

ных электронов, Э. в них осуществляется посредством перескоков собств. или примесных ионов между соседними узлами кристаллич. решётки или междоузлиями и носит активацион. характер, экспоненциально возрастающая при повышении темп-ры по закону

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-E_a/RT), \quad (2)$$

где E_a — энергия активации Э.; коэф. σ_0 зависит от темп-ры, но значительно слабее, чем экспоненц. множитель Э. диэлектриков варьирует в диапазоне от 10^{-18} до 10^{-8} Ом $^{-1}$ ·см $^{-1}$ при комнатной темп-ре. В сильных электр. полях Э. диэлектриков сильно возрастает.

В полупроводниках Э. осуществляется движением электронов проводимости и дырок (см. *Зонная теория*), подвижность к-рых на много порядков превышает подвижность ионов. В соответствии с этим Э. у полупроводников намного больше, чем у диэлектриков; она составляет при комнатной темп-ре 10^7 — 10^3 Ом $^{-1}$ ·см $^{-1}$ и сильно зависит от хим. состава и наличия примесей. Температурная зависимость Э. полупроводников определяется в осн. быстрым повышением концентрации электронов и дырок с ростом темп-ры, описываемым экспоненц. законом (2); подвижность при этом также меняется, но обычно значительно медленнее, по степенному закону. В неупорядоченных полупроводниках возможна также прыжковая проводимость. Э. полупроводников сильно зависит от внеш. воздействий (магн. поля, освещения, ионизирующего облучения, давления и др.).

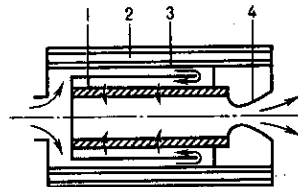
Металлы характеризуются высокой (сравнимой с числом атомов в единице объёма) концентрацией носителей заряда, с чем связана их высокая Э. (10^4 — 10^6 Ом $^{-1}$ ·см $^{-1}$ при комнатной темп-ре). Концентрация носителей в металлах отлична от нуля даже при абс. нуле, температурная зависимость Э. обусловлена изменением (увеличением) длины свободного пробега (и, следовательно, подвижности) носителей при понижении темп-ры. При низких темп-рах Э. многих металлов и сплавов становится бесконечной (см. *Сверхпроводимость*). Э. металла связана с его теплопроводностью Видемана — Франца законом. Величина Э. определяет глубину проникновения эл.-магн. поля в проводник (см. *Скин-эффект*) и время релаксации объёмного заряда.

Существует ряд явлений, родственных Э., в к-рых перенос носителей заряда осуществляется не электр. полем, а градиентом темп-ры (см. *Термоэлектрические явления*), звуковыми волнами (см. *Акустоэлектрический эффект*), световым излучением (см. *Увлечение электронов фотонами*) и т. п. Э. жидкостей, газов и плазмы обладает рядом особенностей, отличающих её от Э. твёрдых тел (см. *Электрические разряды в газах*, *Электрический пробой*, *Электрелиз*).

ЭЛЕКТРОРАКЕТНЫЕ ДВИГАТЕЛИ (электрореактивные двигатели, ЭРД) — космич. реактивные двигатели, в к-рых направленное движение реактивной струи создаётся за счёт электр. энергии. Электроракетная двигательная установка (ЭРДУ) включает собственно ЭРД, систему подачи и хранения рабочего вещества и систему, преобразующую электр. параметры источника электроэнергии к номинальным для ЭРД значениям и управляющую функционированием ЭРД. ЭРД — двигатели малой тяги, действующие в течение длит. времени (годы) на борту космич. летательного аппарата (КЛА) в условиях невесомости либо очень малых гравитац. полей. С помощью ЭРД параметры траектории полёта КЛА и его ориентация в пространстве могут поддерживаться с высокой степенью точности либо изменяться в заданном диапазоне. При эл.-магн. либо эл.-статич. ускорении скорость истечения реактивной струи в ЭРД значительно выше, чем в жидкостных или твердо-топливных ракетных двигателях; это даёт выигрыш в полезной нагрузке КЛА. Однако ЭРД требуют наличия источника электроэнергии, в то время как в обычных ракетных двигателях носителем энергии являются компоненты топлива (горючее и окислитель). В семейство ЭРД входят *плазменные двигатели* (ПД), эл.-хим. двигатели (ЭХД) и ионные двигатели (ИД).

