

вдоль радиуса по линейному закону $\tau = \tau_w r/a$, где $\tau_w = 4\mu v_{cp}/a$ — напряжение трения на стенке трубы. Для преодоления сил вязкого трения в трубе при равномерном движении должен иметь место продольный перепад давления, выражаемый обычно равенством $p_1 - p_2 = \lambda (l/d) \rho v_{cp}^2/2$, где p_1 и p_2 — давления в к.-н. двух поперечных сечениях, находящихся на расстоянии l друг от друга, λ — коэф. сопротивления, зависящий от Re ; для Л. т. $\lambda = 64/Re$. Секундный расход жидкости в трубе при Л. т. определяет Пуазейля закон. В трубах конечной длины описанное Л. т. устанавливается не сразу и в начале трубы имеется т. н. входной участок, на к-ром профиль скоростей постепенно преобразуется в параболический. Приблизительно длина входного участка $H = 0,04 Re \cdot d$.

Когда при $Re > Re_{кр}$ течение становится турбулентным, существенно изменяются структура потока, профиль скоростей (рис., б) и закон сопротивления, т. е. зависимость λ от Re (см. Гидродинамическое сопротивление).

Кроме труб Л. т. имеет место в слое смазки в подшипниках, вблизи поверхности тел, обтекаемых маловязкой жидкостью (см. Пограничный слой), при медленном обтекании тел малых размеров очень вязкой жидкостью (см., в частности, Стокса формула). Теория Л. т. применяется также в вискозиметрии, при изучении теплообмена в движущейся вязкой жидкости, при изучении движения капель и пузырьков в жидкой среде, при рассмотрении течений в тонких плёнках жидкости и при решении ряда др. задач физики и физ. химии.

Лит.: Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Механика сплошных сред, 2 изд., М., 1954; Лойцянский Л. Г., Механика жидкости и газа, 6 изд., М., 1987; Тарг С. М., Основные задачи теории ламинарных течений, М.—Л., 1951; Слезкин Н. А., Динамика вязкой несжимаемой жидкости, М., 1955, гл. 4—11. С. М. Тарг.

ЛАМПА БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ (ЛБВ) — вакуумный электронный прибор, в к-ром в результате длительного взаимодействия движущихся электронов с полем бегущей эл.-магн. волны происходит усиление этой волны. ЛБВ применяется гл. обр. как широкополосный усилитель СВЧ-колебаний (в диапазоне 1—300 ГГц), иногда (при введении обратной связи) как генератор колебаний.

Осн. элементы ЛБВ: электронная пушка, создающая поток электронов; система фокусировки и формирования электронного потока с помощью статич. магн. и электр. полей; замедляющая система, по к-рой распространяется эл.-магн. волна, взаимодействующая с электронами в т. н. пространстве взаимодействия; коллектор для отбора прошедших пространство взаимодействия электронов (рис. 1, а, б). Наиб. распространение получили ЛБВ, в к-рых электроны движутся прямолинейно вдоль оси замедляющей системы (тип О), взаимодействуя с продольным электр. полем замедленной волны. Электронный поток обычно фокусируется с помощью продольного статич. магн. поля, создаваемого соленоидом, или периодич. статич. магн. поля, создаваемого системой периодически расположенных вдоль оси лампы пост. магнитов (намагниченных колец) разной полярности. Менее распространены ЛБВ типа М, где электронный поток движется в поперечно скрещенных статич. электр. и магн. полях (как в магнетроне, откуда и назв. — тип М); в этих лампах электроны взаимодействуют как с продольным, так и с поперечным электр. полем замедленной волны и, следовательно, происходит двумерное движение электронов.

