

полняется вплоть до полей, разрушающих сверхпроводимость. В сверхпроводниках 2-го рода (Nb_3Sn , $NbTi$ и др.) в широком диапазоне H поле, не разрушая сверхпроводимости, проникает в объём в виде вихрей, что эффективно ослабляет диамагнетизм.

Эмиссия электронов. При нагревании M . до высоких темп-р наблюдается «испарение» электронов с поверхности M . (см. *Термоэлектронная эмиссия*). Число электронов, вылетающих из M . в единицу времени, пропорц. $\exp(-W/kT)$, где W — работа выхода электрона из M . Величина W (2—5 эВ) у разл. M . (и даже на разных кристаллич. гранях одного M .) различна; W зависит от состояния поверхности. Приложив к M . сильное электр. поле ($\sim 10^7$ В/см), можно существенно увеличить эмиссию электронов за счёт того, что электроны покидают M . в результате туннельного прохождения (см. *Автоэлектронная эмиссия*). Различия в W обуславливают контактную разность потенциалов между разными M .

Гальваномагнитные и термомагнитные явления. Магн. поле H , искривляя траекторию электронов в плоскости, перпендикулярной H , влияет на все кинетич. коэф. (эл.- и теплопроводностей, термоэлектрические и др.) и приводит к ряду новых явлений: к *Холла эффекту*, *магнетосопротивлению* и др. Различают классич. и квантовые (осцилляционные) гальваномагнитные явления. При рассмотрении последних надо учитывать квантование движения электронов проводимости в плоскости, перпендикулярной H . Для оценки классич. эффектов надо сравнивать ср. радиус орбиты электрона в магн. поле $r_H = (c\tau_F/eH)$ с длиной пробега l , а для оценки квантовых — расстояние между уровнями энергии ($\Delta\mathcal{E} = \hbar\omega_c = e\hbar H/mc$) с kT (ω_c — циклотронная частота, m — эфф. масса в магн. поле; табл. 4). На зависимость кинетич. коэф. от H влияют особенности электронного энергетич. спектра M ., в частности то, какой формой (топологией) обладает поверхность Ферми (см. *Гальваномагнитные явления*, *Термогальваномагнитные явления*). Даже не слишком большое магн. поле при низких темп-рах (~ 1 К) может изменить кинетич. свойства M ., напр. в десятки тысяч раз увеличить поперечное (относительно H) сопротивление (V_i) или практически полностью «выключить» поперечную электронную теплопроводность M . (таким путём «выделяют» решёточную — фононную часть теплопроводности M .)

M . в переменном электромагнитном поле. При прохождении переменного тока частоты ω в M . наблюдается неоднородное распределение тока по образцу: ток сосредоточен вблизи поверхности образца на расстоянии порядка $\delta = c/\sqrt{2\pi\sigma\omega}$ (см. *Скин-эффект*). Для Cu глубина скин-слоя $\delta \approx 6 \cdot 10^{-4}$ см при $\omega = 6 \cdot 10^8$ с $^{-1}$ ($\sigma \approx 6 \cdot 10^9$ Ом $^{-1}$.см $^{-1}$) (см. *Высокочастотная проводимость*).

При падении эл.-магн. волны на поверхность M . скин-эффект проявляется как в том, что эл.-магн. поле затухает на глубине δ , так и в том, что оно почти полностью отражается от поверхности M .: коэф. отражения $R \approx 1 - \sqrt{\omega/2\sigma} \approx 1$ (для Cu $\sqrt{\omega/2\sigma} \approx 2 \cdot 10^{-5}$).

Приведённые оценки справедливы в случае нормального скин-эффекта, когда $\omega\tau \ll 1$ и $l \ll \delta$. При $T = 300$ К эти условия выполняются вплоть до оптич. частот ($\tau \sim 10^{-13} - 10^{-14}$ с, а $\delta \sim 10^{-8}$ см при $\omega \sim 10^{14}$ с $^{-1}$). При низких темп-рах и для чистых образцов M . условие $l \ll \delta$ часто не выполняется (даже если $\omega\tau \ll 1$). При этом имеет место аномальный скин-эффект, при к-ром δ и R не зависят от l , и тем самым от T .

