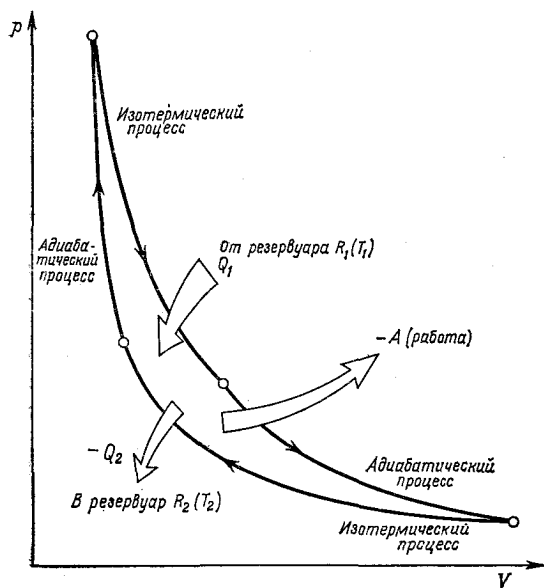
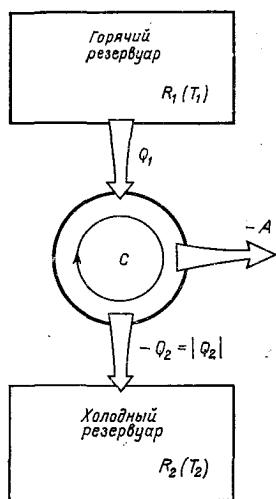


(см. гл. 1, задача 9), то при изучении второго закона термодинамики его можно рассматривать как известную лемму.



Ф и г. 19.



Ф и г. 20.

### § 3. Второй закон термодинамики

Второй закон термодинамики является эмпирическим, поэтому его можно сформулировать различными способами, которые, конечно, эквивалентны. Приведем эти формулировки.

а) *Принцип Клаузиуса*. Процесс, при котором не происходит никаких изменений, кроме передачи тепла от горячего тела к холодному, является необратимым, иначе говоря, теплота не может спонтанно перейти от более холодного тела к более горячему без каких-либо других изменений в системе.

б) *Принцип Томсона (Кельвина)*. Процесс, при котором работа переходит в тепло без каких-либо других изменений состояния системы, является необратимым; иначе говоря, невозможно преобразовать в работу все количество тепла, взятое от тела с однородной температурой, не производя никаких других изменений состояния системы.

в) *Принцип невозможности создания вечного двигателя второго рода.* Невозможно создать циклически работающую машину, которая производила бы работу за счет поглощения тепла от одного теплового резервуара, не совершая при этом никаких других изменений состояния системы (вечный двигатель второго рода).

г) *Принцип Каратеодори.* Вблизи любого термически равновесного состояния термически однородной системы существует другое состояние, которое как угодно мало отличается от первого, но никогда не может быть достигнуто из него путем адиабатического перехода.

**З а м е ч а н и е.** Под термином «другие изменения» подразумеваются такие изменения системы, которые сохраняются после завершения процесса. В формулировке «в» существенно условие цикличности машины. Действительно, при изотермическом расширении идеального газа все тепло, взятое от теплового резервуара, можно преобразовать в работу. Однако такой процесс не может быть периодическим. Очевидно, что формулировки «б») и «в») эквивалентны. В задаче 1 будет доказана эквивалентность формулировок «а») и «б»). Несколько сложнее (см. задачу 30) доказывалась эквивалентность формулировки «г») формулировкам «а») и «б»).

#### § 4. Коэффициент полезного действия общего цикла Карно

*Общий цикл Карно.* Хотя можно предложить ряд обобщений несколько узкого определения цикла Карно, приведенного в § 2, мы будем под обобщенным циклом Карно подразумевать цикл, совершаемый тепловой машиной, которая поглощает тепло  $Q_1$  и  $Q_2$  от двух тепловых резервуаров  $R_1$  и  $R_2$  и совершает работу  $A = Q_1 + Q_2$  над окружающей средой (фиг. 20). Следовательно, цикл Карно состоит из двух изотермических процессов и двух адиабатических процессов. Если все эти процессы обратимые, мы имеем *обратимый цикл Карно*.

*Коэффициент полезного действия.* Если  $R_1$  является горячим резервуаром, а  $R_2$  — холодным резервуаром, то  $Q_1 > 0$ ,  $Q_2 < 0$ ,  $A = Q_1 + Q_2 = Q_1 - |Q_2|$ , а к. п. д.  $\eta$  имеет вид

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1}; \quad (2.2)$$

следовательно,

$$1 - \eta = \frac{|Q_2|}{Q_1}. \quad (2.3)$$

*Принцип Карно.* К. п. д.  $\eta$  обратимого цикла Карно, действующего между тепловыми резервуарами  $R_1$  и  $R_2$ , однозначно определяется температурами  $\theta_1$  и  $\theta_2$  тепловых резервуаров и не