

между *электронной и ионной оптикой* и оптикой световых лучей. Среди многочисл. типов Э.п. наиболее близкими аналогами светооптик. призм являются те Э.п., к-рые оставляют падающий на них параллельный пучок заряж. частиц параллельным и после отклонения. Простейшая электростатич. Э.п. такого типа — телескопич. система из двух цилиндрич. иммерсионных *электронных линз* (рис. 1).

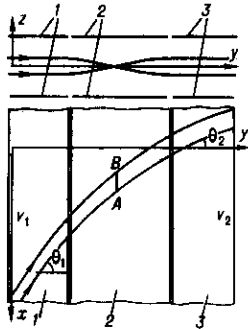


Рис. 1. Телескопическая система, состоящая из двух цилиндрических иммерсионных электростатических линз: 1, 2 — электроды, составляющие первую по ходу пучка цилиндрическую линзу, 2, 3 — вторую; кривые со стрелками — проекции траекторий заряженных частиц на плоскости  $yz$  и  $xz$ ;  $AB$  — линейный фокус.

Задний линейный фокус  $AB$  первой линзы совпадает с передним линейным фокусом второй. Электростатич. поле телескопич. системы «двумерно» (оно не изменяется в направлении, параллельном оси  $x$  на рис.) и симметрично относительно ср. плоскости  $xz$ , вблизи к-рой движутся частицы. Параллельный пучок падает на телескопич. систему под углом  $\theta_1$  к оси  $y$  и выходит под углом  $\theta_2$ , сохраняя свою параллельность. При этом выполняется равенство

$$\sin \theta_2 / \sin \theta_1 = \sqrt{V_1} / \sqrt{V_2},$$

где  $V_1$  — потенциал первого участка Э.п. и пространства перед ним,  $V_2$  — потенциал последнего участка призмы и пространства за ним. Потенциал  $V$  принимают равным нулю там, где равна нулю скорость частиц. При этом условии электронно-оптик. показатель преломления  $n_s = \sqrt{V}$ . Т.о., отклонение пучка заряж. частиц в телескопич. системе подчиняется закону, совершенно аналогичному *Снелля закону* преломления в световой оптике. Для увеличения дисперсии применяют сложную Э.п., состоящую из двух телескопич. систем, расположенных под углом друг к другу. Такие Э.п. служат диспергирующими элементами в электронных спектрометрах.

В магн. Э.п. с «двумерным» полем роль цилиндрич. линз играют поля рассеяния на краях магн. полюсов. При определ. угле падения пучка на призму эти поля образуют телескопич. систему (рис. 2). Э.п. широко применяются

в *бета-спектрометрах*, *масс-спектрометрах*. В последних дисперсия ионов по массе осуществляется магн. Э.п., а электростатич. Э.п. применяют для дисперсии по энергии.

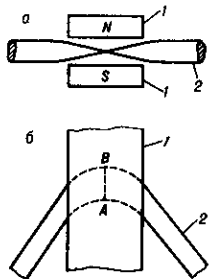


Рис. 2. Отклонение пучка заряженных частиц магнитной призмой:  $a$  — вид сверху;  $b$  — вид сверху; 1 — полюсы магнита призмы; 2 — пучок заряженных частиц;  $AB$  — линейный фокус.

Лит.: Арцимович Л. А., Лукьянов С. Ю., Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях, 2 изд., М., 1978; Применение призмных бета-спектрометров, Вильнонс, 1974; Электронно-оптические элементы призмных спектрометров заряженных частиц, А.-А., 1979. В. М. Кельман, И. В. Родникова.

**ЭЛЕКТРОННЫЕ СПЕКТРЫ** — спектры молекул, возникающие при переходах между их электронными уровнями энергии. Лежат в видимой и УФ-областях спектра. Чаще всего представляют собой совокупность систем электронно-колебат. полюс. Подробнее см. в ст. *Молекулярные спектры*.

**ЭЛЕКТРОННЫЙ ВЕТЕР** — эффект «увлечения» электрич. током в электронных проводниках (металлах или полупроводниках) собств. ионов и разл. дефектов структуры: примесных атомов или ионов, междоузлий, *вакансий*, *дислокаций* и т.п. Э.в. связан с нарушением локального механич. равновесия металла в электрич. поле и с перераспределением импульса между *электронами проводимости* и ионной решёткой (примером ещё одного эффекта такого типа является возбуждение звука в металле эл.-магн. волной).

