

ПЕРЕНОСА ЯВЛЕНИЯ — неравновесные процессы, в результате к-рых в физ. системе происходит пространственный перенос электрич. заряда, вещества, импульса, энергии, энтропии или к.-л. др. физ. величины. Общую феноменологич. теорию П. я., применимую к любой системе (газообразной, жидкой или твёрдой), даёт *термодинамика неравновесных процессов*. Более детально П. я. изучает *кинетика физическая*. П. я. в газах рассматриваются на основе *кинетической теории газов* с помощью *кинетического уравнения Больцмана* для ф-ции распределения молекул; П. я. в металлах — на основе кинетич. ур-ния для электронов в металле; перенос энергии в непроводящих кристаллах — с помощью кинетич. ур-ния для фононов кристаллич. решётки. Общая теория П. я. развивается в *неравновесной статистич. механике* на основе *Лиувилля уравнения* для ф-ции распределения всех частиц, из к-рых состоит система (см. *Грина — Кубо формулы*).

Причина П. я. — возмущения, нарушающие состояние термодинамич. равновесия: действие внеш. электрич. поля, наличие пространств. неоднородностей состава, темп-ры или ср. скорости движения частиц системы. Перенос физ. величины происходит в направлении, обратном её градиенту, в результате чего изолированная от внеш. воздействий система приближается к состоянию термодинамич. равновесия. Если внеш. воздействия поддерживаются постоянными, П. я. протекают стационарно.

П. я. характеризуются необратимыми потоками J_i физ. величины, напр. диффузионным потоком вещества, тепловым потоком или тензором потока импульса, связанного с градиентами скоростей. При малых отклонениях системы от термодинамич. равновесия потоки линейно зависят от термодинамич. сил X_k , вызывающих отклонение от термодинамич. равновесия, и описываются феноменологич. ур-ниями

$$J_i = \sum_k L_{ik} X_k,$$

где L_{ik} — феноменологич. коэф. переноса (в термодинамике неравновесных процессов) или *кинетические коэффициенты* (в физ. кинетике), вычисляемые с помощью решения кинетич. ур-ний. Термодинамич. силы X_k вызывают необратимые потоки; напр., градиент темп-ры вызывает поток теплоты (*теплопроводность*), градиент концентрации вещества — поток компонента смеси (*диффузия*), градиент массовой скорости — поток импульса (вязкое течение; см. *Вязкость*).

Перенос вещества, вызванный градиентом темп-ры, — *термодиффузия* и обратный ей процесс переноса тепла вследствие градиента концентрации (*Дюфура эффект*) называют перекрёстными процессами. Для перекрёстных процессов в отсутствии магн. поля имеет место соотношение симметрии $L_{ik} = L_{ki}$ (*Онсагера теорема*), являющееся следствием микроскопич. обратимости ур-ний, описывающих движение частиц. Если магн. поле отлично от нуля, то при замене $i \rightarrow k$ нужно изменить направление магн. поля на противоположное.

П. я. обычно сопровождаются производством энтропии $\sigma(t)$ в единицу времени:

$$\sigma(t) = \sum_i X_i J_i = \sum_{ik} X_i L_{ik} X_k.$$

Это выражение является формулировкой *второго начала термодинамики* для П. я. В случае стационарных П. я. вся образующаяся энтропия отводится из системы.

Плотности потоков, кроме диссипативных частей, пропорциональных термодинамич. силам и связанным с производством энтропии, могут содержать недиссипативные части, к-рые соответствуют конвекц. переносу физ. величин с гидродинамич. скоростью $v(x,t)$. Локальная плотность энтропии $S(x,t)$ тоже переносится с гидродинамич. скоростью, так что производство энтропии происходит в элементе жидкости, движущейся

с гидродинамич. скоростью. Поэтому $S(x,t)$ удовлетворяет ур-нию баланса:

$$\frac{\partial S(x,t)}{\partial t} - \text{div} v(x,t) S(x,t) = \sigma(x,t),$$

где $\sigma(x,t)$ — плотность производства энтропии, связанная с производством энтропии: $\sigma(t) = \int \sigma(x,t) dx$.

П. я. происходят не только в гомогенных системах, внутри к-рых отсутствуют поверхности раздела, но и в гетерогенных системах, состоящих из гомогенных подсистем, отделённых друг от друга или естеств. поверхностями раздела (таких, как жидкость и её пар), или полупроницаемыми мембранами. При возникновении в гетерогенной системе разности электрич. потенциалов, перепада давлений компонент, темп-р и т. д. между подсистемами возникают необратимые потоки заряда, компонент вещества, теплоты и т. п. Эти потоки связаны с термодинамич. силами линейными соотношениями, и П. я. в гетерогенных системах также сопровождаются производством энтропии. К подобным П. я. относятся электрокинетические явления — перенос заряда и вещества вследствие перепада электрич. потенциала и давления (в частности, фильтрация), *термомеханические эффекты* — перенос теплоты и массы в результате перепада темп-ры и давления в *гелии жидком*.

К П. я. относятся также перенос энергии электронного возбуждения от возбуждённых атомов к невозбуждённым в веществе и перенос излучения в среде при наличии процессов испускания, поглощения и рассеяния. Рассеяние и размножение нейтронов является примером П. я., к-рый изучается на основе кинетич. ур-ния для нейтронов с учётом ядерных взаимодействий со средой. Интенсивно развивается теория П. я. на основе неравновесной статистической механики.

Лит. см. при ст. *Термодинамика неравновесных процессов, Кинетика физическая*. Д. Н. Зубарев.

ПЕРЕНОСНОЕ ДВИЖЕНИЕ в механике — движение подвижной системы отсчёта по отношению к системе отсчёта, принятой за основную (условно считается неподвижной). См. *Относительное движение*.

ПЕРЕОХЛАЖДЕНИЕ — охлаждение вещества ниже темп-ры равновесного перехода в др. агрегатное состояние (фазу); частный случай перевода системы в *метастабильное состояние*. В последовательности фазовых переходов от высокотемпературных к низкотемпературным фазам (пар \rightarrow жидкость \rightarrow кристалл I \rightarrow кристалл II) возможно П. каждой фазы по отношению к следующей. П. необходимо, чтобы фазовый переход 1-го рода происходил с конечной скоростью. Большое П. однородной системы может быть обусловлено отсутствием зародышей конкурирующей фазы или очень медленным их ростом вследствие малой подвижности молекул.

Для металлич. капель наблюдались следующие П. $\Delta T = T_0 - T$, где T_0 — равновесная темп-ра кристаллизации: 52K(Hg), 122K(Sn), 296K(Ge), 277K(Cu). Устойчивость переохлаждённой фазы характеризуется частотой зародышеобразования J (число зародышей, возникающих за 1 с в 1 см³ вещества). На рис. точками показана полученная в опытах температурная зависимость стационарной частоты зародышеобразования в переохлаждённой воде при атм. давлении; сплошная линия — расчёт по теории гомогенного зародышеобразования. Частоте $J = 1 \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-3}$ соответствует П. $\Delta T = 32 \text{ K}$, $T_0 = 273,15 \text{ K}$. С увеличением П. J возрастает, достигает максимума, а

