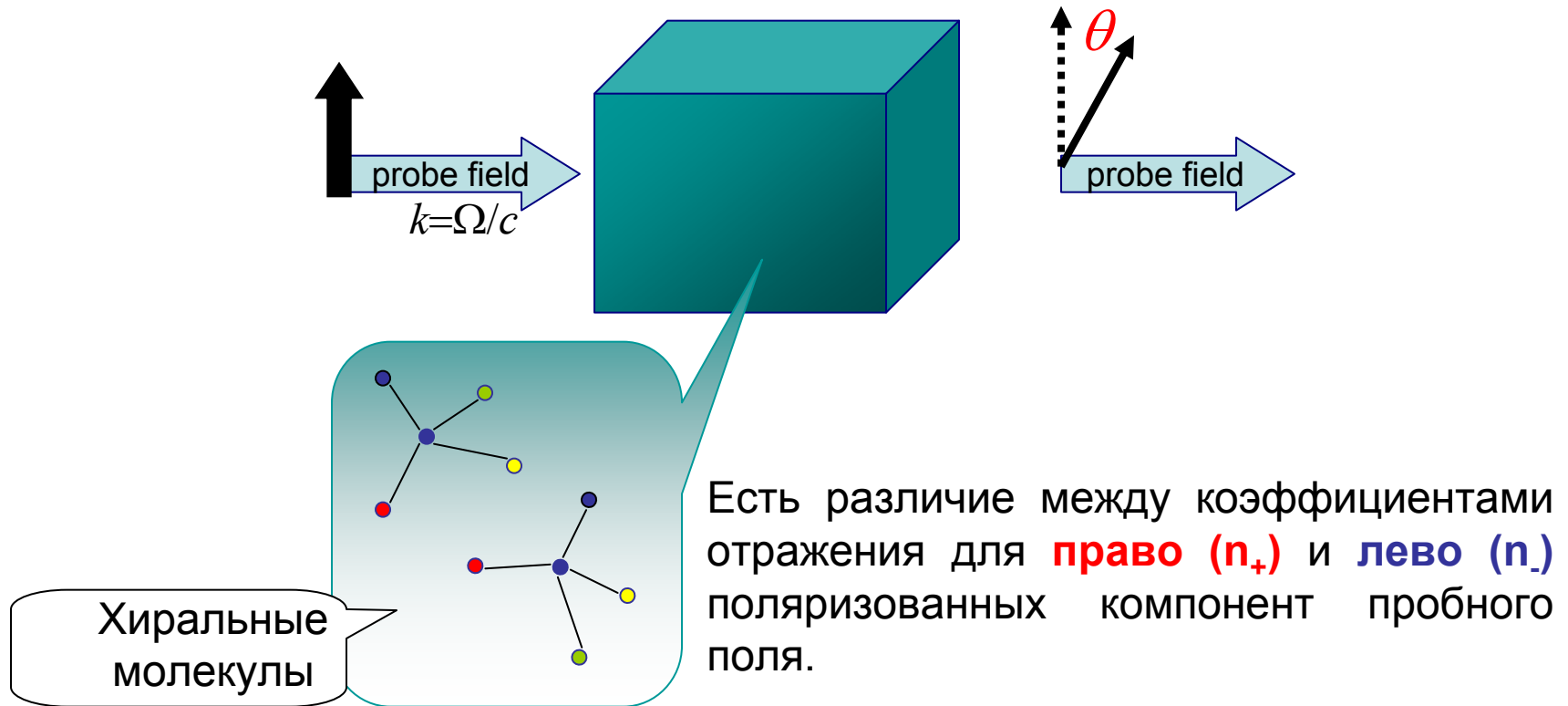
Разделил раствор виноградной кислоты $C_4H_5O_6Na$ на два хиральных раствора



Хиральность молекул крайне важна для биологии и органической химии.

