

вещества за разряд 10^{-8} кг, скорости истечения 3 км/с. Двигатель рассчитан на $12 \cdot 10^6$ разрядов с импульсом $2 \cdot 10^{-5}$ Н/с.

СПД — исторически сложившееся, не очень удачное название двигат. варианта плазменного ускорителя с замкнутым дрейфом электронов и протяжённой зоной ускорения. Эти двигатели могут работать длит. время в пост. режиме. ЭРДУ с двумя СПД, работавшими на ксеноне, каждый мощностью 400 Вт, скоростью истечения ~ 10 км/с и тягой $\sim 2 \cdot 10^{-2}$ Н впервые функционировала на борту советского ИСЗ «Метеор» в 1972. С её помощью за 170 ч работы высота орбиты ИСЗ изменилась на 17 км, и спутник был установлен на геосинхронную орбиту. В дальнейшем ЭРДУ с ксеноновыми СПД были включены в состав советских спутников серии «Метеор — природа», они регулярно выводятся в космос на борту спутников связи, в т. ч. ретрансляторов, для коррекции и поддержания параметров орбиты.

Лит.: Гильзин К. А., Электрические межпланетные корабли, 2 изд., М., 1970; Морозов А. И., Цубин А. П., Космические электрореактивные двигатели, М., 1975; Гришин С. Д., Лесков Л. В., Козлов Н. П., Электрические ракетные двигатели, М., 1975. А. П. Шубин.

ПЛАЗМЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ — преобразователи тепловой энергии плазмы в электр. энергию. Существуют два типа П. и. э. э.— *магнитогибридный магнетронный генератор* и *термоэмиссионный преобразователь*.

ПЛАЗМЕННЫЕ НЕУСТОЙЧИВОСТИ — см. Неустойчивости плазмы.

ПЛАЗМЕННЫЕ УСКОРИТЕЛИ — класс плазмодинамич. устройств для получения потоков плазмы с энергией ионов от 10 эВ и выше. На нижнем пределе энергии П. у. соседствуют с генераторами низкотемпературной плазмы — *плазмотронами*, на верхнем — с коллективными ускорителями заряж. частиц (см. Коллективные методы ускорения частиц). В 80-е гг. на стационарных П. у. получены потоки с энергией частиц до 10^4 эВ, а на импульсных — до 10^7 эВ.

В отличие от ускорителей заряж. частиц, в канале П. у. находятся одновременно частицы с зарядами обоих знаков — положит. ионы и электроны, т. е. не нарушается *квазинейтральность плазмы*. Это снимает ограничения, связанные с *пространственным зарядом* (см. также *Ленгмюра формула*), и позволяет, напр., получать квазистационарные (т. е. длительностью 10^{-2} — 10^{-3} с) плазменные потоки с эфф. током ионов порядка мли. А при энергии частиц ≈ 100 эВ.

Плазменные потоки с большими скоростями можно получить разными способами, напр. воздействием лазерного излучения на твёрдое тело. Однако доведены до определённого уровня совершенства и получены широкое распространение те П. у., в к-рых ускорение и создание плазмы осуществляются за счёт электр. энергии с помощью электр. разряда (рис. 1).

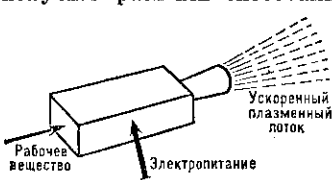


Рис. 1. Принципиальная схема плазменного ускорителя.

Механизм ускорения. При анализе рабочего процесса в П. у. плазму можно рассматривать и как сплошную среду, и как совокупность частиц (ионов и электронов). В рамках первого подхода ускорение плазмы обусловлено перепадом полного (ионного и электронного) давления $p = p_i + p_e$ и действием силы Ампера F_A (см. *Ампера закон*), возникающей при взаимодействии токов, текущих в плазме с магн. полем $F_A \sim [jB]$, где j — плотность тока в плазме, B — индукция магн. поля.

