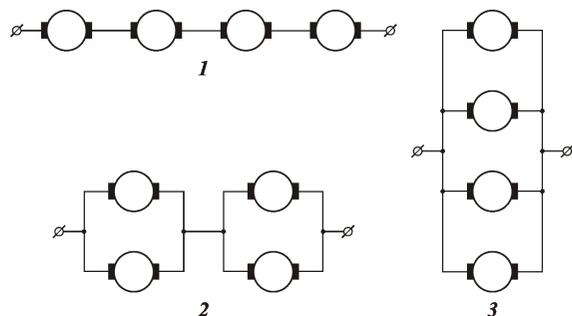


Управление электровозом

(Текст к задаче 9)

Электровоз (электрический локомотив) имеет обычно несколько тяговых электродвигателей (от четырех до восьми). Вал каждого из них жестко соединен с ведущими колесами. С помощью специального переключателя (контроллера) машинист может подключать электродвигатели к напряжению питания (контактной сети) разными способами: последовательно, параллельно или более сложным образом.

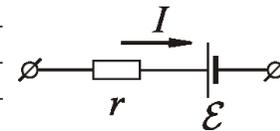
Рассмотрим на простом модельном примере, как происходит управление таким локомотивом. Пусть у нашего электровоза 4 одинаковых тяговых двигателя. Контроллер имеет 4 положения: 0 (все двигатели отключены от питания), 1, 2 и 3, в которых двигатели подключаются к контактной сети так, как показано на рисунке:



При старте из состояния покоя контроллер сначала ставится в положение 1. Электровоз начинает разгоняться, с течением времени его скорость растет все медленнее, пока не перестает меняться совсем. Это — этап 1. Затем машинист переводит контроллер в положение 2, электровоз снова начинает разгоняться, его скорость достигает нового установившегося значения (этап 2). Потом контроллер переводится в положение 3, происходит еще один цикл разгона (этап 3). (Напомним, что речь идет про упрощенный локомотив — реальный электровоз так разгонять нельзя).

Для понимания происходящего важно иметь в виду следующее. Работа электродвигателя постоянного тока (не любого, но на нашем электровозе стоят именно такие) может быть описана в рамках простой модели:

- а) Эквивалентная схема электродвигателя (определяющая его поведение в электрической цепи) представляет собой последовательно соединенные резистор r (сопротивление его обмотки) и так называемую противоЭДС \mathcal{E} (она возникает из-за явления электромагнитной индукции в витках обмотки). При «нормальной» работе двигателя противоЭДС всегда направлена против тока (см. рисунок).



- б) Величина противоЭДС прямо пропорциональна угловой скорости вращения ротора двигателя, от величины тока она не зависит.
- в) Механический момент силы, который электродвигатель прикладывает к колесам, прямо пропорционален величине потребляемого тока, от скорости вращения он не зависит.

Попробуйте с помощью этой модели разобраться в том, что же происходит при описанном способе разгона электровоза.

Расширение Вселенной

(Текст к задаче 9)

Один из самых известных любителей астрономии феноменов — разбегание галактик. Как показывают наблюдения, галактики, неподвижные на небесной сфере, удаляются от нас и друг от друга в космическом пространстве. Более того, методы астрофизики позволяют измерить скорость этого удаления: для всякой пары объектов во Вселенной величина этой скорости v оказывается прямо пропорциональной расстоянию между ними L : $v = HL$. В частности, удаление от нас звезд нашей Галактики оказывается практически ненаблюдаемым — они слишком близко, их скорость удаления мала. Заметить это явление удастся только наблюдая другие галактики — они от нас достаточно далеко и скорость удаления оказывается вполне измеримой. А самые дальние галактики, находящиеся на границе доступной наблюдению части Вселенной, удаляются от Земли со скоростями, приближающимися к скорости света! Эта замечательная закономерность известна в астрофизике как *закон Хаббла*, а коэффициент H называется *постоянной Хаббла*. Его значение (по современным данным) $H \approx 2,2 \cdot 10^{-18} \text{c}^{-1}$.

С точки зрения современной космологии, «разбегаются» не галактики, а точки нашего трехмерного пространства. В этом и состоит знаменитое явление расширения Вселенной. Понять его можно с помощью простой аналогии. Представим себе, что галактики нарисованы на резиновом

воздушном шарике. Его поверхность есть (двумерное) пространство, в котором они живут. Если шарик начнут надувать, увеличивая его радиус — как будут двигаться галактики? С одной стороны, по резине они никуда не движутся, угол, под которым любая пара из них видна из центра шарика, изменяться не будет. Но само их резиновое пространство начнет растягиваться, длина дуги, соединяющей данную пару, будет увеличиваться! А именно эта длина дуги и является, как легко понять, расстоянием между точками в этом двумерном пространстве. И скорость «удаления» этих точек друг от друга действительно окажется пропорциональной расстоянию между ними (убедитесь в этом сами). Закон Хаббла будет выполняться! Аналогия вполне адекватная — несмотря на то, что наша Вселенная скорее является *трехмерной* оболочкой *четырёхмерного* «шарика». Эволюционирует *само пространство*, а зависимость его геометрических параметров (например, радиуса кривизны) от времени описывается уравнениями *общей теории относительности* (ОТО).

Постоянна ли скорость, с которой растёт радиус нашей «сферической Вселенной»? Это вопрос непростой. Вид упомянутых уравнений ОТО, и, следовательно, закон эволюции пространства, может существенно меняться в зависимости от свойств материи во Вселенной. В самых наивных предположениях Вселенная расширяется с постоянной во времени скоростью — «по инерции»; в следующем приближении эта скорость оказывается зависящей от времени по степенному закону; в большинстве же рассматриваемых моделей временная зависимость имеет весьма сложный вид. В частности, расширение Вселенной может происходить с ускорением (именно этот случай соответствует современным астрофизическим данным), а может, наоборот, замедляться и со временем даже смениться сжатием и коллапсом — «Концом света». Попытки сопоставить наблюдаемые скорости удаления галактик с доступными данными о свойствах космического вещества и привели к гипотезам о существовании во Вселенной *тёмной материи* и *тёмной энергии*.

Замечательно, что даже простейшие модели предсказывают также «Начало времен»: в них получается, что все наше пространство развилось из одной-единственной точки за конечное время («Большой взрыв»). Это время — не что иное как возраст Вселенной в рамках соответствующей модели. И его можно измерить.

Дело в том, что в описанной картине постоянная Хаббла постоянна только как функция расстояния до галактики *в данный момент времени* — а от времени она при этом зависит! Если предположить конкретный закон эволюции пространства со временем, то определенное с помощью данных астрофизических измерений значение постоянной Хаббла позволит оценить возраст Вселенной.

Не забудьте **подписать** свою работу (указать номер карточки, фамилию, имя, школу, класс) и **сдать** её. Сдавать листок с условиями не нужно. Задания, решения, результаты участников (после 20 ноября) и информация о закрытии будут опубликованы по адресу turlom.olimpiada.ru.