Дихроизм

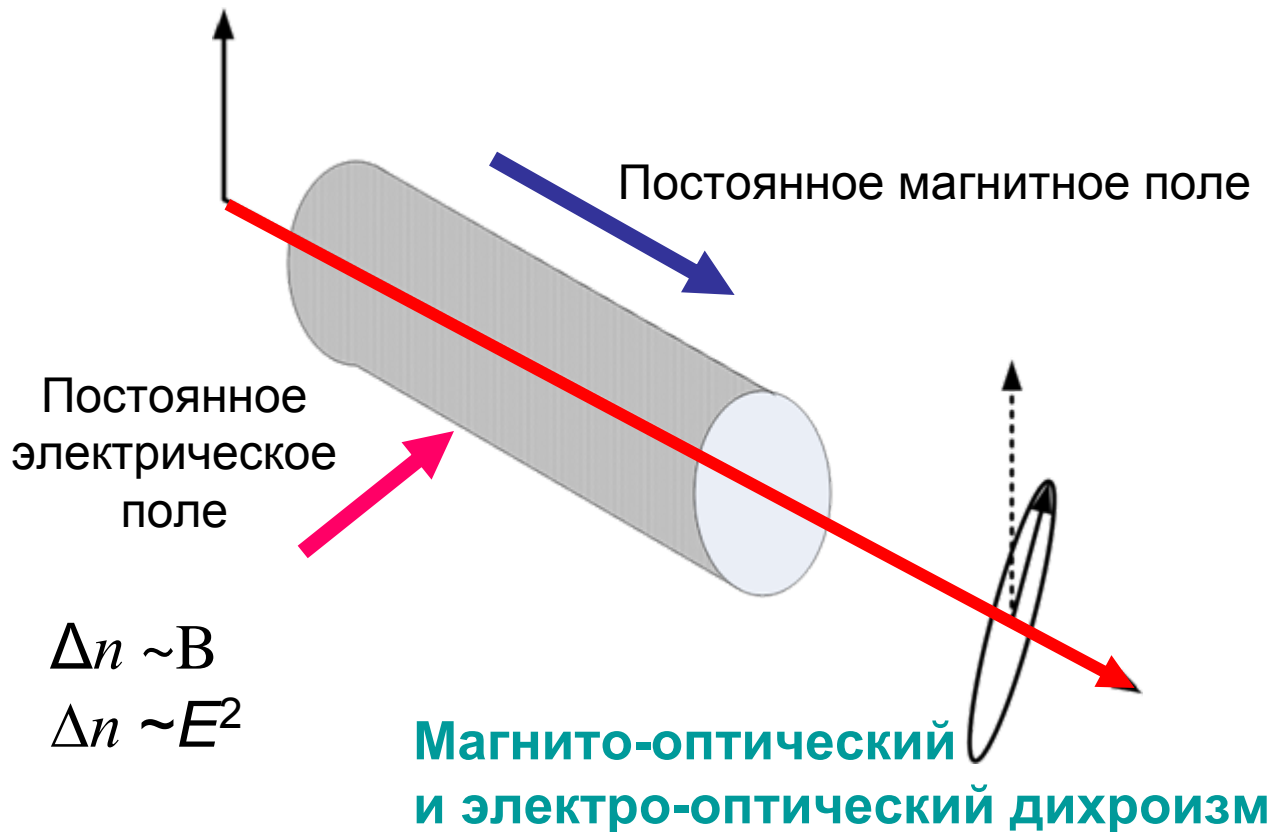
Естественный дихроизм это результат хиральности молекул среды



Дихроизм

Первые наблюдение кругового дихроизма в индуцировано хиральных средах

В среде можно индуцировать разность показателей преломления относительно право и лево поляризованных компонент света магнитным или электрическим полем: **эффект Фарадея и эффект Керра.**



