

K450.4

2

師範物象

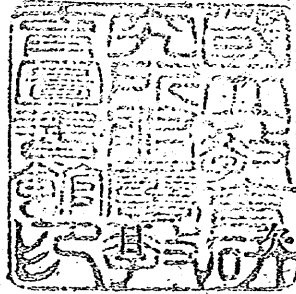
本科用

二

(第一編)

文 部 省

文部省圖書為刊行認贈



第一章 熱

第一節	熱量ノ測定	1
第二節	熱機關	16
第二章 光		
第一節	光學器械	39
第二節	光波	54
第三節	光ト物質	68
第三章 電磁氣		
第一節	電子ノ運動	92
第二節	電解質	105
第三節	電氣回路	113
第四節	電氣振動	128
第五節	交流	137



第一節 熱量ノ測定

一. 温度ト熱

我々ハ外氣ニ接シ或ハ物體ニ觸レテ冷温ヲ感ズルガ、コノ感覺ハソノ時ノ條件ニヨツテ甚ダシク異ナツタ判斷ヲ與ヘルコトガアルカラ、コノ冷温ニ相當スル物體ノ熱的状態ノ程度、即チ「温度」ヲ示スタメニハ直接ニ感覺ニ賴ルコトハ適當デナイトガワカル。從ツテ温度ヲ表ハスタメニハ、物體自身ノ示ス熱的效果、例ヘバ膨脹、軟化、沸騰、凝固等ヲ利用シ、或ハ熱電氣ノ強弱、電氣傳導度ノ變化、熱輻射ノ性質ナドヲ用ヒ、ソレラノ現象ト共ニ變化スル或ル量ニヨツテ示スノデアル。即チ「温度計」トハ、カヤウナ目的デ作ツタ裝置ニ適當ナ目盛ヲ附シタモノトイフコトガデキル。温度計トシテ最モ普通ニ用ヒラレルモノハ液體ノ膨脹ヲ利用シタ液體温度計デアル。コノ液體温度計ニアツテハ通常0度（氷點）ト100度（蒸氣點）トヲ定メ、ソノ間ヲ百分シテ目盛リシテアルケレドモ、液體ノ膨脹ノ割合ハ物質ニヨツテ異ナルバカリデナク、温度ニヨツテモ異ナツテキル。例ヘバ水銀温度計ト、アルコール温度計トニ於イテハ、ソレラノ0度ト100度トヲ一致サセテオイテモ、前者ガ50度ヲ示ス温度ニ於イテ後者ハ50.7度ニ相當スル目盛ヲ指ストイフコトガ知ラレテキル。

液體ノ代リニ氣體ヲ用ヒルト多少事情ガ異ナツテ來ル。即チ氣體ハソノ壓力ヲ一定ニ保ツナラバ、ソノ膨脹ノ割合ハイヅレノ氣體ニ

アツテモ殆ど一致シ、100度ノ時ニハ0度ノ體積ノ略、 $\frac{100}{273.15}$ ヲ増加スル。シカモ0度ト100度ノ間ヲ百等分シテ目盛ルナラバ、イヅレノ氣體モ一定ノ溫度ニツイテハ殆ど一致シタ讀ミヲ與ヘル。カヤウナ溫度計ヲ「定壓氣體溫度計」ト云フ。

更ニマタ氣體ノ體積ヲ一定ニ保チ、0度ノ時ト100度ノ時トニ相當スル壓力差ヲ百等分シテ目盛リシテ「定容氣體溫度計」モ、氣體ノ種類ニ無關係ニイヅレモ一致シタ讀ミヲ與ヘ、シカモコノ時ノ壓力ノ増加率ハ膨脹率ト殆ど一致スルコトガ知ラレテキル。

シカシ精密ニイフナラバ、實在ノ諸氣體ハソノ種類ニヨリ、マタ溫度ノ凡ユル範圍ヲ對シテ、正シク一定ノ熱膨脹率ヲモツテキルノデハナク、ソレハ僅カデハアルガ互ニ多少ノ差違ヲ示スモノデアアル。ソコデ實在氣體ノ性質ヲ理想化シ、後ニ述ベル「理想氣體」ヲ考ヘルナラバ、溫度ノ目盛ハ特定ノ物質ニハ無關係ニ定メラレルコトニナル。即チ1度ハ理想氣體ニ基ヅク目盛デ、氷點ト蒸氣點ノ間ノ百分ノ一ニ相當スル溫度差トシテ定義サレル。コレヲ「標準溫度目盛」ト稱スル。實際ニハ實在ノ氣體溫度計ヲ用ヒルガ、コノ場合ニハソノ値ニ補正ヲ加ヘテ理想氣體ノ目盛ニ引キ直スコトガデキル。

理想氣體ニ基ヅク溫度目盛ハ單ニ特定ノ物質ニヨラナイトイフバカリデナク、後ニ述ベル「熱力學ノ第二法則」カラ見テモ妥當ナモノデアリ、所謂「溫度ノ熱力學的目盛」ト一致スルノデ、今日最モ適當ナルモノトシテ用ヒラレテキル。ソジテ標準溫度目盛ニ於テハ、 -273.15 度ハ溫度ノ最低極限ト見做サレルノデ、コレヲ溫度ノ規準點トシタモノヲ「絕對溫度目盛」ト云ツテキル。コレヲ用ヒレバ0度ハ 273.15 度(絕對)デアリ、100度ハ 373.15 度(絕對)トナル。

實際ニハ氣體溫度計ノ使用ハ不便デアルノデ、目的ニ應ジテ液體

溫度計、抵抗溫度計、熱電溫度計、光高溫計、全輻射高溫計等ヲ用ヒルガ、ソレヲノ目盛ハ上述ノ標準溫度目盛ヲ基準トシテ適當ニ刻ンテアル。

問 液體溫度計ヲ使用スル際ニ必要ナ心得ヲ擧ゲテミヨ。

研究(一) 抵抗溫度計、熱電溫度計、光高溫計、全輻射高溫計ヲ、デキルナラバ實物ニツイテ考察シ、ソノ原理ヲ研究セヨ。

研究(二) 理想氣體ニツイテハ「氣體ノ法則」ガ成立スル。即チ、ソノ1瓦分子ノ體積ヲ V 、壓力ヲ p 、絕對溫度ヲ T トスレバ

$$pV = RT$$

ナル關係ガ成立スルガ、コノ「氣體定數」 R ノ値ヲ計算セヨ。

サテ一般ニ溫度ノ異ナルニツノ物體甲乙ヲ熱的ニ相接シテオキ、外界トハ熱的ニ全ク遮斷シテオイタト假定スルト、溫度ノ高イ物體甲ハ次第ニ冷エ、溫度ノ低イ方ノ物體乙ハ次第ニ熱セラレテ行クデアラウガ、十分長イ時間ノ後ニハ甲乙ノイヅレニ於イテモ、カヤウナ變化ハ認メラレナクナルデアラウ。コノ状態ヲ甲乙ガ「熱平衡」ノ状態ニアルト稱スル。即チ或ル物體ノ溫度トハソノ物體ト熱平衡ニアル溫度計ノ示目盛ヲ云フノデアアル。

コノ際、甲乙二物體ガ熱平衡ニ達スルマデノ間ニ生ズル現象ヲ説明スルタメニ、甲カラ乙ヘ「熱」ガ流レ込ダト考ヘル。即チ甲乙ノ質量ヲ夫々 m_1, m_2 、最初ノ溫度ヲ t_1, t_2 、熱平衡ニ達シタ時ノ溫度ヲ t トスルナラバ、必ズ

$$m_1 c_1 (t_1 - t) = m_2 c_2 (t - t_2) = Q \quad (1)$$

ナル關係ガ成立スルコトガワカル。コノ時ノ Q ノ値ヲ甲カラ乙ヘ流

レ込シテ「熱量」ト云ヒ、 C_1, C_2 ハ甲乙夫々ノ物質ニヨツテ定マル定數デ「比熱」ト稱スル。

熱量ノ單位トシテハ、標準氣壓下ニ於テ水1瓦ノ溫度ヲ14.5度カラ15.5度マデヲ高メルニ要スル熱量ヲトリ、コレヲ1「カロリー」ト呼ブ。從ツテ比熱ノ單位ハ「カロリー/瓦・度」トシテ表ハサレ、水ノ比熱ノ値ハコノ溫度ノ範圍デ1「カロリー/瓦・度」トナル。

