

Лабораторная работа

Изучение закона поглощения света в жидкости

Цель работы: экспериментально проверить закон Ламберта-Бугера-Бера и измерить коэффициент поглощения крепкого чайного настоя.

Оборудование: источник света (настольная лампа или лазерная указка), высокий стакан, линейка или миллиметровая бумага, черная бумага, настой чайных листьев (или другая, поглощающая свет видимого диапазона, жидкость), белая пластиковая крышка на тонком стержне-держателе, фотоаппарат, графический редактор для определения яркости точек изображения.

Молекулы веществ способны поглощать световую энергию на определенных частотах. Спектр поглощения различен. Однако можно утверждать, что ослабление интенсивности будет пропорционально количеству молекул, провзаимодействовавших со светом. Пусть p – вероятность поглощения фотона молекулой, тогда при взаимодействии с N молекулами, число фотонов уменьшится на

$$dN_{\phi} = -pN_{\phi}dN$$

Пусть световой поток падает на плоский слой поглощающего вещества толщиной dx перпендикулярно его поверхности площадью S . Если обозначить концентрацию молекул в слое как n , то $N = nSdx$. Таким образом, скорость изменения интенсивности пропорциональна интенсивности

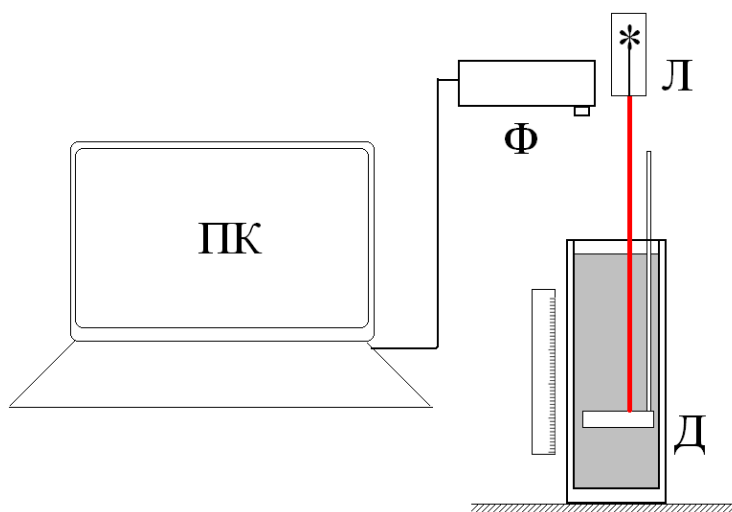
$$dI = -aI dx$$

Проинтегрировав это выражение, получим закон Ламберта-Бугера-Бера

$$I = I_0 e^{-\alpha x}$$

, где I_0 – интенсивность падающего на поглощающую среду света ($x = 0$), α – коэффициент поглощения, x – длина пути света в поглощающей среде.

Схема установки представлена на рисунке. В стакан, заполненный исследуемой жидкостью и обёрнутый чёрной бумагой, на глубину h помещается белый пластмассовый диск на держателе Д (можно их скрепить моментальным клеем или пластилином). Сверху диск освещают с помощью источника Л.



и делают фотоснимок с помощью камеры Ф. Файл с изображением диска анализируют с помощью графического редактора, регистрируя яркость I (в условных единицах) точки с максимальной освещенностью. Для анализа снимков можно использовать любое удобное ПО. Например, можно воспользоваться программой Scion Image.

Альтернативный способ измерения интенсивности светового потока состоит в использовании встроенного в телефон датчика освещенности. Считать с него показания можно при помощи приложения «Люксметр» (андроид) или аналогичного. Датчик расположен на той же стороне, что и экран. Чтобы его локализовать, нужно закрывать различные части экрана при включенном приложении и установить, какую область экрана надо закрыть, чтоб показания ушли в ноль. Можно, конечно, постараться скачать подробное описание модели именно Вашего телефона.

При выполнении работы необходимо учитывать следующие обстоятельства:

1. Источник света должен давать параллельный пучок, чтобы его интенсивность не менялась с расстоянием. Если для организации параллельного пучка у вас нет лазера или линзы, а в качестве источника используется обычная лампа (в том числе, фонарь смартфона), источник света получается практически точечным, и необходимо учитывать, что интенсивность излучаемых им сферических волн обратно пропорциональна квадрату расстояния до источника. Эта зависимость будет накладываться на изменение интенсивности из-за поглощения в жидкости. Подумайте, как освещенность изображения матовой отражающей поверхности на матрице фотокамеры зависит от расстояния между этой поверхностью и объективом при неизменной освещенности самой поверхности.
2. Для сравнения интенсивности по фотографии необходимо фотографировать при фиксированной экспозиции (а не при автоматической, которая по умолчанию используется в большинстве камер). Для этого используйте ручной режим съемки. Если же установка фиксированной экспозиции невозможна, следует учесть ее изменение - в данных файла фотографии как правило указывается номинальное значение чувствительности в единицах ISO, выдержки и диафрагмы. Фокусное расстояние объектива камеры также не следует менять.
3. При высокой интенсивности источника (в частности, при использовании лазера) может происходить засветка части кадра, т.е., наблюдаемое по фотографии значение "зашкаливает" - все время показывает максимально возможное значение, например, 255. Если это происходит, необходимо уменьшить экспозицию.
4. Необязательно переводить фотографию в черно-белый формат. Напротив, в исходном файле фотографии каждому пикселю соответствует значение RGB, задающее относительные интенсивности трех спектральных компонент - красной, зеленой и синей. Это дает возможность определить по одной фотографии поглощение сразу на трех длинах волн, т.е., качественно пронаблюдать спектр поглощения и обсудить его происхождение. Подумайте, как экспериментальная зависимость показателя поглощения от длины волны связана с наблюдаемым цветом исследуемой жидкости. Обратите внимание, что для изучения спектра поглощения необходимо производить съемку при фиксированном балансе белого камеры, предварительно настроив его по белому листу бумаги.
5. При изучении зависимости поглощения от времени заваривания чая следует проводить измерения при неизменной концентрации поглощающего вещества. То есть, заваривание следует прекратить по истечению требуемого времени и только после этого приступить к измерениям. Для каждого времени заваривания необходимо приготовить новый чай с точно таким же количеством заварки на единицу объема воды. Подумайте, как этого добиться.

Обработка результатов

1. Постройте на одном графике зависимости $\ln(I/I_0)$ от удвоенной глубины $2h$ для интегральной интенсивности и каждой из трех спектральных компонент (красной, зеленой и синей), и по угловым наклонам определите значения α
2. Изучите, как зависит α от длины волны (длину волны лазера можно определить по дифракции на DVD диске, значения стандартных длин волн красной, зеленой и синей компонент, используемых в цифровой фотографии можно найти в сети Интернет).
3. Изучите, как меняется относительная концентрация поглощающих веществ n/n_0 в настое чая от времени заваривания t (n_0 - окончательная концентрация по прошествии долгого времени). Постройте график, подумайте, какой функцией целесообразно приближать эту зависимость.

Контрольные вопросы:

1. Почему при регистрации I_0 диск не стоит вытаскивать из жидкости, удерживая его на минимально возможной глубине?
2. Зачем стакан рекомендуется обёртывать тёмной бумагой? В каких случаях можно этого не делать?
3. Почему нужно строить график от удвоенной глубины?
4. Можно ли проверить закон поглощения с помощью разбавленного молока?
5. Как поглощение связано с преломлением?