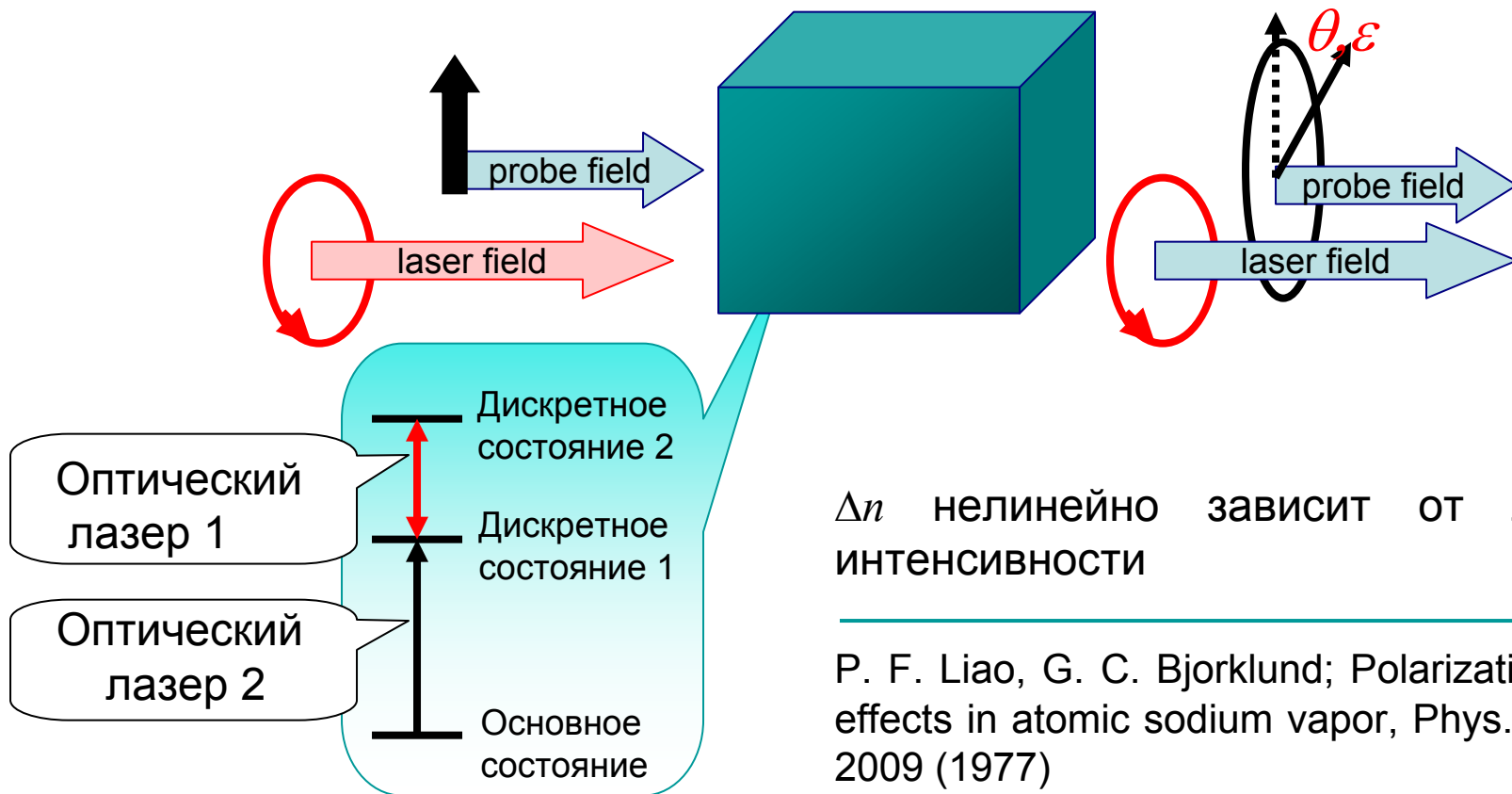
Michael Faraday
(1791-1867)



John Kerr
(1824-1907)

Дихроизм

Лазерно-индуцированный дихроизм возникает как результат оптической связи дискретных состояний



