

НЕЛИНЕЙНОСТЬ СРЕД ИЗ-ЗА ИНДУЦИРОВАННОЙ ДЕФОРМАЦИИ МОЛЕКУЛ АТОМОВ И ЧАСТИЦ СРЕДЫ

Г.А.Аскарьян

Появление мощных лазерных источников света делает актуальным исследование новых механизмов изменения поляризуемости среды в мощных лучах. Такие явления могут вызвать самофокусировку (см.[1-4] и последующий ряд статей), нелинейное взаимодействие лучей, и т.п. В данной статье рассмотрены новые нелинейные эффекты увеличения поляризуемости среды, вызванные индуцированной деформацией молекул или частиц.

1. Деформация и увеличение поляризуемости молекул в сильном световом поле

В луче лазера усредненное электрическое давление $P_{\text{эл}} = E^2/8\pi$ может достигать сотен и тысяч атмосфер, что делает возможной заметную деформацию молекул (уже при десятках тысяч атмосфер сжимаемость связана со сжатием молекул, так как плотности веществ превосходят их плотности при низких температурах). Анизотропия электрического давления (например, давление электрического поля на поверхность проводящей сферы $P_{\text{эл}} \approx (9/8\pi) E_0^2 \cos^2 \theta$ максимально в направлении поля) вызывает сильную деформацию даже в тех случаях, когда изменения объема малы. Так как при оценке поляризуемости атома и молекулы часто пользуются моделью "металлических" сфер (поляризуемость атома близка по величине к поляризуемости проводящей сферы того же радиуса), мы и в дальнейшем будем пользоваться этой моделью, оценивая давление поля, деформирующее молекулу.

Поляризуемость проводящего сфероида $\alpha_x = V/4\pi n_x$, где V объем и n_x – коэффициент деполяризации (см., например, [5]). Если сфероид близок к шару, то $n_x = 1/3 - (4/15)(a - b)/R$; где a и b – большая и малая полуоси сфероида и R радиус шара, подвергающегося деформации. Изменение поляризуемости молекулы при изменении только ее формы

$$\Delta \alpha_1 \approx \frac{3V}{5\pi} \frac{(a - b)}{R} \approx \frac{4}{5} \frac{\alpha_0}{R} \frac{(a - b)}{R},$$

то же при изменении только ее объема $\Delta \alpha_2 \approx \alpha_0 (\Delta V/V)$, все это дает нелинейную добавку к диэлектрической проницаемости $\Delta\epsilon \approx 4\pi N_A \Delta\alpha$ (в пренебрежении поправками на внутреннее поле), где N_A – концентрация частиц в единице объема среды.

В зависимости от типа модели, описывающей свойства молекулы, получим разные выражения для деформации. Например, изменение объема

ма молекулы $\Delta V/V \approx 3E_0^2 / 8\pi K$, где K – модуль объемного расширения; деформация твердой сферы дает [5]

$$\frac{a - b}{R} \propto \frac{9E_0^2}{40\pi\mu},$$

где μ – модуль сдвига; деформация капли дает $(a - b)/R \approx 9E_0^2 R/16\pi\sigma$, где σ – поверхностное натяжение, т.е. для всех моделей изменение поляризуемости $\Delta a/a \approx P_{\text{эл}}/P_{\text{мол}} \approx E^2/8\pi P_{\text{мол}}$; где $P_{\text{мол}}$ – давление, необходимое для сильной деформации молекулы (это давление близко к давлению сил, удерживающих атомы в молекуле). Мы примем величину этого давления $P_{\text{мол}} \approx 10^4 + 10^5 \text{ атм}$, так как в диапазоне десятков тысяч атмосфер сжимаемость резко уменьшается и далее сжатие вещества происходит за счет сжатия молекул, на что указывает излом в сжимаемости и превышение плотности вещества над его плотностью при очень низких температурах. (Для деформации атомов по-видимому, требуется большие давления, чем для деформации молекул.) Используя эту величину молекулярного давления, получим деформационное изменение поляризуемости $\Delta a/a \approx 10^{-12} E_0^2$, что всего в несколько раз меньше максимальной величины $\Delta a/a$ из-за ориентации очень вытянутых молекул в случае оптического Керр-эффекта, для которого $\Delta a/a \approx \epsilon E^2/KT \approx 10^{-11} E_0^2$ для $a \approx 10^{-24} \text{ см}^{-3}$ и $T \approx 300^\circ$. Коэффициент n_2 в разложении показателя преломления $n = n_0 + n_2 E^2$ определяется из

$$n_2 \approx \frac{\epsilon_2}{2n_0} \approx \frac{4\pi N \Delta a}{2n_0 E^2}, \quad \frac{n_2^{\text{дефор}}}{n_2^{\text{Керр}}} \approx \frac{\Delta a_{\text{дефор}}}{\Delta a_{\text{Керр}}} \approx 0,1$$

для сильно вытянутых молекул, но для молекул с малым высокочастотным эффектом Керра деформационная нелинейность может стать преобладающей и основной.