研究(三) 水熱量計中ニ或ル分量ノ水ヲ入レテソノ溫度ヲ測リ、更ニ之ニ質量及ビ溫度ノ知レタ温湯ヲ加ヘ、ヨクカキ混ぜナガラ、ソノ溫度ノ變化スル様子ヲシラベヨ。

研究(四) 熱量計中ノ水ノ中ニ電熱線ヲ裝置シ、ソノ電流及ビ電壓ヲ測ツテ、電熱線ニ與ヘタ電力ト水ノ溫度上昇トノ關係ヲ調べテミヨ。

問 仕事率1ワットハ毎秒何カロリーノ熱量ニ相當スルカ。

以上述べタ熱ト仕事トノ關係及ビ(1)式トエネルギー保存ノ法則トノ間ノ關聯ニツイテハ第四項ニ述ベル。

二. 實質ノ變化ト反應熱

物ヲ燃ヤセバ光ト熱トガ得ラレルトイフコトハ、人類ガ物質ヲ實質的ニ變化サセテコレヲ生活ニ利用シタ最初ノモノデアラウ。即チ燃燒ニ於ケル熱ノ發生ハ日常極メテ普通ニ經驗スルコロデアルガ、一般ニ實質ノ變化ニハ發熱又ハ吸熱現象ガ伴ハレルモノデアル。コレヲ發熱及ビ吸熱ヲ含メテ一般ニ「反應熱」ト呼ブガ、例ヘバ燃燒ノ際、酸ト鹽基トノ中和ノ際、溶質ヲ溶媒ニ溶カス際、濃イ溶液ヲウスメル際、マタ燃燒ヲモ含メタ意味ノ化合物ノ際等ニ發生又ハ吸收サレル熱ハ何レモ反應熱ノ一種デアル。

問 吸熱反應ノ例ヲ擧ゲテミヨ。

反應熱ノ大キサトハ、反應ノ進行ガ終ツテ平衡状態ニ達シ、元ノ溫度ニ戻ルトキ、生成物質1瓦分子ニツイテ發生又ハ吸收サレル熱量ヲ云フ。反應速度が大キイ場合ニ發熱量が大キイコトハ我々ノ屢ニ經驗スルコトデアルガ、反應熱ノ大小・正負ガ必ズシモ反應ノ進行方向ヲ決定スルモノデハナイ。

例ヘバ室温ニ於テ塩化水素 HCl トアンモニヤ NH_3 トヲ各、1瓦分子ヅツ作用サセルト塩化アンモニウム NH_4Cl 1瓦分子ヲ生ズルガ、コノ際ノ發熱量ハ42.1キロカロリーニデアル。コレヲ200度乃至300度ニ於テ作用サセテモヤハリ發熱反應ヲ示スガ、實質變化ハ途中テ停止シ、一部分ガ塩化アンモニウムニナルノミデ残りハ塩化水素トアンモニヤノママ溫度ニ應ジテ相互一定ノ割合デ混シテ熱的平衡ニナル。マタ別ニ純粹ナ塩化アンモニウムヲトツテコレヲ同ジ溫度ニ熱スルナラバ、逆ニソノ一部分ハ分解シテ塩化水素トアンモニヤトニナツテ平衡ニ達スルコトガ知ラレテキルガ、コノトキノ分解ハ吸熱反應デアル。

以上ノ例ニヨツテモ知ラレル如ク、反應ハイヅレノ側カラ出發シテモ、ソノ溫度ニ相當スル平衡状態ニ向ツテ進行スルモノデアリ、ソノ際ノ反應速度ハソノ時ノ状態ト平衡状態トノ差ニヨツテ定マルモノデアル。

コノコトハ丁度液體ガ蒸發シ又ハ熱氣ガ凝結スル際、蒸發ノ速度ハ蒸氣ノ分壓ト飽和蒸氣壓トノ差ニヨツテ定マリ、蒸發熱ノ大小ニハ無關係デアルノト同様デアル。

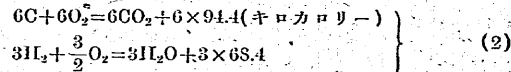
反應速度ハソノトキノ溫度ニヨツテモ左右サレ、一般ニ溫度ノ上昇ト共ニ速度ノ増大スルモノガ多イ。從ツテ低温ニ於テ安定ナ物質モ高温ニ於テハ度、不安定トナリ、進行シ始メタ反應ガ發熱的デアルナラバ、反應ノ進行ト共ニ溫度ガ上昇シ加速的ニ反應ガ促進サレルコトガアル。即チコレガ物質ノ一部分ガ發火溫度ニ達シタ際ニ發生スル燃燒・爆發等ノ現象デアル。

三. 總熱量不變ノ法則

カクノ如キ質變化ノ際ノ反應熱ノ大キサハ、反應ノ前後ニ於ケル状態ニヨツテメ定マリ、ソレガ經過スル道筋ニハ無關係デアルコトハ數多クノ實驗カラ確カメラレテキル。コノコトヲ「總熱量不變ノ法則」ト呼ブ。コノ法則ヲ用ヒルナラバ、直接ニ實驗ヲ行ナツテハ測ルコトノデキナイ反應熱ヲモ算出シ得ル。

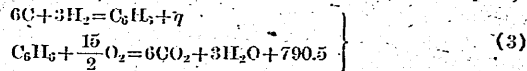
例ヘバ ベンゾール C_6H_6 、ハ炭素ト水素トヲ直接ニ作用サセクノデハ得ラレナイカラ、ソノ生成熱ヲ直接ニ測ルコトハデキナイ。シカン炭素、水素、ベンゾールヲ燃ヤストキノ發熱量ハ實驗シ得ルカラ、次ニ二通りノ變化ヲ考ヘテ間接ニコノ生成熱ヲ求メルコトガデキル。

第一ノ變化ハ6瓦原子ノ炭素ト3瓦分子ノ水素トヲ燃ヤシテ6瓦分子ノ炭酸ガスト3瓦分子ノ水トニスルコトデアル。(一般ニ發熱量ハ反應方程式ノ右側ニ正號ヲ以テ書き加ヘ、吸熱ノ場合ニハ負號ヲ附スル。)



從ツテ兩反應ニヨル全發熱量ハ 771.6 キロカロリートナル。

第二ノ變化ハ6瓦原子ノ炭素ト3瓦分子ノ水素トヲ化合サセテ1瓦分子ノベンゾールヲ作り、次ニコレヲ燃ヤシテ6瓦分子ノ炭酸ガスト3瓦分子ノ水トニスルコトデアル。即チ



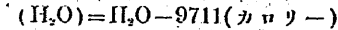
コレラ二種ノ變化ニ於ケル兩反應ノ總發熱量ハ不變デアルトスル

$$771.6 = q + 790.5$$

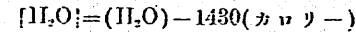
即チ $q = -18.9$ (キロカロリー) トナリ、6瓦原子ノ炭素ト3瓦分子ノ水素トカラ1瓦分子ノベンゾールヲ生ズルトキ 18.9 キロカロリーノ熱ヲ吸收スルコトガ推定デキル。

カヤウナ反應方程式ヲ特ニ「熱反應方程式」トモイフ。但シコノ

式ニ於イテハ物質ノ記號ニヨツテ同時ニソノ物質ノ状態ヲモ示ス必要ガアル。ソノタメニ固體ニハ [s]、液體ニハ () ナル記號ヲ用ヒ、氣體ハソノママトスル。例ヘバ



ノ液體ノ水1瓦分子ガ水蒸氣ナルトキ 9711カロリーノ熱量ヲ吸收スルコトヲ示シ、



ハ固體ノ水1瓦分子ガ液體ノ水ニナルトキ 1430カロリーノ熱量ヲ吸收スルコトヲ示シテキル。

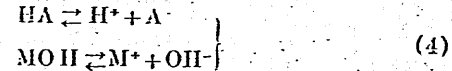
問 水 1g ガ水蒸氣ニナルトキト氷 1g ガ水ニナル時トニ吸收スル熱量ヲ上式カラ導ケ。

四. 酸ト鹽基トノ中和熱

問 酸ト鹽基トノ中和トハ如何ナル變化ヲ云フカ。

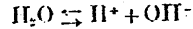
問 純水中ニハドノヤウナイオンガ存在スルカ。又ソレラノイオンハ如何ナル平衡ヲ保ツテキルカ。

