

определяется направлением вектора  $\vec{B}$  и направлением действия источников. На рисунке 3,г аккумулятор будет разряжаться и поднимать груз.

Докажите это. [3]

Для того чтобы груз начал опускаться и заряжать аккумулятор, можно либо поменять направление вектора  $\vec{B}$  на противоположное, либо поменять полярность аккумулятора, либо, наконец, подвесить груз с другой стороны.

Объясните, с точки зрения одночастичной модели, почему направление потока энергии на рисунках 3,б и 3,в не зависит от направления  $\vec{B}$  и от полярности источников. [4]

Рассмотрим два примера.

**Пример 1.** Так как направление потока энергии не зависит от величин сил  $f_x$  и  $f_y$ , а зависит только от их направлений, аккумулятор на рисунке 3,г должен поднимать любой сколь угодно большой груз, чего в действительности не может быть.

Решите возникший парадокс. В частности, считая известными индукцию  $B$ , ЭДС аккумулятора  $E$ , сопротивление электрического плеча  $r$ , длину  $l$  проводника  $ab$ , определите максимальную массу, которую сможет поднять аккумулятор. [5]

**Пример 2.** Можно представить себе гибридный МГД-осциллятор, в котором соединены электрический и механический элементы, например конденсатор и пружина. В процессе колебаний электрическая и механическая энергии попеременно превращаются друг в друга. При этом изменение направления превращения энергии происходит самопроизвольно. (Более подробное описание гибридного осциллятора можно найти в статье «Осцилляторы-кентавры» в «Кванте» №5 за 1995 г.)

Вплоть до настоящего момента рассматривались такие преобразования МГД-систем, при которых пассивный источник заменялся активным и наоборот. Качественная природа источников (электрический или механический) при этом оставалась неизменной. Поэтому изменение направления потока энергии в геометрическом смысле означало изменение направления превращения энергии в качественном смысле (механическая в электрическую или наоборот). Можно говорить об обратимости, связанной только с изменением качественной природы источников. Такие преобразования не могут быть сведены к простой замене источников (к электрическому плечу нельзя подсоединить механический источник). Они предполагают изменение МГД-блока в целом и иногда вообще невозможны.

В качестве первого частного случая рассмотрим гомополярный двигатель (рис. 4,а). Металлический диск находится в однородном магнитном поле и мо-

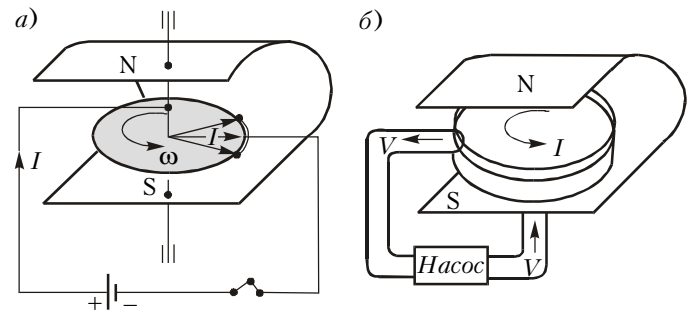


Рис. 4

жет свободно вращаться вокруг вертикальной оси. Под действием источника тока в диске возникают радиальные токи. Сила Ампера, действующая на них, вращает диск. Электромеханический двойник гомополярного двигателя показан на рисунке 4,б. В плоском цилиндрическом сосуде находится жидкий проводник. Под действием насоса он приводится в радиальное движение. Возникающая при этом ЭДС индукции порождает в жидкости вихревые токи.

В качестве второго частного случая рассмотрим магнитное торможение, возникающее при движении проводника в неоднородном магнитном поле. Если дать монете свободно падать в сильно неоднородном магнитном поле (рис.5,а), то ее движение будет таким, как будто она падает в вязкой жидкости. Причина заключается в том, что в монете возникают вихревые токи, на которые действуют силы Ампера. Равнодействующая этих сил всегда направлена против скорости и может быть названа силой магнитного трения. Это же самое явление магнитного трения представлено на рисунке 5,б. При вращении металлического диска в неоднородном магнитном поле в нем возникают вихревые токи (показаны пунктиром), которые в свою очередь порождают силы, тормозящие вращение диска. Электромеханический двойник МГД-установки, показанной на рисунке 5,б, представлен на рисунке 5,в. В дископодобном сосуде в неоднородном магнитном поле находится проводящая жидкость (или плазма). Если в этой жидкости создать круговой электрический ток, то он породит вихревые течения жидкости (пунктир). Движение жидкости порождает в ней ЭДС индукции, действующую против тока. Это эквивалентно возникновению дополнительного электрического сопротивления в проводнике.

Каждой из четырех МГД-систем, показанных на

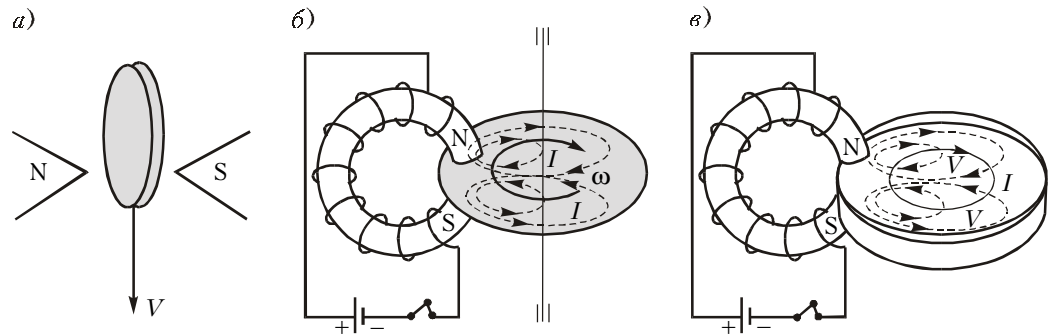


Рис. 5