

где  $q_i$  — обобщённые координаты,  $Q_i$  — обобщённые силы. Для сил, действующих на тело, имеющее неподвижную ось вращения  $z$ ,  $dA = M_z d\varphi$ , где  $M_z$  — сумма моментов сил относительно оси вращения,  $\varphi$  — угол поворота тела. Для сил давления  $dA = p dV$ , где  $p$  — давление,  $V$  — объём.

Р. силы на конечном перемещении определяется как предел интегральной суммы соответствующих элементарных работ и при перемещении  $M_0, M_1$  выражается криволинейным интегралом

$$A = \int_{M_0, M_1} (F_x \cos \alpha) ds \text{ или } A = \int_{M_0, M_1} (F_x dx + F_y dy + F_z dz).$$

Для потенциальных сил  $dA = dU$  или  $dA = -d\Pi$ , где  $U$  — силовая ф-ция,  $\Pi$  — потенциальная энергия системы,  $A = U_1 - U_0$  или  $A = \Pi_0 - \Pi_1$ , где  $U_0, U_1, \Pi_0, \Pi_1$  — значения соответствующих величин в начальном и конечном положениях системы; в этом случае Р. не зависит от вида траекторий точек приложения сил. При движении механич. системы сумма работ всех действующих сил на нек-ром перемещении этой системы равна изменению её кинетической энергии  $T$  на этом же перемещении, т. е.

$$\sum A_i = T_1 - T_0.$$

Понятие Р. широко используется в механике и в др. областях физики, а также в технике.

С. М. Тарг.

**РАБОТА ВЫХОДА** — энергия, к-рая затрачивается твёрдым или жидким телом при тепловом возбуждении электрона этого тела в вакуум (в состоянии с равной нулю кинетич. энергией). Р. в. равна разности двух энергий: 1) энергии покоящегося электрона, находящегося в такой точке вне тела, к-рая, с одной стороны, удалена от поверхности тела на расстояние, во много раз превышающее межатомные расстояния, а с др. стороны, гораздо ближе к рассматриваемой поверхности тела, чем к др. телам и к краю этой поверхности (в частности, эта точка должна быть далека от края рассматриваемой кристаллич. грани); 2) эл.-хим. потенциала электронов в рассматриваемом теле, к-рый в состоянии термодинамич. равновесия одинаков во всех точках тела. Если эл.-статич. потенциал в вакууме в указанной точке равен  $\Phi_{\text{вак}}$ , в объёме тела —  $\Phi_{\text{об}}$ ,  $\mathcal{E}_F$  — ферми-энергия электронов (уровень их хим. потенциала),  $\mathcal{E}_F - e\Phi_{\text{об}}$  — эл.-хим. потенциал электронов в рассматриваемом теле, то Р. в. равна

$$\Phi = -e\Phi_{\text{вак}} - (\mathcal{E}_F - e\Phi_{\text{об}}). \quad (1)$$

Осн. часть Р. в. представляет собой энергию связи электрона в твёрдом теле с атомными ядрами и др. электронами и аналогична энергии ионизации атомов и молекул. Однако есть ещё вклад в Р. в., связанный с наличием в приповерхностной области любого тела двойного электрич. слоя. Он возникает даже на идеально правильной и чистой поверхности кристалла в результате того, что «центр тяжести» плотности электронов в приповерхностной кристаллич. ячейке не совпадает с плоскостью, в к-рой расположены ионы. При этом разность  $\Phi_{\text{вак}} - \Phi_{\text{об}} = 4\pi P_s$ , где  $P_s$  — дипольный момент двойного слоя, приходящийся на единицу площади поверхности ( $P_s > 0$ , если дипольный момент направлен наружу). Толщина двойного слоя в металлах и аналогичного двойного слоя в полупроводниках порядка межатомных расстояний. В полупроводниках вблизи поверхности помимо этого возникает ещё двойной слой в виде области пространственного заряда, толщина к-рой может достигать тысяч межатомных расстояний.