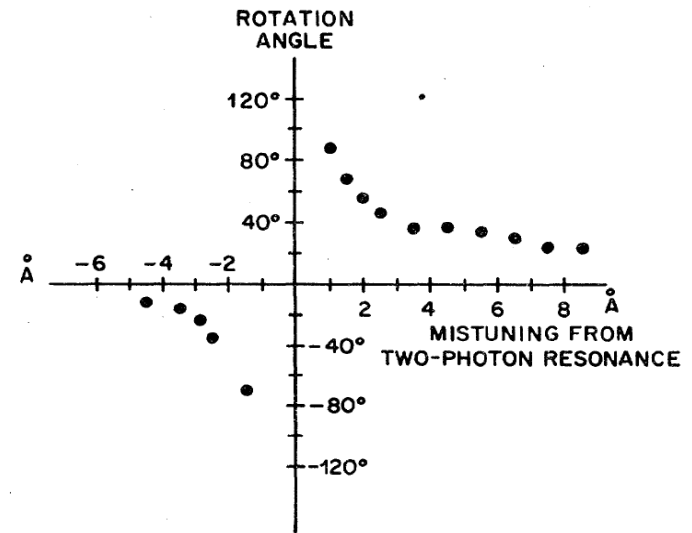
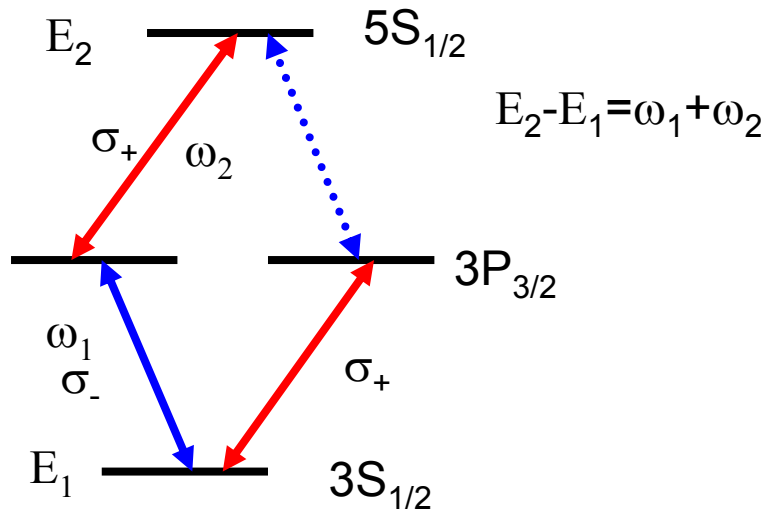
Δn нелинейно зависит от лазерной интенсивности

P. F. Liao, G. C. Bjorklund; Polarization rotation effects in atomic sodium vapor, Phys. Rev. A **15** 2009 (1977)

Дихроизм

Первые наблюдения лазерно индуцированного дихроизма в дискретном спектре атома.

Атом натрия Na



$N \sim 3 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$, $L \sim 5 \text{ cm}$

P. F. Liao and G. C. Bjorklund, Phys. Rev. A, 15 2009 (1977).

V. M. Arutyunyan, T. A. Papazyan, G. G. Adonts, A. V. Karmenyan, S. P. Ishkhanyan, and L. Khol'ts, JETP 41, 22 (1976) (Калий).

Дихроизм

Характеристики поляризации электромагнитного поля

Вектор напряженности полностью поляризованного электромагнитного поля в общем случае представляется в виде:

$$\vec{E}_\Omega = E_\Omega \{ \cos(\theta - \pi/4) \exp(i\varphi) \hat{e}_+ + \cos(\theta + \pi/4) \exp(-i\varphi) \hat{e}_- \}$$

$$e_\pm = \mp \frac{e_x \pm ie_y}{\sqrt{2}}$$

$$|E|^2 = |E_\Omega \exp(i(\omega t - kx)) + \text{к.с}|^2 = \frac{E_\Omega^2}{2} \{ 1 - \cos(2\theta) \cos e(2(\omega t - kx)) \}$$

Дихроизм

Характеристики поляризации электромагнитного поля

$$|E|^2 = |E_{\Omega} \exp(i(\omega t - kx)) + \text{к.с}|^2 = \frac{E^2}{2} \{1 - \cos(2\theta) \cos e(2(\omega t - kx))\}$$

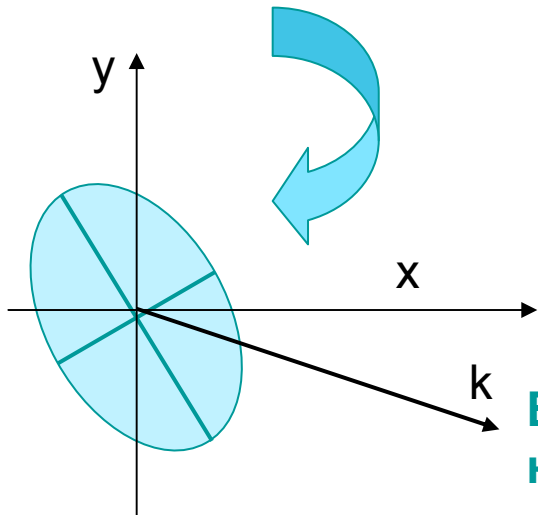
$$e_{\pm} = \mp \frac{e_x \pm ie_y}{\sqrt{2}}$$

Ось z выбрана вдоль направления распространения поля. Параметры θ , φ определяют эллипс поляризации поля.