反應熱ノ一例トシテ酸ト鹽基トノ中和熱ヲ考ヘル。酸ヲ HA、鹽基ヲ MOH トシテ表ハセバ 水溶液中ニ於イテ夫々次ノ平衡ガ成立スル。

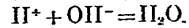


茲ニ A⁻ ハ任意ノ陰イオン、M⁺ ハ任意ノ陽イオンヲ示ス。強酸及ビ強鹽基ノ稀薄溶液デハ、ソレラノ殆ド全部ガイオンニ解離シテキルモノト考ヘテヨイ。

一方、水ニツイテハ、



ナル平衡が成立スルガ、コノ平衡定数ハ小サイノデ(常温デ 1×10^{-14} ノ程度)、 H^+ ト OH^- トガ同時ニ多量ニ存在スルコトハデキナイ、從ツテ強酸ト強鹽基トノ水溶液ノ當量ヅツラ混ゼ合セタトキ、 H^+ ト OH^- トハソノママ存在ヲ續ケルコトガデキズ、不解離ノ水ヲ生ズルコトニナル。コレガ即チ「中和」デアリ、コノ變化ハ一般ニ次ノ式ヲ表ハシ得ル。



コノ場合ニモ反應熱ノ大キサハ酸ヤ鹽基ノ種類ニハ殆ド無關係デアアル。シカシ弱酸マタハ弱鹽基デハソノヤウナコトハ言ヘナイ。

問 加水解離トハ如何ナル變化ヲ云フノカ。

【實驗第一】 中和熱ノ測定

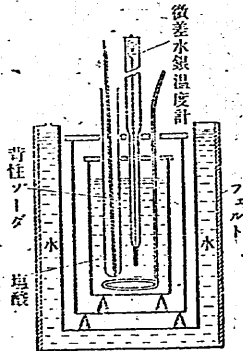
目的 實質變化ニ伴フ反應熱測定ノ一例トシテ鹽酸ト苛性ソーダトノ中和熱ヲ求メル。

準備 水熱量計、微差水銀溫度計、金屬ピーカー、試験管、ガラス棒。

金屬ピーカーニ約 0.1 規定ノ鹽酸 500 立方種ヲ入レ、コノ中ニ浸シタ太イ試験管ニ苛性ソーダノ約 1 規定溶液 40 立方種ヲ入レテオク。

兩溶液ノ濃度ハ豫メ滴定ニヨツテ定メ、鹽酸ハ苛性ソーダヲ中和スルヨリモ過量ニスル。

方法 規定ノ苛性ソーダ v 立方種ヲ用ヒテ實驗シタトキ Q (カ



第一圖 水熱量計

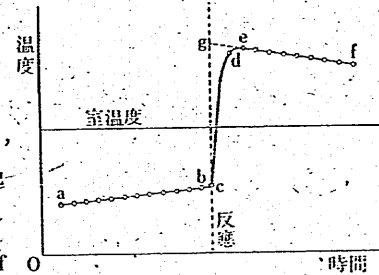
ロリー)ノ發熱ガアツタトスレバ、1瓦分子ノ苛性ソーダガ1瓦分子ノ鹽酸ト中和スルトキニ發生スル熱量ハ $\frac{1000Q}{nv}$ (カリリー)トシテ求メラレル。但シコノ Q ハ、熱量計全體ノ熱容量ヲ K 、反應ノ際ノ溫度上昇ヲ $\Delta\theta$ トスレバ、 $Q = K\Delta\theta$ トシテ計算サレル。

操作(イ) 溶液ノ溫度ヲ室温ヨリ1度ホド低クシ、カキ廻シナガラ 30 秒毎ニ微差水銀溫度計ノ讀ミヲトル。

(ロ) 5 分乃至 10 分後試験管ノ底ヲツキ破リ、試験管ヲ二度上下シテ更ニカキ廻シ、5 分乃至 10 分間ノ溫度計ノ讀ミヲトル。

(ハ) 第二圖ニ示スヤウニ微差水銀溫度計ノ讀ミヲ方眼紙ニ記入スル。

コノ圖ニ於ケル a カ Δ ラ b マデハ反應ガ起キルマデノ觀測値デアリ、 c ナル瞬間ニ反應ガ起キテ溫度ハ急ニ上昇シ d トナル。コノ cd ヲツナグ線ヲ延長シテ



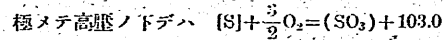
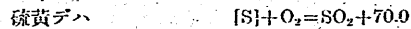
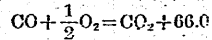
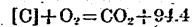
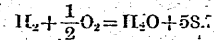
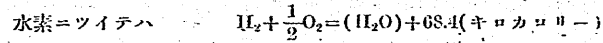
フツナグ線ヲ延長シテ e ニ於ケル縱線ト g ニ於テ交ハラセ、 cg ノ長サヲ以テ反應ノタメノ熱量計ノ溫度上昇 $\Delta\theta$ ノ讀ミトスル。

五. 燃料

研究(五) 日常生活ニ用ヒラレル諸種ノ燃料ヲ分類シ、ソノ用途及ビ發熱量ヲ調査セヨ。

燃料ノ發熱量モマタ燃焼ノ行ハレル條件ニヨツテ異ナルガ、固體及液體燃料デハ通常ソノ1疋ヲトリ、氣體燃料デハ標準状態ニ於ケル1立方メートルヲツテ燃焼サセ、燃焼生成物ヲ0度マデ冷却サセタトキニ發生シタ熱量ヲキロカロリニテ表ハスコトニスル。(燃料ノ發熱量ハ實際ニ用ヒル場合ニハ極度ニ精度ノ高イ必要ハナイノデ、ソノ測定ノ際ノ温度ノ差、又ハ定壓反應力定容反應カラ區別スル必要ノナイ場合ガ多イ。)

液體燃料ノ主成分ハ水素及ビ炭素デアリ、ソノ他ニ不純物トシテ硫黄ガ含マレルガ、コノ硫黄ガ發熱ニ役立つコトガアル。



トナル。コレヲノ諸種ノ化合物ノ燃焼ニ際シテノ發熱量ハ(嚴密ニハ分解ニ際シテノ反應熱ヲ考慮ニ入レルベキデアアルガ、ソレヲ無視スルナラバ)上式ノ組合セニヨツテ概算スルコトガデキル。

研究(六)ノ上ニ與ヘタ水素、炭素、硫黄ノ燃焼熱ヲ夫々1疋ニ關スルモノニ換算シ、夫等ノ化合物1疋ノ燃焼熱ヲ計算スル公式ヲ導キ出セ。

氣體燃料ヲ空氣又ハ酸素ト混合シ筒ノ中ニ密閉シテ點火スルナラ

バソノ燃焼ハ極メテ急速ニ行ハレルガ、コレヲ詳細ニ觀察スルト、カナリ複雑ナ經過ヲタドルコトガ知ラレル。即チ點火直後火焰ハ比較的遅イ一定ノ速サ、即チ毎秒數米乃至數十米ノ速サヲ以テ進行シ、次ニ火焰ハ進行ノ方向ニ或ハ進ミ或ハ退クナドノ振動状態ヲ示シ、最後ニソノ傳播速度ヲ急激ニ上昇シテ、毎秒數千米ノ程度ニナリ爆發的ニ燃焼ヲ完了スル。コノ最後ノ燃焼ヲ「爆轟」ト稱スル。

内燃機關ニ於イテハ、ソノ効率ヲ高メルクメニ燃料ト空氣トノ混合氣體ヲナルベク強ク壓縮スルコトガ要求ザレル(第二節第九項參照)。シカシコノ壓縮ノ程度ガ大ニナリスギルトソノ燃焼ガ異常ニナリ、一種ノ爆轟ノ如キ現象ヲ呈スルタメ槌音ニ似タ音響ヲ發シ、ソノ結果出力ハ減ジテ運轉不整ニナル。コレヲ「ノック」ト稱スル。從ツテ燃料トシテハ「反ノック性」ノ大キイモノヲ選擇スルコトガ必要トナツテ來ル。

ガソリンノ反ノック性ヲ定メルニハ「オクタン價」ヲ用ヒルガ、コレハ反ノック性ノ極メテ高イイソオクタント反ノック性ノ極メテ低イ正ヘプタントノ種々ノ割合ニ混合シテ標準燃料ヲ作り、コレト試料トガ同一ノノック性ヲ示シタ場合ノ標準燃料中ノイソオクタンノ百分率ヲ云フデアル。