В рамках второго подхода ускорение ионов объясняется: 1) действием электр. поля E , существующего в плазменном объёме; 2) столкновениями направленного потока электронов («электронного ветра») с иона-

ми; 3) столкновениями ионов с ионами, благодаря к-рым энергия хаотич. движения ионов переходит в энергию направленного движения (тепловое или газодинамич. ускорение ионов). Наиб. значение для П. у. имеет электр. ускорение ионов, меньшее — два последних механизма.

Создание электр. поля в плазме, обладающей подвижными электронами, представляет, вообще говоря, сложную задачу. Из *Ома обобщённого закона*

$$j/\sigma = \frac{\nabla p_e}{en} + E + \frac{1}{c}[v_e H]$$

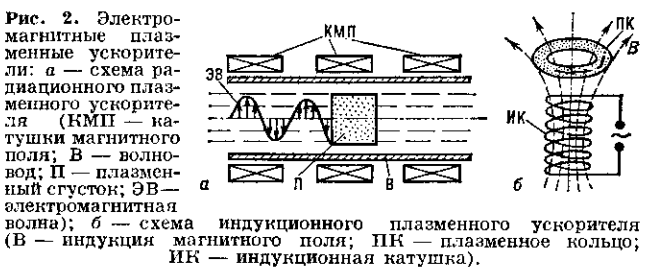
видно, что для существования электр. поля в плазме нужно иметь либо большое сопротивление, либо большие градиенты p_e (реально — большую электронную темп-ру), либо магн. поле и дрейф электронов. Для П. у. важны два последних механизма.

Классификация П. у. Они делятся на тепловые и электромагнитные в зависимости от того, преобладает ли в процессе ускорения перепад полного давления p или сила Ампера.

Среди тепловых П. у. осн. интерес представляют *неизотермич. ускорители*, в к-рых $p_e > p_i$. Конструктивно стационарный неизотермич. П. у. представляет собой «магн. сопло», в к-ром либо путём инжекции быстрых электронов, либо путём электронного циклотронного резонанса создают плазму с горячими электронами ($T_e \approx 10^7$ — 10^8 К или в энергетич. единицах: $kT_e \approx 10^3$ — 10^5 эВ). Электроны, стремясь покинуть камеру, создают объёмные заряды (без нарушения квазинейтральности), электр. поле к-рых «вытягивает» (ускоряет) ионы, сообщая им энергию порядка kT_e .

Наряду со стационарными создан ряд вариантов импульсных неизотермич. П. у. Их разработка связана с использованием как релятивистских электронных пучков, так и энергетичи, созданной первоначально для их получения. Примером П. у. последнего типа могут служить т. н. рефлексные триоды.

Эл.-магн. П. у. подразделяются по характеру подвода энергии к плазме на три класса: *радиационные ускорители*, в к-рых ускорение плазменного потока происходит за счёт давления эл.-магн. волны, падающей на плазменный ступок (рис. 2,а); *индукционные ускорители* — импульсные системы, в к-рых внеш. нарастающее магн. поле B индуцирует ток в плазменном кольце (рис. 2,б). Взаимодействие этого тока с радиальной составляющей внешнего магн. поля



создаёт силу Ампера, к-рая и ускоряет плазменное кольцо; *электродные П. у.*, в к-рых существует непосредств. контакт ускоряемой плазмы с электродами, подключёнными к источнику напряжения. Наиб. изученными и многочисленными являются электродные П. у., к-рые ниже рассмотрены подробнее.

П. у. с собственным магнитным полем. Импульсные электродные П. у. (пушки). Первым П. у. был «рельсотрон», питаемый конденсаторной батареей. Плазменный ступок создается либо за счёт эрозий диэлектрич. вставки под действием скользящего разряда, либо при пропускании большого тока через тонкую проволоку, натянутую между массивными