Р. в. — характеристика поверхности тела. Грани одного и того же кристалла, образованные разными кристаллографич. плоскостями или покрытые разными

веществами, имеют разные величины  $P_s$  и потому разные Р. в. Потенциалы  $\Phi_{\text{вак}}$  этих поверхностей разные (каждый из этих потенциалов определяется в точке, близкой к соответствующей поверхности), поэтому между поверхностями возникают контактная разность потенциалов и соответствующее эл.-статич. поле.

Р. в. может быть сильно изменена адсорбцией разл. атомов или молекул на поверхности (адсорбиров. частицы изменяют величину  $P_s$ ) даже в том случае, когда объёмные свойства тела неизменны. Атомы металлов с малой энергией ионизации, напр. Cs, снижают Р. в. — в нек-рых полупроводниках до величины  $\sim 1$  эВ (см., напр., табл.).

Если на поверхности полупроводника нет поверхностных состояний [напр., поверхности (110) GaAs и InP], то при изменении уровня Ферми  $\mathcal{E}_F$  в объёме (при легировании полупроводника или изменении темп-ры) изменяется и Р. в. — в соответствии с ф-лой (1). Однако при большой плотности поверхностных состояний (как, напр., у Ge, Si) изменение  $\mathcal{E}_F$  вызывает такое изменение  $\Phi_{\text{вак}} - \Phi_{\text{об}}$ , к-рое компенсирует изменение  $\mathcal{E}_F$ , так что Р. в. оказывается нечувствительной к изменениям  $\mathcal{E}_F$  в объёме полупроводника.

Р. в. определяет величину и температурную зависимость тока термоэлектронной эмиссии. В зависимости от того, в каких условиях происходит эмиссия электронов — адиабатических или изотермических, с Р. в. совпадает изменение внутр. энергии или соответственно свободной энергии тела, связанное с испусканием одного электрона.

Мин. энергия, требуемая для эмиссии электрона при фотоэлектрич. эффекте, при вторичной электронной эмиссии, когда эмиссия происходит не в результате спонтанного теплового возбуждения за счёт внутр. энергии тела, а под действием внеш. источника (света, быстрого электрона), в общем случае отличается от Р. в., к-рую поэтому для определённости называют термоэлектронной Р. в. В металлах и сильно легированных (вырожденных) полупроводниках, в к-рых верх. уровень заполненных электронами состояний совпадает с  $\mathcal{E}_F$ , фотоэлектрич. Р. в. совпадает с термоэлектронной Р. в. Но в сравнительно чистых полупроводниках верхний заполненный уровень совпадает с краем валентной зоны, к-рый во мн. случаях ниже  $\mathcal{E}_F$ , вследствие чего фотоэлектрич. Р. в. больше термоэлектронной Р. в.

Р. в. измеряют по температурной зависимости и по величине термоэмиссионного тока; в металлах и вырожденных полупроводниках — по красной границе внеш. фотоэффекта. Контактная разность потенциалов  $U_K$  двух тел равна разности их Р. в.; измеряя  $U_K$  между исследуемой поверхностью и эталонной, Р. в. к-рой известна, находят Р. в. первой.

Работа выхода (в эВ) некоторых поликристаллических металлов, полупроводников и отдельных граней монокристалла вольфрама

Li	2,38	Fe	4,31	Cu	4,40	Ge	4,76	Ni(Cs)	
K	2,22	Cr	4,58	Ag	4,3	Si	4,8	W (110)	1,37
Cs	1,81	Co	4,41	Au	4,30	Ag <sub>2</sub> O(Cs)	0,75	W (111)	5,3
Ni	4,50	Mn	3,83	W	4,54	Ta(Cs)	1,1	W (100)	4,4
									4,6

Примечание. (Cs) обозначает покрытие цезием.

Лит.: Фоменко В. С., Эмиссионные свойства материалов, Справочник, 4 изд., К., 1981; Добрецов Л. Н., Гомоюнова М. В., Эмиссионная электроника, М., 1966; Ривьер Х., Работа выхода. Измерения и результаты, в сб.: Поверхностные свойства твердых тел, под ред. М. Грина, пер. с англ., М., 1972.

Ш. М. Коган.

**РАВНОВЕСИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ** — состояние, при к-ром все точки механич. системы находятся в покое по отношению к рассматриваемой системе отсчёта. Если система отсчёта является инерциальной,