六. 熱ト分子運動

物體ヲ摩擦シ合フト温度ガ上ルコトハ昔カラヨクシラレテキタガ、コレハ物體ヲ構成スル粒子ハ不斷ニ運動シテキテ、更ニソノ運動ガ劇化サレルトニヨルト考ヘルノガ正シイコトガワカリ、ソノ後、結晶ヲ構成スル粒子ヤ氣體ノ分子又ハ原子ナドノ集合状態及ビ運動状態ガ明ラカニナルニツレテ、熱ノ本體ト分子、原子(又ハ電子)ノ運

動エネルギー及位置エネルギーとの間ニ密接な關係ガアルコトガ明ラカニサレタ。即チ加熱スルコトハソノ物體ニエネルギーヲ與ヘルコトト見做サレルコトニナツタ。

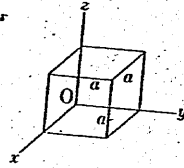
研究(七) 微粉末ヲ水ニ混ジ、顯微鏡下ニ於イテソノ運動ヲ觀察・研究シテミヨ。

一般ニ1瓦分子ノ物體中ニハイツレモ $N=6.06 \times 10^{23}$ 箇ノ分子ガ含まレテキル。コレラノ分子ハ夫々勝手ナ方向ニ種々ノ速度ヲ以テ運動シテキルコトハ、ソノ結果トシテ當然期待サレル現象ト實際トヲ照合スルコトニヨツテ、確實デアアルコトガ認メラレタ。

例ヘバ氣體ガ壁ニ及ボス壓力トイフノハ、多數ノ分子ガ引キ續イテ壁ニ打ちアタツテ撥ネ返サレル時ノ衝撃ニヨル力デアルト考ヘラレル。粒子ノ衝突ニヨル衝撃ガ一樣ナ壓力トシテ減ゼラレルノハ、分子ノ質量ガ極メテ小サク、シカモ多數ガ衝突スルタメデアアル。

簡單ノクメ分子ノ大キサハ無視シ得ル程ニ小サク、分子同志及ビ分子ト壁トノ間ニハ至ク力ガ働カナイトシテ考ヘヨウ。分子ノ質量ヲ m トシ、 x, y, z 軸ニ沿ツテトツター邊ノ長サ a ノ立方體中ニ

$=1$ 瓦分子ノ氣體ヲ封入シタトスル。或ルーツノ分子ノ速度ヲ $c(u, v, w)$ トスルナラバ、 x 軸ニ垂直ナ一方ノ壁ニ向フ運動量ノ x 成分ハ mu デアリ、コレガ衝突ニヨツテ完全彈性球ノ如ク反撥サレテ $-x$ 方向ニ $-u$ ナル速度ヲ戻ルトスレバ、 τ 回ノ



第三圖

衝突ニ於イテ壁ニ與ヘル運動量ハ $2mu$ デアル。コノ分子ハ平均トシテ單位時間ニ同ジ壁ニ對シテ $\frac{u}{2a}$ 回ダケノ衝突ヲスル割合トナルカラ、 $\frac{u}{2a} \times 2mu = \frac{mu^2}{a}$ ガ a^2 ナル面積ノ壁ニ與ヘラレル力デアリ、單位面積ニツイ

テハ $\frac{mu^2}{a^3}$ トナル。種々ノ速度ノ分子ニツイテノ u^2 ノ値ノ總計ヲ $\sum u^2$ ナル記號デ示セバ、ソレラノ分子ニヨル壓力 p ハ

$$p = \frac{m}{a^3} \sum u^2$$

トナル。コノコトハ y, z 方向ニツイテモ同様デアアル。ソコデ立方體ノ體積 a^3 ラ V トオキ、分子ノ總數ヲ N 、密度ヲ ρ トスレバ

$$p = \frac{mN}{V} \cdot \frac{\sum u^2}{N} = \rho \frac{\sum u^2}{N} \quad (5)$$

トナルガ、ココニ $\frac{\sum u^2}{N}$ 即チ各分子ノ速度ノ x 成分ノ二乗ノ平均値ヲ \bar{u}^2 トカケバ $p = \rho \bar{u}^2$ トナル。トコロデ $c^2 = u^2 + v^2 + w^2$, $\bar{c}^2 = \bar{u}^2 + \bar{v}^2 + \bar{w}^2$, マク分子ノ運動ハ至ク x, y, z 軸ニツイテ同様デアアルカラ、 $\bar{u}^2 = \bar{v}^2 = \bar{w}^2$ トナリ $\bar{c}^2 = 3\bar{u}^2$ トスルコトガトデキル。從ツテ

$$p = \frac{1}{3} \rho \bar{c}^2 \quad (6)$$

ナル關係ガ成立スル。

シカルニ氣體ノ法則 $pV = RT$ (R ハ氣體定數、 T ハ絕對溫度) ガ成立シテキルトスレバ、分子1箇ノ平均運動エネルギー $\frac{1}{2} m \bar{c}^2$ ハ上ノ關係カラ

$$\frac{1}{2} m \bar{c}^2 = \frac{1}{2} m \left(\frac{3p}{\rho} \right) = \frac{3}{2} \cdot \frac{pV}{N} = \frac{3}{2} \cdot \frac{RT}{N}$$

從ツテ分子量ヲ M デ表ハセバ、 $M = mN$ デアルカラ

$$\bar{c}^2 = 3 \frac{RT}{M} \quad (7)$$

トナル。

問 攝氏0度ニ於ケル水素分子ノ二乗平均速度ヲ求メヨ。但シ0度、1氣壓ニ於ケル水素ノ密度ヲ $\rho = 8.99 \times 10^{-5} \text{ g/cm}^3$ トスル。

即チ氣體ノ分子ノ平均トシテノ速度ハ絕對溫度ノ平方根ニ比例シテラリ、常溫デハ小銃ノ彈丸ノ速度程度ノ大キサヲモツテキル。シカシ分子同志モ屢、衝突スルモノデアリ、眞直ニ進ミ得ル距離ハ極メテ短イト考ヘラレル。二三ノ氣體ニツイテノ平均ノ速度(正シク

ハ二乗平均速度)ノ値ヲ第一表ニ示シテ。

カヤウニ理想氣體ノ分子ノ運動エネルギーハ絶對溫度ニ比例シテキルカラ、モシ氣體ヲ入レタ容器ノ壁ガ自由ニ動クナラバ、分子ハソレヲ押シテ仕事ヲ行フト共ニ分子ノ速度ハ低下シ、外カラ加熱

第一表

氣 體	M (g)	$m \times 10^{23}$ (g)	\bar{c}^2 (300° 絶對)	$\sqrt{\bar{c}^2}$ (cm/秒)
H ₂	2.016	0.333	3.71×10^{10}	1.93×10^5
O ₂	32	5.28	2.34×10^9	4.84×10^4
N ₂	28	1.62	2.67×10^9	5.17×10^4

スルコトガナケレバ(断熱膨脹)ソノ運動エネルギーヲ減ズルデアラウ。コレハコノ際ニ氣體ガ冷却スルコトニヨツテリカル。カヤウニ仕事ガ外ニ與ヘラレルト共ニ溫度ヲ低下シ、ソノ氣體ノ内部ニ包藏サレテキタエネルギーガ消費サレタト考ヘラレル場合ニ、コノエネルギーヲ内部エネルギート稱スル。理想氣體ノ内部エネルギーハ要スルニ分子ノ運動エネルギーデアル。

實際ノ氣體デハ分子ハ氣體ノ種類ニヨツテ定マツタ或ル大キサヲ持チ、マタ離レテキル分子相互ハ引力ヲ作用サセテキルノデアルガ、ソノ影響ハ小サイ。シカシコノタメニ氣體ノ法則ヨリ多少偏倚シ、マタ断熱噴出(第二節第五項)ノ際ニハ溫度降下ヲ生ズルニ至ル。分子論的ニ云ヘバ、コノ小サイ分子力ヲ無視シタ氣體ヲ「理想氣體」トイフノデアル。

更ニ氣體分子ノ種類ニヨツテハ數億ノ原子カラ成ルモノモアルガ、コノ場合ニハ原子相互ノ回轉エネルギーヲモ考慮シナケレバナラナイ。マタ更ニ分子内ニ於ケル原子ノ振動エネルギーモ問題トナル。從ツテ一般ニハ内部エネルギーニハ分子ノ運動エネルギー

