

DZIAŁ TRZECI.

CIEPŁO.*)

A. Pomiar ciepła.

1. Jeżeli przez C , R i F oznaczymy stopnie podług Celsusza Reaumur'a i Fahrenheit'a, odpowiadające tej samej temperaturze, to:

$$C = \frac{5}{4} R = \frac{5}{9} (F - 32), \quad R = \frac{4}{5} C = \frac{4}{9} (F - 32), \\ F = 32 + \frac{9}{5} C = 32 + \frac{9}{5} R.$$

Podług wzorów tych zestawiono tablicę na str. 312. W podręczniku niniejszym temperatury oznaczamy zawsze w stopniach podług skali Celsusza (stustopniowej).

2. Przy mierzeniu temperatur do $+280^{\circ}$ należy się przed innymi pierwszeństwo termometrom (ciepłomierzom) rtęciowym; przy doświadczeniach krótkotrwałych można używać ich nawet do $+350^{\circ}$, jeżeli rurka termometru jest napełniona azotem, który zgęszcza się podczas rozszerzania się rtęci w termometrze. Tym sposobem azot przeciwdziała rozrywaniu się nitki rtęciowej, które nastąpiłoby mogło skutkiem wrzenia rtęci. Do mierzenia temperatur poniżej -40° ciepłomierze rtęciowe (z powodu zamarzania rtęci) stają się nieprzydatne.

Termometry alkoholowe służą do mierzenia niskich temperatur (do -100); górną granicę ich używalności stanowi $+78^{\circ}$.

Termometr Baly & Chorley'a)** zewnętrznie bardzo podobny do termometru rtęciowego, posiada jednak zamiast rtęci płynny słup stopu sodu i potasu, którego punkt zamarzania leży przy -8° , punkt zaś wrzenia przy $+700^{\circ}$. Termometr ten używa się w granicach od -8° do $+650^{\circ}$ do określania wysokich temperatur wrzenia, np. przy dystylacji wysokowrzących olejów i t. p.

Wyższe temperatury mierzą się **pyrometrami** (żaromierzami), których zasada polega bądźto na odkształcaniu się dwóch nalutowanych na siebie pasków różnych metali, bądźto na różnicy rozszerzalności dwóch różnych ciał, np. **pyrometr grafitowy** Steinle'a i Hartung'a***), bądź też na mieszanii gorącego powietrza z zimnem (określenie temperatury gorącego wiatru z maszyn wiatrowych). Wspomnieć nadto wypada o **pyrometrze powietrznym** Wiborgh'a †) oraz o **Thalpotasimetrze** Schäffer'a i Budenberg'a, stosowanym do $+700^{\circ}$.

*) Wyraz ciepłik szczęśliwie utworzony wówczas, gdy ciepło było pojmowane jako rodzaj fluidu, przenoszącego się z ciała na ciało, stał się dziś prawie zbytecznym. Zachowujemy go jednak obok wyrazu „ciepło” (np. na oznaczenie ciepłik właściwy), ponieważ jego forma przymiotnikowa jest dogodniejsza, a więc: ciepłikowy, a nie ciepłyny.

***) Berichte der Deutschen chemischen Gesellschaft. 1894.

****) Handb. d. Baukde., T. 1. str. 802.

†) Zeitschr. d. V. Ing. 1894, str. 1547.

Tablica zamiany stopni podług różnych termometrów.
(patrz str. 311.)

