

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Витис А.
Гермодинамин
ка.

Москва.

Р. 17105

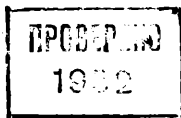
Aimè WITZ

Инженеръ Техн.
Кандидатъ математ. наукъ
Профессоръ Универс. въ Лиллѣ.

ТЕРМОДИНАМИКА

Перевелъ съ 2-го франц. изданія
Инж.-Техн. А. Рейдель

Проект. 1935



МОСКВА

Русская техническая литература обогатилась за послѣднее время, какъ переводными, такъ и оригинальными произведеніями. Но до сихъ поръ у насъ нѣтъ трудовъ, которые удовлетворяли бы одновременно условіямъ научности, краткости, полноты и доступности по изложенію и цѣнѣ. Этимъ условіямъ должны удовлетворять справочныя книги, въ родѣ *Нütte*.

Но нельзя не замѣтить, не умаляя ихъ достоинствъ, что слишкомъ краткое изложеніе, или же простое приведеніе формулъ, является нерѣдко препятствіемъ сознательному пользованію богатымъ матеріаломъ этихъ справочныхъ книгъ.

Изданіе Научно-Технической Энциклопедіи преслѣдуетъ цѣль удовлетворенія, съ одной стороны, назрѣвшей потребности въ краткихъ научныхъ трудахъ и, съ другой, пополненія нашей технической литературы.

А. Р.

ПРЕДИСЛОВІЕ АВТОРА.

Эта книга содержит изложеніе главныхъ принциповъ Термодинамики. Мы изложили ихъ въ такомъ порядкѣ, который намъ казался наиболѣе рациональнымъ и удобнымъ для запоминанія, такъ какъ недостаточно понять теоремы, но нужно удержать формулы въ памяти для того, чтобы умѣть пользоваться ими на практикѣ.

Этотъ томъ является введеніемъ въ изученіе вообще термическихъ машинъ, а также тепловой и экспериментальной теоріи паровыхъ машинъ, которыя мы напечатаемъ впоследствии, сохраняя то же обозначеніе и ту же нумерацію уравненій.

Первое изданіе, появившееся въ 1892 году, разошлось, и намъ было предложено перепечатать эту книгу; мы воспользовались этимъ случаемъ, для исправленія типографскихъ и другихъ ошибокъ, а также и для того, чтобы нашъ трудъ не отставалъ отъ прогресса науки.

ОБОЗНАЧЕНІЯ.

- T—работа, выраженная въ килограммометрахъ;
 Q—теплота, выраженная въ калоріяхъ;
 J—механическій эквивалентъ теплоты;
 A—калорическій эквивалентъ работы;
 U—внутренняя теплота;
 p—давленіе въ килограммахъ на кв. метръ;
 v—объемъ килограмма въ куб. метрахъ;
 t—температура по стоградусной шкалѣ;
 T—абсолютная температура;
 l—скрытая теплота расширенія при постоянномъ давленіи;
 h—скрытая теплота расширенія при постоянномъ объемѣ, или при увеличеніи давленія;
 C—удѣльная теплота при постоянномъ давленіи.
 C'—удѣльная теплота при постоянномъ объемѣ;
 S—энтропія;
 R= $p_0 v_0 \alpha$ —постоянный коэффициентъ газовъ;
 γ —отношеніе теплоемкости при постоянномъ давленіи къ теплоемкости при постоянномъ объемѣ;
 λ —вся теплота нагрѣванія и испаренія жидкостей;
 r—скрытая теплота испаренія;
 ε —удѣльный объемъ жидкости;
 v—удѣльный объемъ насыщеннаго пара;
 u—приращеніе удѣльнаго объема насыщеннаго пара по сравненію съ удѣльнымъ объемомъ жидкости;
 m—удѣльная теплота сухого насыщеннаго пара.
 x—пропорція пара заключается въ смѣси.

$$\varepsilon = \int_0^t \frac{dQ}{T}; \quad dQ \text{—безконечно малое количество теп-}$$

лоты жидкости;

w—скорость истеченія;

ρ —коэффициентъ полезнаго дѣйствія цикла.

