

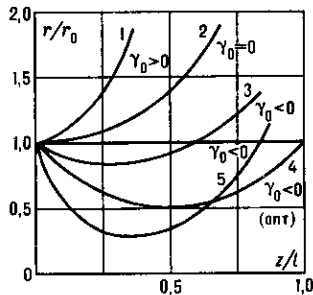
электрон нек-рой электрически заряженной среды с непрерывно распределённой плотностью пространств. заряда и разбивая весь пучок на совокупность «трубок тока», удаётся с помощью ЭВМ рассчитать с достаточной для практич. целей точностью осн. параметры интенсивного пучка: форму пучка (огibaющую), распределение плотности тока и потенциала по сечению пучка.

**Геометрия** Э. п. Практически применяются пучки трёх конфигураций: ленточные (плоские), имеющие в поперечном сечении вид прямоугольника с «толщиной», значительно меньшей «ширины», осесимметричные, имеющие в поперечном сечении форму круга, и трубчатые, имеющие в поперечном сечении форму кольца. Для формирования Э. п. таких типов разработаны соответствующие *электронные пушки* и системы ограничения.

Влияние пространств. заряда неодинаково в пучках разл. конфигурации. Наиб. влияние на характер движения электронов на границе Э. п. имеет составляющая напряжённости электрич. поля, создаваемого пространств. зарядом, направленная перпендикулярно оси осесимметричных пучков и широкой стороне ленточных.

Радиальная составляющая напряжённости электрич. поля на границе осесимметричного пучка прямо пропорциональна току пучка и обратно пропорциональна радиусу его сечения и скорости электронов пучка. Это создаёт силу, направленную от оси, стремящуюся расширить пучок. Расталкивающая сила тем больше, чем больше ток, меньше скорость и радиус пучка. Теоретически в осесимметричных пучках траектории электронов не могут пересечь ось, а сечение пучка нельзя свести в точку, т. к. при уменьшении сечения расталкивающая сила неограниченно возрастает.

Огибающая интенсивного осесимметричного пучка в пространстве, свободном от электрич. и магн. полей, описывается зависимостью, близкой к экспоненциальной. На рис. показаны огибающие осесимметричных пучков,



Огибающие осесимметричных электронных пучков:  $\gamma_0$  — угол входа пучка в свободное от полей пространство;  $r_0$  — начальный радиус; 1 — расходящийся пучок ( $\gamma_0 > 0$ ); 2 — цилиндрический пучок ( $\gamma_0 = 0$ ); 3, 4, 5 — сходящиеся пучки ( $\gamma_0 < 0$ ). Пучок 4 — оптимальный, так как кроссовер (наименьшее сечение) пучка находится на самом удалённом расстоянии ( $z/l = 0,5$ ) от исходной плоскости.

имеющих до входа в свободное пространство цилиндрическую (кривая 2,  $\gamma_0 = 0$ ), расходящуюся (кривая 1,  $\gamma_0 > 0$ ) и сходящуюся (кривые 3—4,  $\gamma_0 < 0$ ) формы ( $\gamma_0$  — угол наклона касательной к огибающей пучка, угол входа). Как видно на рис., пучки, первоначально сформированные как цилиндрические ( $\gamma_0 = 0$ ) и расходящиеся ( $\gamma_0 > 0$ ), в свободном от полей пространстве неограниченно расширяются; пучки, сформированные как сходящиеся, вначале сжимаются ( $r/r_0 < 1$ ), проходят плоскость наименьшего сечения (плоскость кроссовера), затем также начинают расширяться. Радиус мин. сечения пучка — радиус кроссовера — определяется выражением

$$r_{кр} = r_0 \exp[-326(\lg \gamma_0)^2 / P],$$

где  $r_0$  — радиус Э. п. до входа в свободное пространство.

Радиус кроссовера тем меньше, чем меньше перванс и больше  $|\gamma_0|$ . С ростом (по абс. величине) угла входа пучка в свободное от полей пространство ( $\gamma_0$ ) плоскость кроссовера сначала удаляется от исходной плоскости, за-

тем начинает приближаться к ней (последовательно кривые 3, 4, 5). Для каждого значения перванса существует оптимальный «угол влёта»  $\gamma_0$ , при к-ром кроссовер наиб. удалён от исходной плоскости, то есть Э. п. с данным первансом может быть проведён на наибольшее расстояние с радиусом, не превышающим исходный.