$\text{tg}(\theta)$ определяет отношение главных полуосей эллипса поляризации

Угол φ характеризует наклон эллипса поляризации:

$$\sin(\theta)(\hat{e}_x \cos \varphi - \hat{e}_y \sin \varphi)$$



Плоскость поляризации

Плоскостью поляризации эллиптически поляризованного поля называется плоскость, проходящая через большую ось эллипса поляризации и направление распространения поля.

Возможно ли изменить степень эллиптичности, не меняя угол ориентации, и наоборот?

Дихроизм

Управление поляризацией излучения в среде с дихроизмом

Плоская линейно поляризованная волна с частотой Ω в вакууме распространяется вдоль оси z :

$$\vec{E}_\Omega = \frac{E_1}{\sqrt{2}} (-\hat{e}_+ + \hat{e}_-) \exp(i\Omega t - ikz)$$

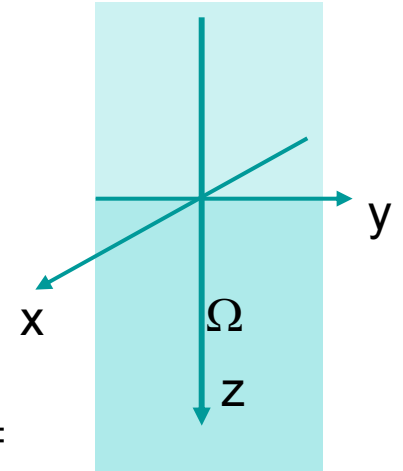
После прохождения пути L в среде с дихроизмом:

$$\begin{aligned} \vec{E}'_\Omega &= \frac{E_1}{\sqrt{2}} \{-\hat{e}_+ \exp(i\Omega t - ik_+ L) + \hat{e}_- \exp(i\Omega t - ik_- L)\} = \\ &= \frac{E_1}{\sqrt{2}} \exp\left(i\Omega t - i\frac{k_+ + k_-}{2} L\right) \{-\hat{e}_+ \exp(i\Delta k L) + \hat{e}_- \exp(-i\Delta k L)\} \end{aligned}$$

Где $\Delta k = k_- - k_+$

Поляризационные характеристики поля Ω в среде в точке $z=L$:

$$\varphi' = \frac{\text{Re } \Delta k}{2} L, \quad \text{tg } \theta' = \frac{\exp(L \text{Im } \Delta k) - 1}{\exp(L \text{Im } \Delta k) + 1} = \frac{\text{Im } \Delta k}{2} L$$



Дихроизм

Управление поляризацией излучения в среде с дихроизмом

В общем виде волновой вектор в среде связан с волновым вектором в вакууме и нелинейной восприимчивостью соотношением:

$$k'^2 = (1 + N\chi)k^2$$

Если нелинейная восприимчивость среды мала ($N\chi \ll 1$), то:

$$k' - k \approx \frac{N\chi k}{2}, \Rightarrow \begin{cases} \operatorname{Re} \Delta k \approx \operatorname{Re}(\chi_- - \chi_+) \frac{k}{2} = \frac{\Omega N}{2c} \operatorname{Re}(\chi_- - \chi_+) \\ \operatorname{Im} \Delta k \approx \operatorname{Im}(\chi_- - \chi_+) \frac{k}{2} = \frac{\Omega N}{2c} \operatorname{Im}(\chi_- - \chi_+) \end{cases}$$

Тогда поворот плоскости поляризации:

$$\varphi' = \frac{\operatorname{Re} \Delta k}{2} L = \frac{\Omega L}{4c} \operatorname{Re}(\chi_- - \chi_+) \quad \varepsilon = \frac{\operatorname{Im} \Delta k}{2} L = \frac{\Omega L}{4c} \operatorname{Im}(\chi_- - \chi_+)$$

Поскольку положения экстремумов действительной и мнимой части нелинейной восприимчивости не совпадают, то можно реализовать любое изменение поляризации.