ノ外ニ回轉エネルギー及ビ分子力ニヨル位置エネルギーナドガ含まレテキル。

物質ノ反應熱ハ主トシテ實質變化ノ前後ニ於ケル分子又ハ原子ノ配置ニ結合ノ仕方が變化シタタメニ、分子又ハ原子相互間ノ位置エネルギーニ過剰ヲ生ジタリ又ハ不足シタリスル結果デアル。即チ反應前ノ物質ノモツ内部エネルギート反應後ノ新物質ノモツ内部エネルギートノ差ガソノ際ノ反應熱ノ一部トシテ發生又ハ吸收サレルト考ヘラレテキル。

研究(八) 氣體ノ摩擦・粘性・擴散・熱傳導ナドノ諸現象ヲ分子運動ノ立場カラ考察セヨ。

第二節 熱 機 關

一、熱エネルギーノ利用

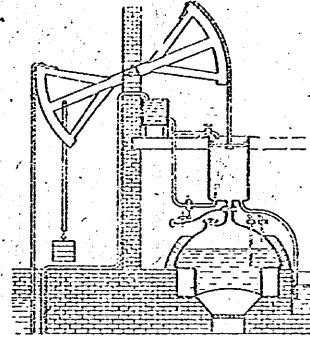
問 熱機關ニハドノヤウナ種類ガアルカ。マクソノ用途ヲ云ヘ。

研究(九) 動物ノ生活機能ト熱機關ノ作業トヲ比較シ、ソノ類似點ヲ舉ゲヨ。

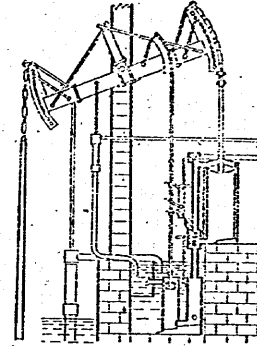
古代カラ人類ハ仕事ヲ行フニ際シテ人力及ビ畜力ヲ用ヒルバカリデナク、自然ノ有ツ エネルギーヲ利用スルコトヲ心得テキタ。即チ風力・水力ナドノ利用ガソレデアル。コレラノ エネルギーノ源泉ハ太陽ノ 輻射エネルギー デアリ、且ツ大氣循環ノ一部ヲ利用シテホルノデ天然ノ熱機關トモ見ラレル。燃料ノ燃焼熱ヲ利用シテ運轉スル人工ノ熱機關ニ於イテモ、ソノ エネルギーノ源泉ハ結局ハ太陽デアル。

太陽ハ時々刻々極メテ莫大ナ エネルギーヲ輻射シツツアルガ、地球ハソノ中ノ僅カノ部分ヲ受ケルニ過ギナイ。實際ノ測定ニヨレバ地球ノ大氣ノ外層ニ於イテハ毎分1平方米ニ對シテ 19.5 キロカロリーノ熱量ガ入射スルコトニナル。コノ値ヲ「太陽定數」ト呼ブガ、實際我々ノ地表面ニ達スルマデニハ(太陽光線ガ通過スル大氣ノ厚サニヨツテ異ナルガ)ソノ約 20%乃至 40%ヲ吸收サレ、ソノ残りガ到達スルトサレテキル。

燃料ヲ燃ヤシテソノ燃焼熱ヲ利用スルコトコロノ熱機關ト稱シ得ルモノハ極メテ古クカラ考ヘラレテハ來タガ、實用ニ供セラレテシカモ十分ニ使用ニ耐ヘルモノノ作り出サレタノハ約二百年前ノ英國ニ於イテデアル。コレハ炭坑ノ排水ノタメニ考案サレタモノデアリ、第四圖ニ示ス如ク氣筒ト ピストン トヲ備ヘ、鎖ニ連結シタモノデアツタ。コノ機關ノ特色ハ水蒸氣ノ膨脹スル行程ヲ積極的ニ利



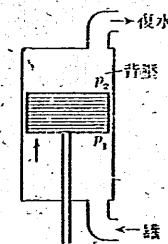
第四圖 大氣壓機關



第五圖 ワットノ單游機關

用スルノデハナク、膨脹シタ蒸氣ニ冷水ヲ注入シ凝結サセテソノ壓力ヲ減少サセ、大氣壓ニヨツテ ピストンヲ押し下ゲサセルトイフ點デアル。コノ意味デ「大氣壓機關」ト稱セラレテキル。

コノ大氣壓機關ニ於イテハ同一ノ シリンダ 内ニ高温ノ蒸氣ト低温ノ水トヲ交互ニ注入スルタメ、冷水ヲ注入シテモ温ミガ残ツテキル結果、十分低温ニハナラズ、マタ蒸氣ヲ注入シタ時ニモ筒壁ガ冷エテキルタメニ一部ガ凝結シテ蒸氣壓ノ低下ヲ來スト云フ點ニ大キ



第六圖 復動シリンダ

ナ缺點ヲモツテアリ、極メテ不經濟ナ機關デアツタ。ワットハコノ點ヲ改良シ、蒸氣ノ凝結裝置ヲ復水器トシテ分離シタ蒸氣機關ヲ作ツタガ、コノ方式ハ今日モ用ヒラレテキルモノデアル。

熱機關ニ於ケル冷却ハ熱ノ浪費ノヤウニ思ヘルガ、コレハ不可避ナ過程デアル。モシ冷却シナケレバ背壓ガ高ク、ピストンハ動作シナイ(第六圖)。例ヘバ飽和水蒸氣ヲ用ヒル機關ニ於イテハ、液體ノ飽

和蒸氣壓が溫度ニヨツテ異ナルコトヲ利用シテキルノデアアルガ、壓力差ヲ得ヨウトスルナラバ溫度差ヲ作ラナケレバナラナイ。從ツテ一方デハ蒸氣壓ヲ得ルタメニ加熱シ、他方デハ凝結サセルタメノ冷却が必要トナルノデアアル。

コレハ水ノ状態ヲ循環的ニ變化サセヨウトスルタメデアアルガ、一般的ニ云ツテ有限ナ装置ニヨツテ引續キ仕事ヲサセルタメニハ原理的ニコノ蒸氣機關ニ於ケル水ニ相當スル如キ物質、即チ何等カノ「作業物質」ヲ用ヒ、ソノ状態ヲ循環的ニ變化サセルコトガ是非トモ必要デアアル。コノ操作ヲ「循環過程」又ハ單ニ「サイクル」ト稱スル。

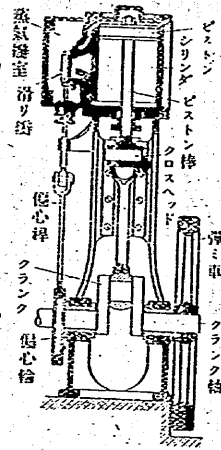
問 大氣壓機關デハ如何ナル循環過程ガ行ハレルカ。

ココニ何か特殊ナ機構或ハ作業物質ヲ選ベバ、コノ冷却ニヨル熱ノ浪費ヲ避ケルコトガデキナイデアラウカトイフ疑問ガ起キル。又モシコノ冷却ガドウシテモ不可避デアルトスレバ、ソレハ「ツノ自然法則」デハナカラウカトモ考ヘラレヨウ。コノ考察ヲ押シ進メテ行ツク理論ガ後ニ述ベル「熱力學ノ第二法則」デアアル。

二、指壓線圖

研究(十) 蒸氣機關ノ シリンダ ト ピストン ノ構造及ビ蒸氣ヲ導入・排出サセルタメノ弁ノ構造及ビ機能ニツイテ綿密ニ研究シテミヨ (第七圖參照)。

通常蒸氣機關ノ シリンダ ニハソノ壓力ト膨脹トノ關係ヲ自記的ニ示ス「指壓器」トイフ装置ガアリ、コレニヨツテ描イテ壓力一體積



第七圖 蒸氣機關ノ構造ト各部ノ名稱

圖表ヲ「指壓線圖」ト云フ。コノ指壓線圖ヲ考察スルコトニヨツテ我々ハソノ機關ガ如何ナル仕事ヲスルカラ詳細ニ知ルコトガデキル。第八圖ノ A B' C' D' ハ今日普通ニ用ヒラレテキル蒸氣機關ノ指壓線圖デアアルガ、點線 ABCD ハコレニ應ジタ水ノ理想的ナ循環状態ヲ表ハスモノデアアル。