Электрич. поле в электронном проводнике вызывает не только поток электронов, но и перемещение собств. или примесных ионов (электролиз). Существуют две причины движения ионов под действием электрич. поля: кулоновская сила, действующая на их заряды  $Z_i$ , и т.н. сила Э.в., возникающая вследствие передачи импульса ионам при рассеянии на них электронов проводимости. Неоднородным полем деформаций, окружающее дислокации, также рассеивает электроны проводимости, благодаря чему происходит увлечение дислокаций направленным потоком электронов и возникает коллективное перемещение ионного остова — движение дислокаций и соответствующая пластич. деформация (электропластический эффект).

Механизм перемещения ионов в металле под действием электрич. поля практически всегда является диффузионным: это диффузионные скачки отд. ионов и термически активированное перемещение дислокаций через различные барьеры. Но силы, вызывающие направленный дрейф ионов и дислокаций, обусловлены гл. обр. эффектом Э.в.

**Увлечение ионов и дислокаций.** Полная сила  $F$ , действующая на отд. ион в металле во внеш. электрич. поле  $E$ , состоит из двух компонент:

$$F = Z_i E + F_{ei}. \quad (1)$$

Здесь  $Z_i$  — собств. заряд иона; 1-е слагаемое в (1) описывает кулоновскую силу; 2-е слагаемое  $F_{ei}$  возникает вследствие рассеяния носителей заряда на ионе, т.е. представляет собой силу Э.в. В рамках линейной теории электропроводности сила  $F_{ei}$  пропорциональна плотности электронного тока, а вместе с ней и напряжённости поля  $E$ . Это позволяет ввести т.н. заряд увлечения  $Z_{ei} = F_{ei}/E$  и эфф. заряд  $Z_i^*$  иона:

$$F = Z_i^* E; \quad Z_i^* = Z_i + Z_{ei}. \quad (2)$$

При учёте анизотропии закона дисперсии электронов  $Z_{ei}$  заряд увлечения  $Z_{ei}$  из скалярной величины превращается в тензор 2-го ранга и ф-ла (2) имеет вид  $F_k = Z_{ki}^* E_s$  ( $k$  и  $s$  — координатные индексы).

Для примесных ионов в обычных металлах, как правило,  $Z_{ei} \gg Z_i$ , т.е. действие Э.в. значительно превосходит прямое действие электрич. поля. Величина и знак заряда увлечения  $Z_{ei}$  существенно зависят от энергетич. спектра электронов проводимости и их динамики: в частности, знак  $Z_{ei}$  определяется знаком *эффективной массы* носителей  $m = (d^2 \mathcal{E} / dp^2)_F$ , где  $\mathcal{E}(p)$  — закон дисперсии электрона в зоне проводимости (значение производной берётся на *ферми-поверхности*  $F$ ). Последнее означает, что электроны с  $m > 0$  и дырки с  $m < 0$  увлекают ионы в разл. стороны относительно направления поля  $E$ .

В общем случае металла со сложной поверхностью Ферми, содержащей как электронные, так и дырочные полости (листы), для заряда увлечения справедливо выражение

$$Z_{ei} = e [n_s l_s \sigma_{is} - n_d l_d \sigma_{id}]. \quad (3)$$

Здесь  $e$  — заряд электрона,  $n$  — концентрация носителей,  $\sigma_i$  — транспортное сечение рассеяния носителей на ионе,  $l$  — длина свободного пробега носителей, определяющая полную проводимость металла; индексы «э» и «д» означают, что соответствующие параметры относятся к электронам и дыркам. При высоких темп-рах, необходимых для наблюдения эффектов диффузионного переноса массы под действием Э.в., длина пробега  $l$ , как правило, определяется столкновением носителей с фононами. Из ф-л (2) и (3) следует, что в зависимости от соотношений между параметрами металла и примесей возможно увлечение примесей как к аноду, так и к катоду; напр., электронный перенос