Ленточные интенсивные пучки в свободном от электрич. и магн. полей пространстве также неограниченно расширяются (становятся «толще»), контур огибающей пучка описывается параболич. законом. В отличие от осесимметричного пучка, ленточный пучок при оптимальном входном угле теоретически может быть сведён в линию, т. е. может быть получен линейный фокус. Пучки др. конфигураций в свободном пространстве также неограниченно расширяются; трубчатый Э. п. расширяется несколько меньше, чем сплошной осесимметричный.

Эксперим. проверка полученных расчётных соотношений затруднена, поскольку само понятие границы (огибающей) интенсивного пучка условно, т. к. в реальных пучках плотность тока при удалении от оси осесимметричного или от ср. плоскости ленточного пучков спадает постепенно, и границей пучка условно считается окружность или прямая, вдоль к-рой плотность тока составляет нек-рую малую долю ( $\sim 0,1$ ) её макс. величины на оси.

**Потенциал** Э. п. Падение потенциала внутри интенсивного пучка ограничивает возможность формирования протяжённого интенсивного пучка с высоким первансом. Теоретич. исследования показывают, что в интенсивном неограниченном потоке, заполняющем пространство между двумя плоскими параллельными проводящими поверхностями с одинаковым потенциалом, определяющим энергию электронов потока, с увеличением тока в ср. плоскости образуется минимум потенциала. При достижении  $P = 18,64 \text{ мкА/В}^{3/2}$  потенциал спадает до нуля, образуется *виртуальный катод*, часть электронов проходит через плоскость минимума, часть отражается к исходной плоскости, нормальное токопрохождение нарушается. Эксперим. проверка подтверждает это, именно при приближении  $P$  к  $18,64 \text{ мкА/В}^{3/2}$  в потоке возникают неустойчивости, колебания электронных слоёв, прохождение тока нарушается.

В реальных Э. п., ограниченных внеш. электрич. и магн. полями, также происходит падение потенциала, но т. к. в большинстве приборов, где используются интенсивные Э. п., протяжённый пучок пропускается через трубу с положительн. потенциалом, на поверхности пучка удаётся поддерживать потенциал, близкий к потенциалу трубы. Но и при наличии проводящей трубы потенциал на оси осесимметричного или в ср. плоскости ленточного пучков заметно понижается, и по достижении достаточно большого перванса (большего, чем в случае неограниченного потока) возникает неустойчивость, пучок обрывается.

**Формирование** Э. п. Поскольку Э. п. в свободном пространстве неограниченно расширяется, при практич. использовании интенсивных пучков кроме системы, формирующей пучок, — электронной пушки — необходима система, ограничивающая расхождение пучка. Расширение Э. п. ограничивается с помощью внеш. электрич. и магн. полей. Классич. пример протяжённого интенсивного Э. п. — т. н. поток Бриллюэна — цилиндрич. пучок, ограниченный продольным однородным магн. полем. При определ. соотношении четырёх величин — нач. радиуса  $r_0$ , тока пучка  $I$ , напряжения  $U_0$ , определяющего энергию электронов до входа в магн. поле, и магн. индукции продольного однородного магн. поля  $B_0$  — теоретически возможно получить устойчивый цилиндрич. Э. п. При оптимальном соотношении  $r_0$ ,  $I$ ,  $U_0$  и  $B_0$  макс. перванс бриллюэновского потока достигает  $25,4 \text{ мкА/В}^{3/2}$ . При макс. первансе потенциал на оси пучка составляет всего  $1/3$  значения на границе. При ограничении магн. полем трубчатых пучков можно получить ещё большие значения перванса.

Практически сформировать протяжённые Э. п. с первансом, близким к теоретически максимально возможному, не удаётся из-за ряда причин: разброса нач. скоростей электронов, эмитированных катодом, трудности создания