Электрохимические двигатели. В ЭХД электроэнергия используется для нагрева и хим. разложения рабочего вещества. ЭХД подразделяются на электронагревные (ЭНД), термокаталитические (ТКД) и гибридные (ГД) двигатели. В ЭНД рабочее вещество (водород, аммиак) нагревается электронагревателем и затем истекает со сверхзвуковой скоростью через сопло (рис. 1). В ТКД электроэнергией нагревается катализатор (до темп-ры ~ 500 °С), химически разлагающий рабочее вещество (аммиак, гидразин); далее продукты разложения истекают через сопло. В ГД происходит сначала разложение рабочего вещества,

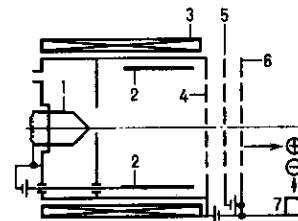
Рис. 1. Схема электронагревного двигателя: 1 — пористый электронагреватель; 2 — тепловой экран; 3 — кожух; 4 — сопло.



потом подогрев продуктов разложения и их истечение. Конструкция ЭХД и используемые конструкц. материалы рассчитаны на включение на борту КЛА в течение 7—10 лет при числе запусков до 10^5 , длительности непрерывной работы ~ 10—100 ч и отклонении тяговых характеристик от номинала не более 5—10%. Уровень потребляемой ЭХД электр. мощности — десятки Вт, диапазон тяг — 0,01—10 Н. ЭХД имеют очень низкую для ЭРД энергетич. цену тяги ~ 3 кВт/Н, большую скорость истечения струи (≥ 3 км/с) за счёт малого молекулярного веса рабочего вещества и продуктов его разложения. Гидразиновый ГД с тягой 0,44 Н успешно работал на спутнике связи «Интелсат-5»; аммиачный ЭНД с тягой 0,15 Н входит в состав штатной ЭРДУ спутников серии «Метеор», к-рая корректирует орбиту и ориентацию спутника.

Ионные двигатели. В ИД положит. ионы рабочего вещества ускоряются в эл.-статич. поле. ИД (рис. 2) состоит из

Рис. 2. Схема ионного двигателя с объёмной ионизацией конструкции Г. Кауфмана: 1 — катод газоразрядной камеры; 2 — анод; 3 — магнитная катушка; 4 — эмиттирующий электрод; 5 — ускоряющий электрод; 6 — внешний электрод; 7 — нейтрализатор.



эмиттера ионов 4, ускоряющего электрода 5 с отверстиями (щелями), сквозь к-рые проходят ускоренные ионы, и внеш. электрода 6 (экрана), в роли к-рого обычно используют корпус ИД. Ускоряющий электрод находится под отрицат. потенциалом (~ 10^3 — 10^4 В) относительно эмиттера. Электр. ток и пространств. электр. заряд реактивной струи должны быть нулевыми, поэтому выходящий ионный пучок нейтрализуется электронами, к-рые эмитирует нейтрализатор 7. Внеш. электрод находится под потенциалом, отрицательным относительно эмиттера и положительным относительно ускоряющего электрода; положит. смещение потенциала выбирается таким, чтобы сравнительно малоэнергичные электроны из нейтрализатора запирались электр. полем и не попадали в ускоряющий промежуток между эмиттером и ускоряющим электродом. Энергия ускоренных ионов определяется разностью потенциалов между эмиттером и внеш. электродом. Наличие положит. пространств. заряда в ускоряющем промежутке ограничивает ионный ток из эмиттера. Осн. параметры ИД: скорость истечения, тяговый кпд, энергетич. цена тяги (Вт/Н), энергетич. цена иона (эВ/ион) — кол-во энергии, затрачиваемое на образование иона. Степень ионизации рабочего вещества в ИД должна быть как можно выше ($> 0,9 \div 0,95$).