Принцип действия ЛБВ. Необходимым условием длительного взаимодействия электронов с эл.-магн. волной является примерное равенство продольной скорости электронов v_e и фазовой скорости волны v_ϕ (синхронизм), что обеспечивается применением замедляющей системы, уменьшающей скорость эл.-магн. волны от c до $v_\phi \approx v_e$. В этих условиях каждый электрон лишь медленно перемещается относительно поля бегущей волны, оставаясь преимущественно в тормозящей либо ускоряющей фазе её электр. поля на большой

длине L , достигающей неск. десятков длин замедленной волны λ_z , в течение длительного времени $t \sim L/v_e$, существенно превышающего период колебаний $T = 2\pi/\omega$. В результате происходит эфф. обмен энергией между электронами и полем, к-рый проявляется как совокупность двух физ. процессов, лежащих в основе работы ЛБВ и представляющих две стороны взаимодействия: возбуждение эл.-магн. поля замедленной волны потоком электронов (конвекционным током) и, наоборот, влияние поля волны на движение электронов, приводящее к образованию периодич. последовательности сгустков электронов (г р у п п и р о в к е) и к возникновению в электронном потоке конвекционных ВЧ-токов. Вместе эти процессы приводят в ЛБВ к передаче энергии от электронного потока эл.-магн. полю.

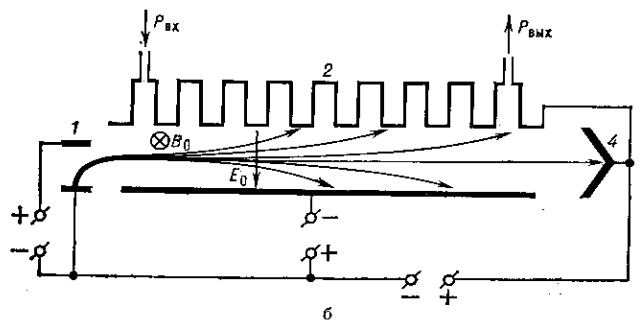
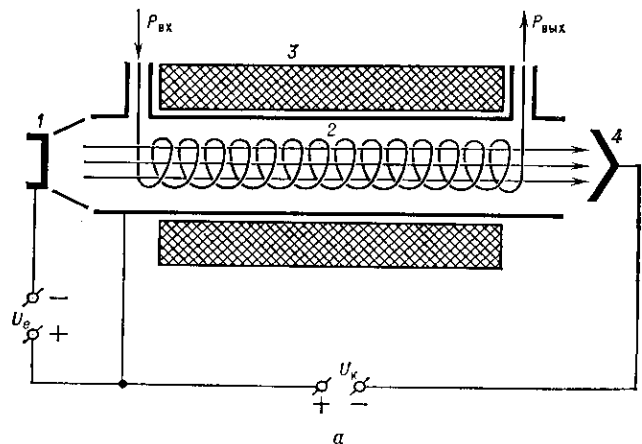


Рис. 1. Лампа бегущей волны: а — типа О; б — типа М, плоская конструкция; 1 — электронная пушка; 2 — замедляющая система; 3 — фокусирующая система; 4 — коллектор.

Возбуждённое электронным потоком эл.-магн. поле замедленной волны является суммой индивидуальных излучений отд. электронов. Индивидуальное излучение каждого электрона, движущегося равномерно в замедляющей системе, — частный случай Черенкова — Вавилова излучения, к-рое при синхронизме электрона и волны направлено вдоль движения электрона. В немодулированном потоке электронов их индивидуальные излучения взаимно уничтожаются; т. е. в таком потоке нет переменных конвекционных токов и поэтому он не возбуждает переменные эл.-магн. поля. При подаче на вход ЛБВ эл.-магн. колебаний частоты ω в замедляющей системе возникает волна с фазовой скоростью $v_\phi(\omega)$. Её поле модулирует электронный поток, в к-ром образуется волна возмущений — периодич. последовательность электронных сгустков — длиной $\lambda \approx \lambda_z = 2\pi v_\phi(\omega)/\omega$ и со скоростью $\sim v_\phi$. Излучения электронов, составляющих сгустки, складываются в фазе друг с другом, т. е. эффективно возбуждается дополнительная замедленная волна, к-рая складывается с исходной волной, если сгустки электронов образуются в тормозящей фазе поля (ф а з о в а я г р у п п и р о в к а).