C	R	F	C	R	F	C	R	F	C	R	F
-20	-16	- 4,0	+35	+28,0	+ 95,0	+ 90	+ 72,0	+154,0	+145	+116,0	+293,0
-19	-15,2	- 2,2	36	28,8	96,8	91	72,8	195,8	146	116,8	294,8
-18	-14,4	- 0,4	37	29,6	98,6	92	73,6	197,6	147	117,6	296,6
-17	-13,6	+ 1,4	38	30,4	100,4	93	74,4	199,4	148	118,4	298,4
-16	-12,8	3,2	39	31,2	102,2	94	75,2	201,2	149	119,2	300,2
-15	-12,0	5,0	40	32,0	104,0	95	76,0	203,0	150	120,0	302,0
-14	-11,2	6,8	41	32,8	105,8	96	76,8	204,8	151	120,8	303,8
-13	-10,4	8,6	42	33,6	107,6	97	77,6	206,6	152	121,6	305,6
-12	- 9,6	10,4	43	34,4	109,4	98	78,4	208,4	153	122,4	307,4
-11	- 8,8	12,2	44	35,2	111,2	99	79,2	210,2	154	123,2	309,2
-10	- 8,0	14,0	45	36,0	113,0	100	80,0	212,0	155	124,0	311,0
- 9	- 7,2	15,8	46	36,8	114,8	101	80,8	213,8	156	124,8	312,8
- 8	- 6,4	17,6	47	37,6	116,6	102	81,6	215,6	157	125,6	314,6
- 7	- 5,6	19,4	48	38,4	118,4	103	82,4	217,4	158	126,4	316,4
- 6	- 4,8	21,2	49	39,2	120,2	104	83,2	219,2	159	127,2	318,2
- 5	- 4,0	23,0	50	40,0	122,0	105	84,0	221,0	160	128,0	320,0
- 4	- 3,2	24,8	51	40,8	123,8	106	84,8	222,8	161	128,8	321,8
- 3	- 2,4	26,6	52	41,6	125,6	107	85,6	224,6	162	129,6	323,6
- 2	- 1,6	28,4	53	42,4	127,4	108	86,4	226,4	163	130,4	325,4
- 1	- 0,8	30,2	54	43,2	129,2	109	87,2	228,2	164	131,2	327,2
0	0	32,0	55	44,0	131,0	110	88,0	230,0	165	132,0	329,0
+ 1	+ 0,8	33,8	56	44,8	132,8	111	88,8	231,8	166	132,8	330,8
2	1,6	35,6	57	45,6	134,6	112	89,6	233,6	167	133,6	332,6
3	2,4	37,4	58	46,4	136,4	113	90,4	235,4	168	134,4	334,4
4	3,2	39,2	59	47,2	138,2	114	91,2	237,2	169	135,2	336,2
5	4,0	41,0	60	48,0	140,0	115	92,0	239,0	170	136,0	338,0
6	4,8	42,8	61	48,8	141,8	116	92,8	240,8	171	136,8	339,8
7	5,6	44,6	62	49,6	143,6	117	93,6	242,6	172	137,6	341,6
8	6,4	46,4	63	50,4	145,4	118	94,4	244,4	173	138,4	343,4
9	7,2	48,2	64	51,2	147,2	119	95,2	246,2	174	139,2	345,2
10	8,0	50,0	65	52,0	149,0	120	96,0	248,0	175	140,0	347,0
11	8,8	51,8	66	52,8	150,8	121	96,8	249,8	176	140,8	348,8
12	9,6	53,6	67	53,6	152,6	122	97,6	251,6	177	141,6	350,6
13	10,4	55,4	68	54,4	154,4	123	98,4	253,4	178	142,4	352,4
14	11,2	57,2	69	55,2	156,2	124	99,2	255,2	179	143,2	354,2
15	12,0	59,0	70	56,0	158,0	125	100,0	257,0	180	144,0	356,0
16	12,8	60,8	71	56,8	159,8	126	100,8	258,8	181	144,8	357,8
17	13,6	62,6	72	57,6	161,6	127	101,6	260,6	182	145,6	359,6
18	14,4	64,4	73	58,4	163,4	128	102,4	262,4	183	146,4	361,4
19	15,2	66,2	74	59,2	165,2	129	103,2	264,2	184	147,2	363,2
20	16,0	68,0	75	60,0	167,0	130	104,0	266,0	185	148,0	365,0
21	16,8	69,8	76	60,8	168,8	131	104,8	267,8	186	148,8	366,8
22	17,6	71,6	77	61,6	170,6	132	105,6	269,6	187	149,6	368,6
23	18,4	73,4	78	62,4	172,4	133	106,4	271,4	188	150,4	370,4
24	19,2	75,2	79	63,2	174,2	134	107,2	273,2	189	151,2	372,2
25	20,0	77,0	80	64,0	176,0	135	108,0	275,0	190	152,0	374,0
26	20,8	78,8	81	64,8	177,8	136	108,8	276,8	191	152,8	375,8
27	21,6	80,6	82	65,6	179,6	137	109,6	278,6	192	153,6	377,6
28	22,4	82,4	83	66,4	181,4	138	110,4	280,4	193	154,4	379,4
29	23,2	84,2	84	67,2	183,2	139	111,2	282,2	194	155,2	381,2
30	24,0	86,0	85	68,0	185,0	140	112,0	284,0	195	156,0	383,0
31	24,8	87,8	86	68,8	186,8	141	112,8	285,8	196	156,8	384,8
32	25,6	89,6	87	69,6	188,6	142	113,6	287,6	197	157,6	386,6
33	26,4	91,4	88	70,4	190,4	143	114,4	289,4	198	158,4	388,4
34	27,2	93,2	89	71,2	192,2	144	115,2	291,2	199	159,2	390,2

