



# ДАВЛЕНИЕ СВЕТА

Авторы: С. Г. Пржибельский

---

**ДАВЛЕНИЕ СВЕТА**, давление, оказываемое светом на отражающие и поглощающие тела, частицы, а также отд. молекулы и атомы; одно из пондеромоторных действий света, связанное с передачей импульса электромагнитного поля веществу. Гипотеза о существовании Д. с. была впервые высказана И. [Кеплером](#) в 17 в. для объяснения отклонения хвостов комет от Солнца. Теория Д. с. в рамках классич. электродинамики дана Дж. К. [Максвеллом](#) в 1873. В ней Д. с. объясняется рассеянием и поглощением электромагнитной волны частицами вещества. В рамках квантовой теории Д. с. – результат передачи импульса фотонами телу.

При нормальном падении света на поверхность твёрдого тела Д. с.

$p$  определяется формулой:

$$p = S(1 + R)/c, \text{ где}$$

$S$  – плотность потока энергии (интенсивность света),

$R$  – коэф. отражения света от поверхности,

$c$  – скорость света. В обычных условиях Д. с. малозаметно. Даже в мощном лазерном луче (1 Вт/см<sup>2</sup>) Д. с. порядка 10<sup>-4</sup> г/см<sup>2</sup>. Широкий по сечению лазерный луч можно сфокусировать, и тогда сила Д. с. в фокусе луча может удерживать на весу миллиграммовую частичку.

Экспериментально Д. с. на твёрдые тела было впервые исследовано П. Н.

[Лебедевым](#) в 1899. Осн. трудности в эксперим. обнаружении Д. с. заключались в выделении его на фоне радиометрич. и конвективных сил, величина которых зависит от давления окружающего тело газа и при недостаточном вакууме может превышать Д. с. на неск. порядков. В опытах Лебедева в вакуумированном (давление порядка 10<sup>-4</sup> мм рт. ст.) стеклянном сосуде на тонкой серебряной нити подвешивались коромысла [крутильных весов](#) с закреплёнными на них тонкими дисками-крылышками, которые

облучались. Крылышки изготавливались из разл. металлов и слюды с идентичными противоположными поверхностями. Последовательно облучая переднюю и заднюю поверхности крылышек разл. толщины, Лебедев сумел нивелировать остаточное действие радиометрич. сил и получить удовлетворительное (с ошибкой  $\pm 20\%$ ) согласие с теорией Максвелла. В 1907–10 Лебедев исследовал Д. с. на газы.

Д. с. играет большую роль в астрономич. и атомных явлениях. Д. с. в звёздах наряду с давлением газа обеспечивает их стабильность, противодействуя силам гравитации. Действием Д. с. объясняются некоторые формы кометных хвостов. При испускании фотона атомами происходит т. н. [световая отдача](#) и атомы получают импульс фотона. В конденсиров. средах Д. с. может вызывать ток носителей заряда (см. [Увлечение электронов фотонами](#)). Давление солнечного излучения пытаются использовать для создания разновидности космич. движителя – т. н. [солнечного паруса](#).

Специфич. особенности Д. с. обнаруживаются в разреженных атомных системах при резонансном рассеянии интенсивного света, когда частота лазерного излучения равна частоте атомного перехода. Поглотив фотон, атом получает импульс в направлении лазерного пучка и переходит в возбуждённое состояние. Далее, спонтанно испуская фотон, атом приобретает импульс (световая отдача) в произвольном направлении. При последующих поглощениях и спонтанных испусканиях фотонов атом получает постоянно импульсы, направленные вдоль светового луча, что и создаёт давление света.