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

Принципъ Майера.

1. Эквивалентъ теплоты и работы; формулировка принципа.— Термодинамика всецѣло основана на опытѣ; она не зависитъ отъ какой бы то ни было гипотезы о сущности теплоты; ея неоспоримымъ основаніемъ служатъ два принципа, Майера и Карно, которые были выведены этими учеными изъ наблюдений и справедливость которыхъ была установлена опытнымъ путемъ.

Первый принципъ можетъ быть формулированъ слѣдующимъ образомъ: *Каждый разъ, когда тѣло совершаетъ или поглощаетъ работу, исчезаетъ или появляется теплота; и существуетъ единственное и постоянное соотношеніе между взаимно зависящими количествами работы и теплоты.*

2. Опытное доказательство; данныя задачи.— Для доказательства справедливости этого принципа, необходимо предварительно установить фактъ преобразованія работы въ теплоту и теплоты въ работу; затѣмъ необходимо показать неизмѣнность отношенія между расходуемой работой и получаемой теплотой, каковъ бы ни былъ принятый способъ преобразованія и каково бы ни было употребленное для этого вещество. Это отношеніе называется *механическимъ эквивалентомъ теплоты*, или же *калорическимъ эквивалентомъ работы* въ зависимости отъ порядка слѣдованія явленій; его конкретная величина очевидно зависитъ отъ принятыхъ единицъ мѣръ работы и теплоты.

Многочисленны и разнообразны опыты, устанавли-

вающіе абсолютный фактъ превращенія работы въ теплоту и вѣтъ надобности быть физикомъ, для того, чтобы сумѣть доказать это; школьникъ трущій для нагрѣванія мѣдную палку о столъ вполнѣ это обнаруживаетъ.

Во время первыхъ мѣсяцевъ своего обученія слесарь замѣчаетъ, что работа молота, напильника и сверла возвышаетъ температуру металла; арсенальные рабочіе, съ давнихъ поръ, обратили вниманіе на появленіе теплоты при сверленіи бронзовыхъ пушекъ и графъ Румкорфъ задумалъ сравнить выдѣляемую при этомъ теплоту съ расходуемой работой. Трѣніе есть источникъ теплоты; оси экипажей, пазы ползуна накаляются, если трущіяся поверхности не смазываются жирнымъ тѣломъ. Артиллеристамъ достоверно извѣстно, что огнестрѣльные орудія больше нагрѣваются при стрѣльбѣ въ холостую, чѣмъ ядрами. Ученые оспаривали объясненіе этого факта, но орудійная прислуга не читала диссертаций генерала Saint-Robert'a и объяснила это тѣмъ, что переносъ бомбы требуетъ затраты тепла. Это явленіе, по всей вѣроятности, породило у Seguin'a мысль объ исчезновеніи теплоты въ цилиндрѣ паровой машины при каждомъ ходѣ поршня. Однимъ словомъ, вполнѣ достоверно, что расходъ работы сопровождается появленіемъ теплоты и что можно получить работу, затрачивая теплоту.

Но отсюда еще далеко до заключенія строгой пропорціональности работы и теплоты и, несмотря на замѣченные факты, нужно было дожидаться врача изъ Neilbronn'a, Роберта Майера, формулировавшаго въ 1842 году теорему полной эквивалентности. Его доказательства были бы гораздо полнѣе, если бы этотъ врачъ былъ бы такимъ же искуснымъ физикомъ, какимъ онъ проявилъ себя глубокимъ философомъ; но недостатка въ сотrudникахъ не ощущалось и одинъ изъ нихъ даже раздѣляетъ съ нимъ славу открытія принципа, который поэтому называется „принципомъ Мейера и Джоуля“.