Bardzo wysokie temperatury można oznaczać kalorymetrycznie, doprowadzając stosowne ciało, którego ciepłik właściwy c znamy, np. kulę żelazną lub platynową, wagi G kg, do temperatury badanego ciała (np. przez pogrążenie kuli w płyn lub t. p.). Kulę tak zagrzaną kładziemy następnie w odważoną ilość wody Q kg, o temperaturze t_1 : temperatura wody podniesie się do t_2 , a szukana temperatura t ciała badanego będzie w przybliżeniu:

$$t = t_2 + \frac{(t_2 - t_1) Q}{Gc}$$

c oznacza średni ciepłik właściwy w granicach temperatur t i t_2 ; np. dla żelaza spawalnego podług Weinhold'a jest:

$$c = 0,105907 + 0,00003209(t + t_2) + 0,0000001108(t^2 + t_2^2 + (t + t_2)^2)$$

W celu określenia temperatury płynnego metalu możemy też wlać dowolną jego ilość do odpowiedniej, wiadomej ilości wody, następnie zaś oznaczyć podniesienie się temperatury wody, wagę wlanego metalu zaś po jego ostygnięciu.

Częściowe parowanie wody, oraz ogrzewanie się ścianek naczyń i t. p. wpływają ujemnie na ścisłość wyników otrzymywanych tą drogą.

Tablica porównawcza stopni Wedgewood'a ze stopniami Celsjusza.

Stopnie pyrometru Wedgewood'a	Stopnie Celsjusza	Stopnie pyrometru Wedgewood'a	Stopnie Celsjusza	Barwy żaru żelaza
30 ^o W	2750 ^o C	14 ^o W	1590 ^o C	
29	2678	13	1518	Rażąco biała.
28	2605	12	1445	
27	2533			Żar skowalności (1400-1500 ^o).
26	2460	11	1373	Jaskrawo biała (1350 ^o).
25	2388	10	1300	Biała (1300 ^o).
24	2315	9	1228	Jasno pomarańczowa (1200 ^o).
23	2243	8	1155	Jasny żar (1150)
22	2170	7	1083	Ciemno pomarańczowa (1100 ^o)
21	2098	6	1010	Jasno wiśniowa (1000 ^o).
20	2025	5	938	Wiśniowa (900).
19	1953	4	865	
18	1880	3	793	Ciemno wiśniowa (800 ^o).
17	1808	2	720	Ciemno czerwona (700 ^o).
16	1735	1	648	
15	1663	0	575	W ciemności czerwona (500 ^o).