Сила

$F$  резонансного Д. с. на атом определяется как импульс, переданный потоком фотонов с плотностью

$N$  в единицу времени:

$$F = N\hbar k\sigma, \text{ где}$$

$\hbar k = 2\pi\hbar/\lambda$  – импульс одного фотона,

$\sigma \approx \lambda^2$  – сечение поглощения резонансного фотона,

$\lambda$  – длина волны света,

$k$  – волновое число,

$\hbar$  – постоянная Планка. При относительно малых плотностях излучения резонансное

Д. с. прямо пропорционально интенсивности света. При больших плотностях потока фотонов

$N$  происходит насыщение поглощения и насыщение резонансного Д. с. (см. [Насыщения эффект](#)). В этом случае Д. с. создают фотоны, спонтанно испускаемые атомами со ср. частотой

$\gamma$  (обратной времени жизни возбуждённого атома) в случайном направлении. Сила светового давления перестаёт зависеть от интенсивности, а определяется скоростью спонтанных актов испускания:

$F \approx \hbar k \gamma$ . Для типичных значений

$\gamma \approx 10^8 \text{ с}^{-1}$  и

$\lambda \approx 0,6 \text{ мкм}$  сила Д. с.

$F \approx 5 \cdot 10^{-3} \text{ эВ/см}$ ; при насыщении резонансное Д. с. может создавать ускорение атомов до  $10^5$

$g$  (

$g$  – ускорение свободного падения). Столь большие силы позволяют селективно управлять атомными пучками, варьируя частоту света и по-разному воздействуя на атомы с малоразличающимися частотами резонансного поглощения. В частности, удаётся сжимать максвелловское распределение по скоростям, убирая из пучка высокоскоростные атомы. Свет лазера направляют навстречу атомному пучку, подбирая при этом частоту и форму спектра излучения так, чтобы Д. с. тормозило быстрые атомы с большим смещением резонансной частоты (см. [Доплера эффект](#)).

Резонансное Д. с. можно использовать для разделения газов: при облучении двухкамерного сосуда, наполненного смесью двух газов, атомы одного из которых находятся в резонансе с излучением, резонансные атомы под действием Д. с. перейдут в дальнюю камеру.

Некоторые особенности имеет резонансное Д. с. на атомы, помещённые в поле интенсивной стоячей волны. С квантовой точки зрения стоячая волна, образованная встречными потоками фотонов, вызывает толчки атома, обусловленные поглощением фотонов и их стимулированным испусканием. Ср. сила, действующая на атом, при этом не равна нулю вследствие неоднородности поля на длине волны. С классич. точки зрения сила Д. с. обусловлена действием пространственно неоднородного поля

на наведённый им атомный диполь. Эта сила минимальна в узлах, где дипольный момент не наводится, и в пучностях, где градиент поля обращается в нуль. Макс. сила Д. с. по порядку величины равна

$F \approx \pm Ekd$  (знаки относятся к синфазному и противофазному движению диполей с моментом

$d$  по отношению к полю с напряжённостью

$E$ ). Эта сила может достигать гигантских значений: для

$d \approx 1$  дебай,

$\lambda \approx 0,6$  мкм и

$E \approx 10^6$  В/см сила

$F \approx 5 \cdot 10^2$  эВ/см. Поле стоячей волны расслаивает пучок атомов, проходящий сквозь луч света, т. к. диполи, колеблющиеся в противофазе, двигаются по разл.

траекториям, подобно атомам в [Штерна – Герлаха опыте](#). На атомы,двигающиеся вдоль лазерного луча, действует радиальная сила Д. с., обусловленная радиальной неоднородностью плотности светового поля. Как в стоячей, так и в бегущей волне происходит не только детерминированное движение атомов, но и их диффузия в фазовом пространстве, т. к. поглощение и испускание фотонов – квантовые случайные процессы. Резонансное Д. с. могут испытывать и квазичастицы в твёрдых телах: электроны, экситоны и др.

## Литература

Лит.: Лебедев П. Н. Собр. соч. М., 1963; Эшкин А. Давление лазерного излучения // Успехи физических наук. 1973. Т. 110. Вып. 1; Казанцев А. П. Резонансное световое давление // Там же. 1978. Т. 124. Вып. 1; Летохов В. С., Миногин В. Г. Давление лазерного излучения на атомы. М., 1986.