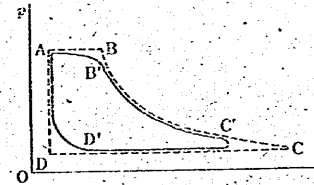
(イ) AB' ハ蒸氣ノ導入行程ヲ示シテキルガ、ヤヤ下リ氣味ナノハ變ノタメニ壓力ガ下ルカラデアアル。水ノ循環トシテ見レバ AB ハ罐ニ於ケル蒸發ニ相當スル。(ロ) B' 點デ蒸氣ヲ縮切ツテ膨脹サセル。コノ際ノ壓力ノ降下ハ等溫變化ノ氣體彈性ノ法則ニ從フモノヨリヤヤ急激デアアル。(即チコノ膨脹ハ略、斷然的ト見ラレル。)

(ハ) C' ニ至ツテ排氣弁ヲ開クト壓力ハ急ニ降下スル。蒸氣機關デハシリンダノ長サノ關係上十分ニ膨脹サセルソレニハ行カナイガ、タービンデハ略、復水器ノ壓力マデ膨脹サセルコトガデキル。コ

ノ點ガ C デアル。(ニ) CD ハ排氣行程ヲ表ハスモノデアリ、水ノ循環トシテ見レバ復水器ニ於ケル凝結ニ相當スル。(ホ) D' デ弁ヲ閉テ、殘リノ蒸氣ヲ壓縮セシメルト共ニ、コレニヨツテシリンダヲ溫メテ蒸氣ノ初期復水ヲ減少サセル。コノ間、復水器デ凝結シタ水ハ給水ポンプデ再ビ罐ニ送り込マレル。

ココニ於ケル ABCD ナル理想化サレタ水ノ循環過程ヲ蒸氣機關ノ「標準循環過程」ト稱スル。

シリンダ内ノ氣體ガピストンヲ壓力pデ押シナガラΔVダケ膨



第八圖 指壓線圖
ABCD ハ標準循環過程
A B' C' D' ハ蒸氣ノ循環過程

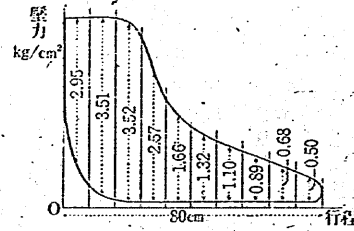
脹スルナラバ、ソノ間ニ外部ニナシタ仕事ハ $p dv$ デアル。從ツテ指
 壓線圖トシテ描カレタ閉曲線ノ面積ハ機關ガ一循環過程ヲ行フ際ニ
 ナシタ仕事ノ量ヲ示シテキル。(但シ時計ノ針ノ進ム向キニ包ム面ガ
 外ニナシタ仕事デアリ、ソレト反
 對ニ包ンデキルナラバ外カラ與ヘ
 ラレタ仕事ニナル。)

研究(十一) 指壓線圖ヲ適當

ナ間隔 Δr ニ分ケ(第九圖),

コレヨリ仕事 W ヲ

$W = \sum p dv$ トシテ計算セヨ。



第九圖 指壓線圖ノ一例

三. 熱ト仕事

問 船ノ舷側ニ水車ヲツケ、進行中ノ水勢デ之ヲマハスト考ヘルトキ、ソ
 ノ動力デ機關ノ傷キヲ軽減デキナイモノデアラウカ。

モシ何ノ動力源モナク(無制限ニ)仕事ヲサセルコトダデキル装置
 ガ作ラレルトスレバ、コレハ我々ニトツテ甚ダ好都合デアラウ。コ
 ノヤウナ装置ヲ「第一種ノ永久機關」ト稱スルガ、コノ永久機關ノ
 作製ハ古來カラ一度モ成功シタ例ガナイ。コノコトハ單ニ設計ノ失
 敗デナクテ、永久機關ノ不可能トイフコトガ自然界ノ一ツノ法則ヲ
 示スモノデハナカラウカ。

一ツノ物體ガ或ル仕事ヲナシ得ル状態ニアル時、コノ仕事ノ量ニ
 ミツテソノ状態ヲ表ハスコトダデキル。コノ量ヲ「エネルギー」ト
 イフ。但シ、モシ仕事ガ「無」ヨリ得ラレナイトスト、上述ノヤ
 ウナ装置ハ不可能トナルワケデアリ、永久機關ノ失敗ハ「エネルギ
 ー保存ノ法則」ヲ示シテキルガ、コノ法則ハ今日デハ他ノ數多ノ經

験カラモ十分ニ確メラレテキルノデアル。從ツテ W ナル仕事ガナ
 サレタ時ニハ必ズ何等カノエネルギーガ外部カラ供給サレルカ又
 ハ系内デ消費セラレタト考フベキデアル。熱機關ニ於ケル一ツノ循
 環過程ノ後ニハ作業物質自身ハ全ク始メト同ジ状態ニ戻ル筈デア
 ルカラ、ソノ過程中ニ熱源カラ與ヘラレタ熱量ノ或ル割合ガ消費サ
 レルトスレバ、コノ熱ガ仕事ニ變ジタモノト考ヘルコトダデキョウ。

一般ニ熱ヲ用ヒテ仕事ヲ行ハセルコトダデキ、マタ逆ニ仕事ニ
 ヨツテ熱ヲ發生サセ得ルコトハ經驗的ニ知ラレテキタガ、百年程前
 ニ至ツテ始メテ兩者ノ間ニ定量的ナ關係ガ存在シテキルコトガ推論
 サレ、且ツ實驗的ニモ確カメラレタ。即チ仕事 W ヲ エルグ デ測
 リ、熱量 Q ヲ カロリー デ表ハスナラバ相互ニ全部變リアフ場合
 ハ W ト Q トノ比ハ常ニ一定デアリ、

$$W/Q = J = 4.185 \times 10^7 \text{ [エルグ/カロリー]} \quad (8)$$

トイフ値ヲモツテキルコトダ知ラレタ。即チ J ハ エルグ ト カロ
 リー トノ單位上ノ關係ヲ明ラカニスルモノデアツテ、「熱ノ仕事當
 量」ト稱サレテキル。

研究(十二) 熱ノ仕事當量ヲ求メル實驗方法ヲ考ヘヨ。

熱機關ニ於イテ一ツノ循環過程中ニ吸收及ビ排出サレル熱量ヲ
 夫々 Q_1, Q_2 (カロリー) トスレバ、仕事 W (エルグ) トノ間ニハ

$$W = J(Q_1 - Q_2) \quad (9)$$

ナル關係ガ成立スルコトダ結論サレル。即チ熱機關トハ作業物質ヲ
 用ヒテ循環過程ヲ行ハセ、ソノ間ニ吸收シタ熱ノ一部ヲ以テ仕事ヲ
 サセ、殘リヲ排出セシメル機關デアル。

研究(十三) 蒸氣罐ニ於ケル蒸發熱ト復水器ニ於ケル凝結熱ト
 ノ差ガ直チニ熱機關ノスル仕事ニナルト考ヘテヨイカ。

四. 等壓變化ト等容變化

問 氣體ヲ加熱シテ等壓膨脹セルニハ如何ニシクラヨイカ。等容加熱ヲスルニハドウスルカ。コノトキ氣壓ノ變化ハドウナルカ。

第二表

(c_p, c_v ノ單位ハ カロリー/瓦・度, r ノ單位ハ エルグ/瓦・度, $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$)

氣體	γ	c_p	c_v	$c_p - c_v$	r	$J(c_p - c_v)$
A	1.67	0.125	0.075	0.050	2.08×10^6	2.69×10^6
N ₂	1.405	0.247	0.176	0.071	2.97	2.97
H ₂	1.410	3.39	2.40	0.99	41.2	41.4
O ₂	1.396	0.2203	0.1578	0.0625	2.60	2.63
H ₂ O	1.33	0.490	0.368	0.122	4.61	5.11
CO ₂	1.302	0.200	0.154	0.046	1.89	1.93
NH ₃	1.300	0.514	0.393	0.121	4.88	5.66