Время деформации молекул крайне мало ($t \lesssim 10^{-13} \text{ сек}$), поэтому деформация устанавливается быстро и квазистатически и успевает воспроизводиться по полн даже при различных тепловых движениях молекул. Возможно резонансное увеличение деформации и поляризуемости молекул при модуляции интенсивности света с частотой, близкой к частоте собственных колебаний молекул, т.е. при возбуждении молекулы [6]. Такие процессы особенно обильны при индуцированном комбинационном рассеянии.

Все это показывает, что даже в тех средах, в которых постоянная оптического Керр-эффекта мала или равна нулю, лучи большой интенсивности могут очень быстро увеличить показатель преломления из-за деформации молекул и создать условия самофокусировки с очень малой инерционностью, гораздо меньшей, чем инерционность стрикции.

Сильная деформация многоатомных молекул в интенсивном световом поле может вызвать *сильную перестройку атомов в молекуле*. Все это

значительно расширяет класс сред, в которых может наблюдаться быстро возникающая самофокусировка.

2. Искусственные среды с нелинейностью

Расширяя идею создания искусственных диэлектриков, получивших широкое распространение в радиотехнике, можно попытаться создать искусственный диэлектрик с сильными нелинейными свойствами. Простейшим аналогом такой среды может явиться среда со взвешенными частицами (сuspензия, эмульсия, коллоидный раствор), изменяющими поляризуемость при включении поля. Это изменение поляризуемости может быть связано с ориентацией частиц (если они несферичны), с их деформацией под действием поля, с их расширением при нагреве и т.п. В случае сред с анизотропными частицами изменение поляризуемости среды

$$\Delta \kappa \approx N_{\text{част}} \Delta \alpha \approx N_{\text{част}} \alpha \frac{\alpha E^2}{KT} \approx \kappa_{\text{част}} \frac{\alpha E^2}{KT},$$

где $\kappa_{\text{част}}$ — максимальная поляризуемость частиц, а фактор $\alpha E^2 / KT$ определяет дезориентирующее действие температуры. Ввиду того, что размер частиц во много раз превосходит размеры молекул, этот фактор для частиц гораздо больше, чем для молекул. Таким образом, сильные нелинейные свойства можно ожидать при гораздо меньших напряженностях полей. Большие размеры частиц облегчают их деформацию (в случае жидких частиц $\Delta \alpha / \alpha \approx E^2 R / 8\pi\sigma \sim R$ и $\Delta \alpha \sim R^4$), нагрев тепловое расширение (дающее $\Delta \alpha / \alpha \approx \Delta V / V \approx \chi \Delta T$ и $\Delta \alpha \sim R^3$), где χ_T — коэффициент теплового расширения) и т.д.! Время установления изменения свойств среды не может быть очень малым вследствие больших размеров частиц, но такие среды с искусственной нелинейностью можно использовать для изучения процессов самофокусировки не очень мощных длительных потоков излучения, моделирования различных нелинейных процессов. Такие среды могут изменять свои свойства под действием внешних электрических и магнитных полей и могут быть управляемы.

Физический институт
им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
6 июня 1967 г.

Литература

- [1] Г.А.Аскарьян. ЖЭТФ, 42, 1567, 1962.
- [2] В.И.Таланов. Изв. высш. уч. зав., Радиофизика, 7, 564, 1964.
- [3] R.Chaos, E. Garmire, C.H. Townes. Phys. Rev. Lett., 13, 479, 1964.
- [4] Н.Ф.Пилипецкий, А.Р.Рустамов. Письма ЖЭТФ, 2, 88, 1965.
- [5] Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Электродинамика сплошных сред. Гостехиздат, М., 1957.
- [6] Г.А.Аскарьян, Письма ЖЭТФ, 4, 400, 1966.