Для доказательства эквивалентности, т. е. существованія единственнаго и постояннаго отношенія между производимой работой и исчезающей теплотой, необходимы многочисленные опыты; больше того, эти опыты должны быть просты, должны имѣть дѣло лишь съ сравниваемыми элементами и должны требовать самаго незначительнаго числа поправокъ; такова программа Гирна.—Съ другой стороны, необходимо измѣрять всю расходуемую теплоту и всю полученную работу; это кажется очевиднымъ, но тѣмъ не менѣе этого не дѣлали, такъ какъ въ большинствѣ случаевъ это не осуществимо, какъ показываетъ слѣдующій примѣръ.

Нагрѣемъ тѣло; затраченная теплота производитъ тройное дѣйствіе. Она вызываетъ, во-первыхъ, повышение температуры, измѣряемое термометромъ; во-вторыхъ, производитъ расширение тѣла, т. е. измѣненіе положенія его молекулъ, что обходится нѣкоторымъ не подающимся измѣренію количествомъ работы, работы на взаимное удаленіе молекулъ, называемой *внутренней работой*; наконецъ, фактъ расширения требуетъ расхода теплоты на *внѣшнюю работу* для преодоленія давленія сосѣднихъ тѣлъ и окружающей атмосферы. Въ суммѣ, опредѣленное количество теплоты производитъ внутреннюю и внѣшнюю работы; и если не принять въ расчетъ первую, то опредѣленный эквивалентъ будетъ не вѣренъ.

Возможно ли изъ какого-нибудь опыта опредѣлить внутреннюю работу? Это никогда не удастся.

Но тогда, возможно ли, по крайней мѣрѣ, ее изъять? И подавно невозможно.

Что же остается сдѣлать? Остается лишь одинъ путь исключенія ея изъ расчета.

Для этого ограничиваютъ операціи двумя опредѣленными состояніями употребленнаго для опыта тѣла, и переходятъ отъ одного къ другому различными путями, измѣряя каждый разъ произведенную внѣшнюю работу.

Количества тепла, затраченныя на измѣненіе тем-

пературы, будутъ одинаковы; внутреннія работы въ свою очередь одинаковы; разность израсходованныхъ количествъ тепла въ обоихъ процессахъ будетъ, слѣдовательно, эквивалентомъ разности совершенныхъ внѣшнихъ работъ. Таковъ принятый пріемъ.

Мы сказали, что, между двумя тождественными состояніями тѣла, внутреннія работы одинаковы: это равносильно заявленію, что внутренняя работа зависитъ лишь отъ начальнаго и конечнаго состоянія тѣла и совершенно не зависитъ отъ промежуточныхъ. Оно, вѣроятно, такъ, но это не вполне очевидно; тѣмъ не менѣе примемъ это.

Зная всю теплоту Q , произведенную работой T , или же всю работу T , полученную отъ превращенія теплоты Q , мы съумѣемъ написать:

$$(1) \quad \begin{cases} \frac{T}{Q} = J \text{ и } T = JQ \\ \frac{Q}{T} = A \text{ и } Q = AT \end{cases}$$

Очевидно, что оба соотношенія обратны другъ другу и мы имѣемъ

$$J = \frac{1}{A}.$$

Опыты, которые должны доказать неизмѣнность отношенія и опредѣлить его величину бывають, слѣдовательно, двухъ родовъ: въ однихъ работа порождаетъ теплоту, въ другихъ исчезаетъ теплота и получается работа; первые даютъ J , механической эквивалентъ теплоты и вторые A , калорическій эквивалентъ работы.

Мы опишемъ лишь по одному опыту изъ каждой группы и дадимъ въ синоптической таблицѣ полученные результаты.

3. Превращеніе работы въ теплоту. Опытъ Джоуля.—По времени это первый опытъ (сдѣланъ въ 1847 г.) и тѣмъ не менѣе лучший по своей идейности и выплнмости.