Stożki Seger'a wyrabiają się z krzemianów glinowych w postaci trójgraniastych ostrosłupów ściętych, 6 cm wysokich, dla różnych temperatur, w 58 różnych numerach. Okazały się one praktycznymi w ceramice dla określenia chwili wypalenia towaru i wogóle do mierzenia temperatur od 590^o aż powyżej 1850^o.*) Stożki te wykazują jedynie temperatury końcowe, podobnie jak to też czynią i **stopy Prinsep'a** lub **termophony Wiborgh'a**.**)

*) Chemisches Laboratorium für Thonindustrie, Berlin NW. 5.

**) Oesterr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenwesen 1897, str. 99; również Zeitschr. d. V. d. Ing. 1897, str. 297.

Dogodnem i bez przerwy może być elektryczne mierzenie temperatury, przyczem określa się albo opór elektryczny drutu platynowego (oporowe żaromierze Siemens'a),*) albo napięcie termoelektryczne danego stosu (Termoelement Le Chateller'a).**)

B. Rozszerzalność ciał pod wpływem ciepła.

a. Rozszerzalność ciał stałych.

1. Przez współczynnik wydłużalności, czyli rozszerzalności liniowej (α) rozumieć należy przyrost jednostki długości ciała przy podniesieniu się jego temperatury o 1 stopień; współczynnik rozszerzalności powierzchniowej jest (w przybliżeniu) dwa razy większy $= 2\alpha$; współczynnik zaś rozszerzalności objętościowej jest (w przybliżeniu) trzy razy większy $= 3\alpha$.

Jeżeli ciało o długości l ogrzejemy o t^0 , to długość jego będzie $l_1 = l(1 + \alpha t)$; wydłużenie zatem $\lambda = \alpha l t$.

Współczynnik rozszerzalności α wzrasta wprawdzie w miarę podnoszenia się temperatury, uważać go jednakże będziemy za, w przybliżeniu stały. [Np. dla brązu średnio $\alpha = 10^{-6}$ (17545 + 5,25 t)].

Oznaczywszy przez:

l_1 i l_2 długości
 F_1 i F_2 przekroje
 V_1 i V_2 objętości } ciała przy temperaturach t_1 względnie t_2 ,

otrzymamy:

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha t_2},$$

a prawie ściśle: $\frac{F_1}{F_2} = \frac{1 + 2\alpha t_1}{1 + 2\alpha t_2}$ i $\frac{V_1}{V_2} = \frac{1 + 3\alpha t_1}{1 + 3\alpha t_2}$.

Wydłużalność 100 α ciał stałych,

odpowiadająca podniesieniu się temperatury z 0° do 100°.

Bronz	0,001 755	1 : 570	Olów	0,002 848	1 : 351
Cement	0,001 430	1 : 699	Platyna	0,000 884	1 : 1131
Cynk lany	0,002 941	1 : 340	Srebro	0,001 909	1 : 524
„ kuty	0,003 108	1 : 322	Stal hartowana . .	0,001 240	1 : 806
Cyna	0,001 938	1 : 516	„ miękka**)	0,001 079	1 : 927
Drut mosiężny . . .	0,001 933	1 : 517	Szkoło ołowiane . .	0,000 872	1 : 1147
„ żelazny	0,001 235	1 : 810	„ angielskie	0,000 812	1 : 1232
Drzewo wpop. 0,003 do 0,006	—	—	Wapniak	0,000 809	1 : 1236
„ wzdłuż 0,0003 „ 0,0010	—	—	Żelazo zlewne . . .	0,001 176	1 : 850
Glin	0,002 180	1 : 459	„ lano	0,001 067	1 : 937
Magnez	0,001 718	1 : 582	„ spawalne	0,001 212	1 : 825
Miedź	0,001 643	1 : 609	„ (0° do 300°)	0,001 468	1 : 681
Mosiądz lany . . .	0,001 875	1 : 533	Złoto wyżarzone . .	0,001 514	1 : 661

*) Handb. d. Baukde., Bd. I. str. 803 i 804.

