

удовлетворительно описывается соответствующими кинетич. ур-ниями.

При высоких плотностях энергии возбуждения (напр., лазерным излучением) может возникнуть нелинейное тушение, при к-ром выход свечения падает с ростом интенсивности возбуждения. Известны разл. механизмы такого тушения, обусловленные последоват. поглощением двух (или более) квантов возбуждающего излучения в одном и том же центре свечения или взаимодействием неск. возбуждённых центров. Образующееся при этом высокоэнергетич. состояние центров свечения может релаксировать безызлучат. путём, в т. ч. в результате фотоллиза возбуждённой молекулы. Другой механизм нелинейного тушения — тушащее действие возбуждающего света на возбуждённые кристаллофосфоры с рекомбинац. механизмом свечения. В этом случае электрон из валентной зоны обычно переходит на осн. уровень ионизированного центра. В нек-рых кристаллофосфорах существенны нелинейные потери на т. н. тройную безызлучат. рекомбинацию, когда энергия, выделяющаяся при рекомбинации пары носителей заряда противоположного знака, передаётся третьему носителю заряда, расположенному вблизи этой пары; приобретённая им энергия обычно расходуется на возбуждение тепловых колебаний решётки.

Повышение концентрации центров тушения, а в ряде случаев и концентрации центров свечения обычно усиливает Т. л., причём наличие нек-рых элементов (напр., ионов группы железа или ОН) уже в очень малых концентрациях (до $10^{-5} - 10^{-6}$) заметно уменьшает выход свечения. Такое концентрационное Т. л. объясняется эфф. взаимодействием центров свечения и тушения, в т. ч. миграцией энергии через цепочку центров свечения на центр свечения, вблизи к-рого расположен центр тушения, а также образованием ассоциативных центров с малым выходом свечения.

Количественное описание Т. л. в общем случае требует многочисл. данных о микроструктуре вещества, кинетике и вероятностях разл. конкурирующих процессов. Вместе с тем детальное изучение механизмов Т. л. необходимо для создания высокоэфф. люминофоров разл. назначения, использующихся, напр., в лазерах. В нек-рых растворах красителей, лазерных кристаллах, полупроводниковых кристаллофосфорах потери энергии для оптимальных условий резонансного возбуждения составляют всего неск. процентов.

При пост. квантовом выходе потери энергии увеличиваются с уменьшением длины волны возбуждающего света, так что энергетич. выход свечения кристаллофосфоров при возбуждении УФ-излучением обычно не превышает $0,5 - 0,7$. При возбуждении рентг. излучением или пучками заряж. частиц он составляет не более $0,2 - 0,3$, а для др. видов возбуждения обычно не превышает неск. процентов. В существующих эфф. светодиодах, излучающих в ближней ИК-области, кпд электrolюминесцентного устройства достигает 30% и более.

Согласно неравновесной термодинамике, возможно получение энергетич. выхода люминесценции выше единицы, что должно сопровождаться охлаждением люминесцирующего вещества. Однако несмотря на то, что получены нек-рые положит. результаты, такие режимы свечения пока не осуществлены.

При практич. применениях люминесценции процессы тушения обычно играют отрицат. роль, т. к. они ограничивают предельную яркость и стабильность разл. люминесцентных устройств. Вместе с тем их используют и для практич. целей, напр. для люминесцентного анализа, контроля темп-ры разл. объектов, визуализации полей ИК- и СВЧ-излучения и т. д.

Лит.: Антонов-Романовский В. В., Кинетика фотолюминесценции кристаллофосфоров, М., 1966; Агранович В. М., Галанин М. Д., Перенос энергии электронного возбуждения в конденсированных средах, М., 1978. Ю. П. Тимофеев.

ТЯГОТЕНИЕ (гравитация) — универсальное взаимодействие между любыми видами материи. Если это взаимодействие относительно слабое и тела движутся с нерелятивистскими скоростями, то Т. описывается теорией Ньюто-

на. В случае сильных быстропеременных полей и быстрых движений тел Т. описывается общей теорией относительности, созданной А. Эйнштейном. Т. является самым слабым из 4 типов фундам. взаимодействий и в квантовой физике описывается квантовой теорией гравитации, к-рая ещё далека от завершения.

Теория тяготения Ньютона в нерелятивистской классической физике

Закон тяготения Ньютона гласит, что две материальные точки с массами m_A и m_B , находящиеся на расстоянии r друг от друга, притягиваются по направлению друг к другу каждая с силой

$$F = G m_A m_B \frac{r}{r^3}. \quad (1)$$

Коэф. пропорциональности G наз. постоянной тяготения Ньютона или гравитационной постоянной. По совр. данным, $G = 6,6745(8) \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{кг} \cdot \text{с}^2$. Согласно закону Ньютона, сила Т. зависит только от положения частиц в данный момент времени, и поэтому гравитац. взаимодействие распространяется мгновенно.

В ньютоновской теории справедлив принцип суперпозиции; сила Т., действующая на нек-рую точку A со стороны многих материальных точек, является векторной суммой сил от каждой из них.

При произвольном распределении масс сила Т., действующая в данной точке на любую точечную массу m_A , может быть выражена как произведение m_A на вектор g , к-рый наз. напряжённостью поля Т. в данной точке.

Поле Т. — потенц. поле. Это означает, что его напряжённость может быть выражена как градиент скалярной ф-ции φ , наз. гравитац. потенциалом:

$$g = -\text{grad } \varphi. \quad (2)$$

Потенциал поля Т. частицы с массой m может быть записан в виде $\varphi = -Gm/r$. В силу принципа суперпозиции потенциалы полей от разных частиц складываются. Потенциал непрерывного распределения плотности вещества $\rho = \rho(r)$ определяется как решение Пуассона уравнения:

$$\Delta \varphi = 4\pi G \rho, \quad (3)$$

где Δ — Лапласа оператор.

Для изолир. тела или системы тел потенциал определяется, вообще говоря, неоднозначно. Так, напр., к потенциалу можно прибавить произвольную константу.

Ньютонова теория Т. и ньютонова механика явились величайшим достижением естествознания. Они позволяют описать с большой точностью обширный круг явлений, в т. ч. движение естеств. и искусств. тел в Солнечной системе, движения в др. системах небесных тел: в двойных звёздах, в звёздных скоплениях, в галактиках. На основе теории тяготения Ньютона было предсказано существование планеты Нептун и спутника Сириуса и сделаны многие др. предсказания, впоследствии блестяще подтвердившиеся. В совр. астрономии закон тяготения Ньютона является фундаментом, на основе к-рого вычисляются движения и строение небесных тел, их массы, эволюция. Точное определение гравитац. поля Земли позволяет установить распределение масс под её поверхностью (гравиметрич. разведка) и, следовательно, непосредственно решать важные прикладные задачи. Однако в нек-рых случаях, когда поля Т. становятся достаточно сильными, а скорости движения тел в этих полях не малы по сравнению со скоростью света, Т. уже не может быть описано законом Ньютона.

Ограничения применимости теории Ньютона

Теория Ньютона предполагает мгновенное распространение Т. и уже поэтому не может быть согласована со спец. теорией относительности (см. Относительности теория), утверждающей, что никакое взаимодействие не может распространяться со скоростью, превышающей скорость света в вакууме. Нетрудно найти условия, ограничивающие применимость ньютоновой теории Т. Так как эта теория не согласуется со спец. теорией относительности, то её нельзя