Знаменитый англичанинъ мѣшалъ воду въ калориметрѣ при посредствѣ вала съ лопатками; этотъ валъ имѣлъ воротъ, на который въ противоположномъ направленіи были навиты двѣ веревки, послѣдовательно опиравшіяся на блоки; къ ихъ концамъ были привѣшаны гири Р; падая они приводили валъ во вращеніе. Лопатки приводятъ воду въ движеніе, она ударяется о неподвижно закрѣпленные къ стѣнкамъ сосуда щиты и о стѣнки калориметра и нагрѣвается треніемъ о лопасти, о стѣнки и треніемъ молекулъ между собой. Нужно измѣрить полученную теплоту и затраченную работу.

Если полный вѣсъ воды и калориметра М а температура возвысилась съ t_0 до t_1 градусовъ, то полученная теплота будетъ

$$M(t_1 - t_0).$$

Но необходимо принять въ расчетъ потери лучеиспусканія и теплопроводности. Въ опытахъ Джоуля измѣненіе температуры ($t_1 - t_0$) не превосходило сотой доли градуса; при этомъ условіи потери достигали въ крайнемъ случаѣ $\frac{1}{50}$ развитой теплоты и, такъ какъ эту потерю можно вычислить съ точностью до десятой, то возможна лишь ошибка $\frac{1}{500}$. Опредѣленіе вѣса М значительно деликатнѣе, но совершаемая ошибка меньше $\frac{2}{500}$; въ общемъ получается неточность $\frac{3}{500}$ на калорію.

Измѣненіе работы менѣе точно.

Двѣ гири Р падаютъ съ высоты Н; они развиваютъ, слѣдовательно, работу $2PH$. Но не вся работа утилизируется водой, такъ какъ нужно изъ нея вычесть: 1° работу, поглощаемую пассивнымъ сопротивленіемъ аппарата; 2° потерю живой силы движущихся гирь въ моментъ остановки; 3° работу сопротивленія воздуха. Первая работа наиболѣе значительная и ее труднѣе опредѣлить; Джоуль измѣрялъ ее въ отдѣль-

номъ опытѣ, безъ воды; навиваніе веревокъ было тогда измѣнено такимъ образомъ, что одна изъ гирь опускалась во время подъема другой и онъ старался опредѣлить добавочную массу π , которая сообщила бы системѣ скорость вращенія, равную таковой при полномъ опытѣ.

Этотъ вѣсъ π нужно было вычесть изъ P ; онъ не превосходилъ $\frac{7}{1000} P$, но, такъ какъ часть этой работы нагрѣвала цапфы и этимъ производила нагрѣваніе воды въ калориметрѣ, то Джоуль уменьшилъ величину этого поправочнаго выраженія до $\frac{6,6}{1000} P$. Въ этомъ онъ поступалъ апріори и здѣсь его расчетъ можетъ быть оспариваемъ, однако, совершаемая ошибка не можетъ быть, во всякомъ случаѣ, значительной.

Вторая поправка происходила отъ покоя грузовъ P вначалѣ опыта и отъ того, что они, достигая конца полета, имѣли скорость w , которую нужно было измѣрить, ибо отъ этого получалась потеря живой силы $\frac{Pw^2}{2g}$ для каждой гири и $\frac{Pw^2}{g}$ для обѣихъ. Скорость w не превышала 25 мт. въ секунду и поправка была, слѣдовательно, ничтожна.

Что же касается сопротивленія воздуха, то имъ можно совершенно пренебречь.

Джоуль производитъ опыты серіями числомъ 30 въ теченіе, приблизительно, 35 минутъ и сдѣлалъ значительное число опытовъ, которые позволили ему установить для J величину 424,9, килограмметръ и калорія приняты за единицы работы и теплоты.

Тѣ же опыты были повторены съ ртутью; теплоемкость этой жидкости меньше теплоемкости воды, измѣненіе $t_1 - t_0$ больше и достигаетъ 8 градусовъ; тепловыя поправки становятся болѣе важными. Найдено было, что $J=425$ и $426,3$, т. е. въ среднемъ 425,65.

Наконецъ, Джоуль видоизмѣнилъ свой аппаратъ. Онъ производилъ треніе между двумя коническими