***) Zeitschr. d. V. d. Ing. 1807, str. 226.

****) Według M. Rudeloff'a. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1891, str. 381: 100 $\alpha = 0,0012161$ do 0,0011106 czyli 1:822 do 1:900 przy zawartości węgla w stali od 0,09 do 0,97%.

Spółczynnik rozszerzalności objętościowej β .

Cyna . . . 0,000 058 do 0,000 069	Srebro. . . 0,000 057 do 0,000 064
Cynk . . . 0,000 087 „ 0,000 090	Stal 0,000 032 „ 0,000 042
Miedź . . . 0,000 052 „ 0,000 057	Szkło 0,000 02 „ 0,000 03
Mosiądz . 0,000 053 „ 0,000 056	Żelazo kute 0,000 035 „ 0,000 044
Ołów . . . 0,000 084 „ 0,000 089	„ lane, średnio „ 0,000 033
Platyna. . 0,000 026 „ 0,000 029	Złoto 0,000 044 „ 0,000 047

Siła wydłużająca lub skracająca pręt o stałym przekroju F i o współczynniku sprężystości E , przy zmianie temperatury o t^0 , wyraża się wzorem:

$$P = \alpha E t F.$$

2. Skurcz llnijny niektórych metali. *)

Bronz I : 63	Spiz na armaty . . . I : 134
Bismut I : 265	Stal zlewna I : 64
Cynk lany I : 62	„ pudlowa I : 72
Cyna I : 128	Żelazo drobnoziarniste. I : 72
Mosiądz I : 65	„ lane I : 96
Odlew stalowy . . . I : 50	„ walcowane . . . I : 55
Ołów I : 92	100 cz. miedzi)
Spiz na dzwony . . I : 65	12,5 „ cyny } na wagę I : 134

W walcowniach stali liczą skurcz 12 mm/m.

b. Rozszerzalność ciał płynnych.

W cieczach i gazach chodzi tylko o rozszerzalność objętościową. Współczynnik rozszerzalności objętościowej płynu β zależnym jest od temperatury; jeżeli ogrzewamy objętość V płynu od 0^0 do t^0 , to objętość jego przy temperaturze t^0 będzie:

$$V_t = V(1 + at + bt^2 + ct^3 + et^4),$$

skąd współczynnik rozszerzalności β będzie:

$$\beta = \frac{dV_t}{V \cdot dt} = a + 2bt + 3ct^2 + 4et^3.$$

Spółczynniki a, b, c, e .

Ciecze	a	b	c	e
Alkohol	0,000 738 923	0,000 010 552	-0,000 000 092 481	0,000 000 000 404
Eter do 120°. . . .	0,001 348 906	0,000 006 554	0,000 000 034 491	0,000 000 000 333
Oliwa '	0,000 798	-0,000 000 773	0,000 000 008 274	—
Rtęć	0,000 179 01	0,000 000 015 2	—	—

 V_t dla rtęci.

0^0 1,000 000	30^0 1,005 393	70^0 1,012 655
10^0 1,001 793	50^0 1,009 013	100^0 1,018 153

Dla rtęci między 0^0 a 100^0 można przyjąć średnio $\beta = 0,000 181 53 = 1:5509$ (prawdziwy współczynnik rozszerzalności). Odjawszy od niego wartość β dla szkła (p. wyżej), otrzymamy średni współczynnik pozorny dla rtęci w rurce termometru.

*) Stosunek skurczenia się metalu odlanego (lub w stanie rozżarzonego obrabionego) przy ochłodzeniu się do zwykłej temperatury.