氣體ヲ等壓加熱スルトキノ比熱即チ「定壓比熱」 c_p ガ等容加熱スル時「定容比熱」 c_v ヨリ大キクナルコトハ實驗ニヨツテ知ラレテキル(第二表)。コレハ等壓加熱ノ際ニハ氣體ハ膨脹シ、外部ニ對シテ仕事ヲ行フカラ等容加熱ノ場合ニ比シテ、ソレダケ餘計ナ熱ヲ必要トスルタメト考ヘラレル。任意ノ氣體ノ單位質量ヲトリ、ソノ壓力ヲ p 、體積ヲ v 、絶對溫度ヲ T トスレバ、ソレラノ間ニハ氣體ノ法則

$$pv = rT \quad (10)$$

ガ相當精密ニ成立スル。但シテハ、 R ヲ氣體定數、 M ヲ分子量トシタトキ $r = \frac{R}{M}$ デ與ヘラレ、「比氣體定數」ト呼バレルモノデアル。從ツテコレガ等壓變化ニヨツテ體積ヲ Δv ダケ増加シ、同時ニ溫度ヲ ΔT ダケ高メタトスレバ

$$p\Delta v = r\Delta T$$

デアリ、氣體1瓦ヲ溫度1度高メルトキニ外ニ向ツテスル仕事ハ

$$p \frac{\Delta v}{\Delta T} = r$$

トナル。コノ値ハ上述ノ理由カラ定壓比熱 c_p ト定容比熱 c_v トノ差ニ相等シクナケレバナラナイ等デアルガ、第二表ノ實測値ニヨレバ

$$J(c_p - c_v) = r \quad (11)$$

ナル關係ガ略ニ成立シテソリ、コノ推測ノ正シイコトガ實驗的ニ確カメラレル。カヤウナ關係ハ實在ノ氣體ニツイテハ近似的ニシカ成立シテキナイガ、十分精密ニ氣體ノ法則ニ從フト同時ニ上述ノ關係ヲ満足スル氣體ヲ考ヘ、ソレヲ「理想氣體」ト稱スルノデアリ。シカシ第二表ニ示スヤウニ、特ニ精密ナコトヲ要求シナケレバ、A, N₂, H₂, O₂ ノ如キ氣體ハ理想氣體トシテ扱ツテ差支ヘナイ。

研究(十四) コノ理想氣體ノ定義ト第一節第六項ニ述べタ理想氣體トヲ比較シテ見ヨ。

カヤウナ理想氣體ヲ一定ノ壓力ノ下ニ絶對溫度 T カラ ΔT ダケ高メルトキ、ソノ單位質量ガ吸收スル熱量ヲ ΔQ トスルナラバ

$$\begin{aligned} \Delta Q &= c_p \Delta T = \left(\frac{r}{J} + c_v \right) \Delta T \\ &= \frac{1}{J} p \Delta v + c_v \Delta T \end{aligned}$$

トナル。即チ ΔQ ノ中 $c_v \Delta T$ (カヤリ) ダケガ物體ヲ温ムルニ費サレ、 $p \Delta v$ (エルグ) ガ外部ニ仕事トシテ與ヘラレタコトヲ示シテキル。コノ $c_v \Delta T$ ハ、溫度ヲ高メルト共ニエネルギートシテ物體ニ保有サレルノデアルガ、コレガ先ニ述べタ「内部エネルギー」デアル。

即チ 内部エネルギーノ變化ヲ一般ニ ΔU デ表ハセバ上式ハ

$$J\Delta Q = J\Delta U + p\Delta v \quad (12)$$

トナル。コノ關係ハ $\Delta T, \Delta v$ ガ十分ニ小サイトキニハ等壓變化以外ノ場合ニモ行ハレ、シカモ理想氣體ノミナラズ一般ノ物體ニツイテモ行ハレルコトハ多クノ實驗カラ確メラレルコトデアアルガ、コレヲ「熱力學ノ第一法則」ト呼ビ、(8)(9)式ハコノ(12)式ノ特別ナ場合トシテ與ヘラレル。ソシテ仕事ノホカニ熱ノ出入モアル時ニ於ケル「エネルギー保存ノ法則」ヲ示シテキルモノデアアル。

研究(十五) $J\Delta Q = J\Delta U + p\Delta v$ ヨリ熱機關ニ於ケル(9)式即チ $W = J(Q_1 - Q_2)$ ノ式ヲ導キ出セ。

次ニ氣體ヲ一定ノ容積ニ閉テコメタママ加熱シタ場合ニハ上式ニ於イテ $\Delta v = 0$ デアルカラ

$$\Delta Q = \Delta U = c_v \Delta T \quad (13)$$

トナル。即チ等容變化デ吸收サレタ熱ハ全部ガ内部エネルギートナルコトガワカル。

多クノ反應ハ一定壓ノ下で行ハレルコトガ多イ。コノ時、反應前後ノ量ヲ夫々 1, 2 ヲツケテ示スト、第一法則ノ式ハ

$$U_2 - U_1 + p(v_2 - v_1) = Q$$

トナル。反應熱ハ變化ニ際シテ排出スル熱ヲ正ニトルノガ習慣デアリ(第一節第三項參照)、コレヲ L トスレバ $L = -Q$ デアルカラ、

$$U_1 + pv_1 = U_2 + pv_2 + L \quad (14)$$

トナル。ココニ $U + pv$ ナル量ヲ「熱函數」トイフガ、前節ノ反應方程式ノ (H_2O), O_2 , H_2 等ハ等壓反應デハ、ソノ熱函數ヲ表ハスモノト解釋サレル。

固體ヤ液體ヲ加熱或ハ冷却スル時モ通常ハ一定ノ壓力ノ下で行フノデアアルカラ、ソノ比熱ハ c_p デアリ、加熱前後ヲ 1, 2 ニヨツテ區別スレバ

$$\begin{aligned} c_p(t_2 - t_1) &= U_2 - U_1 + p(v_2 - v_1) \\ &= (U + pv)_2 - (U + pv)_1 \end{aligned} \quad (15)$$

即チ加熱前後ノ熱函數ノ差ガ吸收サレク熱トナルコトガワカル。

同 第一節ノ式(1)ニ於イテコレヲ等壓變化ト見ルトキ、ソノ左右兩邊ハ何ヲ表ハシテキルデアラウカ。

研究(十六) 質質反應ガ等容變化デアル場合ト等壓變化デアル場合トデ發熱量ノ違フノハ何故カ。

五. 等溫變化ト斷熱變化

氣體ノ等溫的ニ變化サセル場合ニハ「氣體ノ彈性法則」即チ $pv = \text{定數}$ ナル關係ガ成立スル。即チコノ時ニハ

$$J\Delta Q = Jc_v \Delta T + p\Delta v$$

ニ於イテ $\Delta T = 0$ デアルカラ理想氣體ニツイテハ $\Delta U = 0$ トナリ、從ツテ吸收サレタ熱ハエネルギートシテ氣體中ニ留マラズ全部仕事トシテ外部ニ與ヘラレルノデアアル。例ヘバ壓縮空氣ガ等溫膨脹デ仕事ヲスルトキハ、外界カラ熱ヲ吸收シ、コノ熱ヲソノママ仕事ニ變ヘテシマフノデアアル。

研究(十七) 容器内ニ壓縮空氣ヲツメテコレヲ水蒸氣デ飽和サセテオキ、栓ヲ急ニ開イテ空氣ヲ噴出サセルナラバ内部ニハドンナ變化ヲ生ズルカ。

研究(十八) 氣體 1g ガ體積ヲ v_1 カラ v_2 ニ等溫的ニ變化サセル時ニ行フ仕事 W ハ

$$W = \int_{v_1}^{v_2} p dv = rT \log \frac{v_2}{v_1} \quad (16)$$

デ與ヘラレルコトヲ示セ。(但シ r ハ比氣體定數デアアル。)

容器ヲ外部ト熱的ニ遮断シテオキ、内部ノ氣體ヲ膨脹サセルト、氣體ノ温度ハ必ズ降下スル。マクソノ容積 v = 對スル壓力 p ノ變化ヲ測定シテミルト、等温變化ノ際ニ於ケルヨリモ傾斜ノ急ナ曲線ガ得ラレル。即チコノ場合

$$pv = \text{定數} \quad (17)$$

ナル關係ガ成立シ、空氣ニツイテノ γ ノ値ハ 1.4 トナル。

氣體ノ急激ナ膨脹ヤ壓縮デハ熱ノ出入スル暇ガナイノデ、ホボ断熱變化ト見做シテヨイ。之ニ對シテ十分



ニ時間ヲカケテ體積ヲ變化サセル場合ニハ等温變化ト見ラレル。

研究(十九) $pv = \text{定數}$ 及ビ $pv = rT$ ヨリ $Tv^{\gamma-1} = \text{定數}$ ナル關係ヲ導キ出セ。

研究(二十) $Tv^{\gamma-1} = \text{定數}$ ヲ知ツテ之ト氣體ノ法則 $p = rT/v$ トヨリ逆ニ $pv^{\gamma} = \text{定數}$ ヲ導ケ。コレカラ断熱曲線ノ方ガ等温曲線ヨリ傾斜ガ急ニナル理由ヲ説明セヨ。