При низкой темп-ре M ., помещённый в достаточно сильное магн. поле ($r_H \ll l$), обладает мн. свойствами, характерными для плазмы: в нём могут распространяться разнообразнейшие слаботухающие волны (геликоны, магнитоплазменные волны, доплероны и др.). Коэф. R «ощущает» циклотронный резонанс (при равенстве частоты поля ω целому кратному циклотронной частоте $\omega_c = eH/mc$) (см. *Плазма твёрдых тел*). В нек-рых M .

(напр., в щелочных) удаётся наблюдать электронный парамагнитный резонанс на электронах проводимости и спиновые волны.

Оптические свойства. Для эл.-магн. волн оптич. диапазона M ., как правило, непрозрачны. Характерный блеск — следствие практически полного отражения света поверхностью M ., обусловленного тем, что диэлектрическая проницаемость электронного газа ϵ при оптич. частотах отрицательна. Диэлектрич. проницаемость M . $\epsilon = \epsilon_0 - \omega_p^2/\omega^2$, где ϵ_0 — диэлектрич. проницаемость ионного остова, ω_p — плазменная (ленгмювская) частота электронов. Плазменные частоты могут быть экспериментально определены по характеристич. потерям энергии быстрых электронов (с энергией $\gg \hbar\omega_p$) при прохождении через металлич. плёнку. Они теряют энергию на возбуждение плазмонов — квантов колебаний электронной жидкости с частотой ω_p (табл. 8).

Табл. 8. — Энергия плазмона $\hbar\omega_p$ для некоторых металлов

Металл	Li	Na	K	Mg	Al
$\hbar\omega_p$, эВ . . .	7,12	5,71—5,85	3,72—3,87	10,6	15,3

Наличием электронов проводимости обусловлено также экранирование в M . зарядов (напр., заряженных примесей) на характерном расстоянии $r_s = v_F/\omega_p$ (Дебая — Хюккеля радиус), имеющем атомный масштаб. При взаимодействии света с электроном M . важную роль играет т. н. внутр. фотоэффект, т. е. вынужденные (за счёт поглощения фотонов) переходы электронов из зоны в зону. Как правило, именно внутр. фотоэффект определяет коэф. поглощения излучения видимого и УФ-диапазонов и изменение проводимости M . под воздействием света (см. *Фотопроводимость*). Чем выше ω , тем меньшую роль во взаимодействии света с M . играют электроны проводимости: для УФ- и рентг. диапазонов M . мало отличается от диэлектрика. Отражение плоскополяризов. света от поверхности M . сопровождается поворотом плоскости поляризации и появлением эллиптич. поляризации. Это явление используется для техн. целей и для определения оптич. констант M . (см. *Металлооптика*, *Отражение света*, *Поляризация света*).

Лит.: Кракнелл А., Квей Чонг Уонг, Поверхность Ферми, пер. с англ., М., 1978; Абрикосов А. А., Основы теории металлов, М., 1987.

Механические свойства. Многие M . и сплавы обладают одновременно высокой механич. прочностью и высокой пластичностью, что обуславливает их широкое применение в качестве конструкт. материалов. Изменение линейных размеров M . в результате пластич. деформации при $T = 300$ К достигает десятков, а иногда сотен % (сверхпластичность).

Механич. свойства исследуют, измеряя зависимость механич. напряжение — деформация (рис. 8). Изменение формы образца в процессе деформации показано для трёх характерных участков диаграммы. Участок OA соответствует прямой пропорциональности между нагрузкой и удлинением и обратимости деформации (упругая область; см. *Гука закон*). На нелинейном участке AB нагрузка продолжает увеличиваться с меньшей скоростью, деформация необратима, но распределена равномерно по длине образца. На участке BC нагрузка уменьшается вследствие локального уменьшения поперечного сечения образца в его центр. части. Образование «шейки» ха-

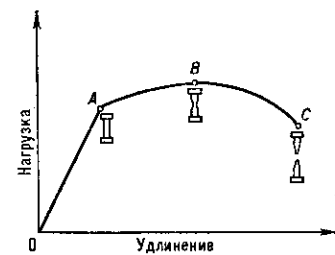


Рис. 8. Деформация при растяжении металлического цилиндра.