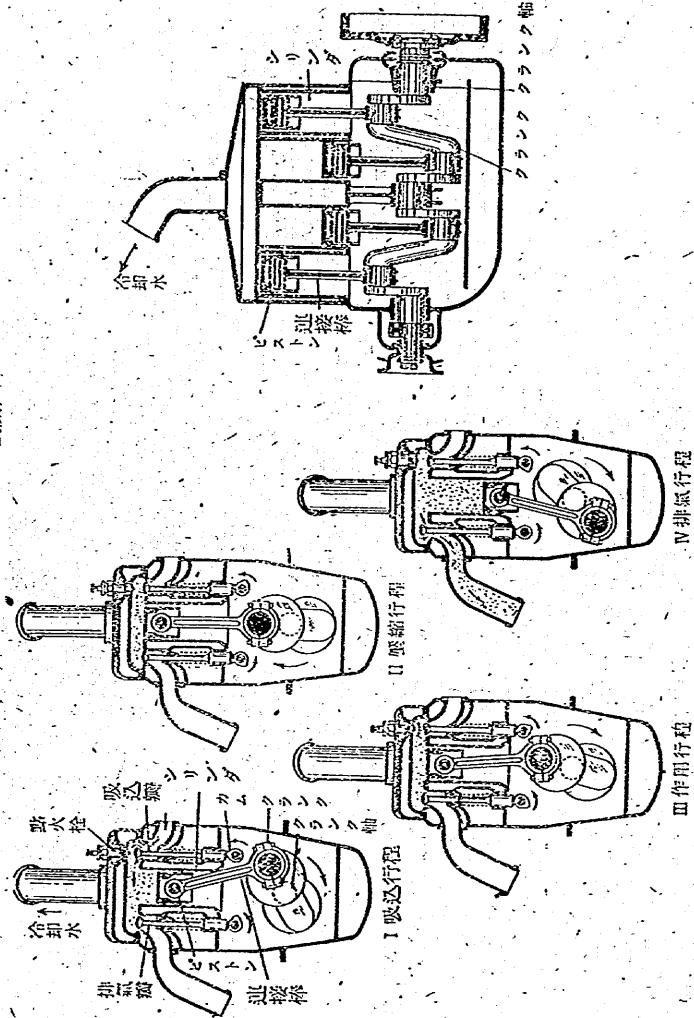
問 空氣中ノ音ノ速度ノ式 = $\gamma = 1.4$ ガ入ツテキルノハ何故カ。
上ノ(17)ノ關係ハ第一法則カラ理論的ニ導キ出スコトガデキル。即チ單位質量ノ理想氣體ヲトレバ断熱變化ニ於イテハ $dQ = 0$ デアルカラ

$$dQ = \frac{1}{\gamma} p dv + c_v dT = 0$$

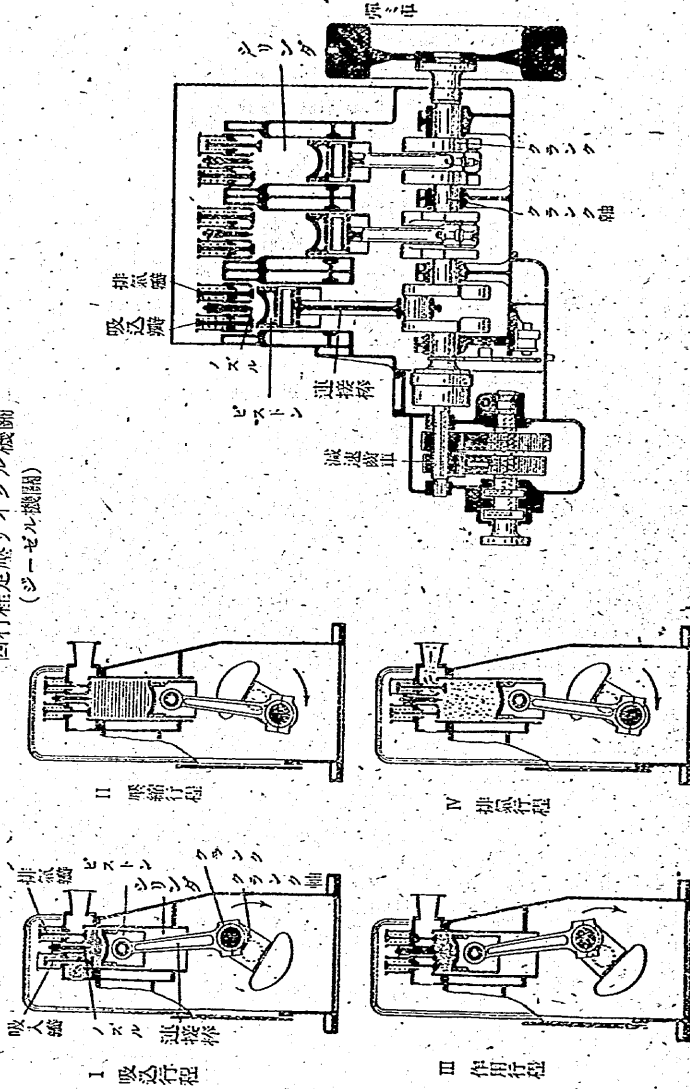
$$\therefore J c_v dT = -p dv$$

マク $pv = rT$ ヨリ

四行程定容サイクル機關 (自動運用ガソリン機関)



四行程定壓サイクル機関
(ジーゼル機関)



$$p\Delta v + v\Delta p = r\Delta T$$

デアルカラ、コレト $r = J(c_p - c_v)$ トヨリ結局次ノヤウナル。

$$\frac{\Delta p}{p} + \frac{c_p}{c_v} \frac{\Delta v}{v} = 0$$

ココデ、 $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ トオケバ

$$\frac{\Delta p}{p} + \gamma \frac{\Delta v}{v} = 0$$

ヲ得ル。コレヲ積分シテ

$$\log p + \gamma \log v = \text{定数}$$

即チ

$$pv^\gamma = \text{定数}$$

トナル。コレハ(17)ト同ジ形デアル。

所デ(18)テ與ヘラレル γ ノ値ハ諸種ノ氣體ノ斷熱變化率ヲイテ實測シテモノト極メテヨク一致シテキル(第二表参照)。

從ツテ高温ノ氣體ガ斷熱膨脹ヲ行ツテ外部ニ仕事ヲスル際ニハ内部エネルギーヲ ΔU ガケ減ズル。即チ

$$p\Delta v = -\Delta U = -Jc_v\Delta T$$

トナリ、コレニ相當シク温度 ΔT ガケ冷却スル。逆ニ外カラ仕事ヲ受ケテ斷熱的ニ壓縮サレルナラバ内部エネルギーノ増加 ΔU ニヨツテ温度ガ上ルノデアル。コレヲ斷熱膨脹ノ際ノ「發熱」ト稱シテキルガ、コレハ「熱」トシテ外部ニ排出サレルノデハナク内部ニ保有サレルモノデアル。ソノ故ニ「内部エネルギー」ト稱シテ所謂出入スル熱量 ΔQ トハ區別スルノデアル。

研究(二十一) 氣體ガソノ體積及ビ絶對温度ヲ v_1, T_1 ヨリ v_2, T_2 ニ斷熱的ニ變化スル際ニ行フ仕事 W ハ

Y450.4-2

Approved by Ministry of Education
(Date May 14, 1946)

昭和二十一年五月十四日印刷
昭和二十一年五月十八日發售
昭和二十一年五月十九日發售
(昭和二十一年五月十九日 文部省検査済)

師範物象 本科用 二

定價金壹圓

著作權所有 著者 文部省

東京都神田區錦町一丁目十六番地
翻刻發行者 師範學校教科書株式會社
代表者 森下松衛

東京都牛込區市谷加賀町一丁目十二番地
印刷者 大日本印刷株式會社
代表者 佐久間長吉郎

東京都神田區錦町一丁目十六番地
發行所 師範學校教科書株式會社

師範物象

本科用

二

(第二綴)

文部省

文部省調查普及局刊行課寄贈