V_1 dla wody. *)

0°... 1,000 117	14°... 1,000 710	28°... 1,003 71	90°... 1,035 71
1°... 1,000 065	15°... 1,000 852	29°... 1,004 00	95°... 1,039 33
2°... 1,000 028	16°... 1,001 007	30°... 1,004 30	100°... 1,043 12
3°... 1,000 006	17°... 1,001 174	35°... 1,005 82	110°... 1,051 19
4°... 1,000 000	18°... 1,001 352	40°... 1,007 71	120°... 1,059 93
5°... 1,000 008	19°... 1,001 541	45°... 1,009 81	130°... 1,069 36
6°... 1,000 031	20°... 1,001 741	50°... 1,011 96	140°... 1,079 49
7°... 1,000 069	21°... 1,001 952	55°... 1,014 34	150°... 1,090 30
8°... 1,000 120	22°... 1,002 174	60°... 1,016 92	160°... 1,101 79
9°... 1,000 185	23°... 1,002 406	65°... 1,019 61	170°... 1,113 95
10°... 1,000 264	24°... 1,002 647	70°... 1,022 63	180°... 1,126 78
11°... 1,000 356	25°... 1,002 897	75°... 1,025 72	190°... 1,140 26
12°... 1,000 461	26°... 1,003 157	80°... 1,028 91	200°... 1,154 38
13°... 1,000 579	27°... 1,003 427	85°... 1,032 22	

Nafta rozszerza się w przybliżeniu o 2% **) przy podniesieniu się temperatury o 22°; dla oleju rzepakowego $\beta a = 0,000 89$; dla tranu $\beta a = 0,001 9$ na różnicę 1°.

c. Rozszerzalność gazów.

Według Gay-Lussac'a współczynnik rozszerzalności α jest dla wszystkich gazów jednakowy = 0,003 665 = 1 : 273. ***)

Według Regnault'a α równa się natomiast (por. str. 277 i 279) dla:

Wodoru	0,003 661 3	Tlenku węgla (CO)	0,003 668 8
Powietrza	0,003 670 6	Bezwodnika węglowego (CO ₂)	0,003 709 9
Bezwodnika podazotawego (N ₂ O)	0,003 719 5	Bezw. siarkaw. (SO ₂)	0,003 902 8

C. Ciepłik właściwy.

Ciepłotką (kaloryą) metryczną nazywamy ilość ciepła niezbędnego dla podniesienia temperatury jednego kg wody od 0° do 1°; oznaczać ją będziemy przez cpl. (Ciepłotka gramowa cplg. = 0,001 cpl.).

Cieplikiem właściwym (c) danego ciała jest ilość ciepłotek potrzebna do podniesienia temperatury jednego kg tegoż ciała o 1°. Ciepłik właściwy zależy i od temperatury ciała, np. dla:

Cynku	$c = 0,090 09 + 0,000 075 t$	Miedzi	$c = 0,090 08 + 0,000 065 t$
Cyny	$c = 0,052 31 + 0,000 072 t$	Ołowiu	$c = 0,029 98 + 0,000 031 t$
Glinu	$c = 0,207 00 + 0,000 230 t$	Platyny	$c = 0,031 98 + 0,000 013 t$
Irydu	$c = 0,031 7 + 0,000 012 t$	Srebra	$c = 0,054 66 + 0,000 044 t$

G kg ciała o ciepliku właściwym c potrzebuje dla podniesienia temperatury o t^0 : $W = c G t$ cpl.

Uwzględniając zmienność cieplika właściwego c danego ciała, w zależności od zmieniającej się temperatury podczas ogrzewania od t_1^0 do t_2^0 , otrzymamy ściślej:

*) J. D. Everett (p. przypisek na str. 141).

**) Petroleum und sein überseeischer Versand, Zeitschr. d. V. d. Ing. 1897, str. 289.

***) Zaznaczamy, iż tak powyżej, jak i wszędzie, współczynnik objętościowej rozszerzalności gazów oznaczamy przez α , a nie przez βa .

$$W = G \int_{t_1}^{t_2} c \cdot dt \text{ cpl}$$

Dokładne c dla wody (podług Regnault'a) p. str. 285, a c dla żelaza spawalnego, p. str. 313.

Średni ciepłik właściwy ciał stałych i cieczy.

Ciało	Ciepłik właściwy	Ciało	Ciepłik właściwy	Ciało	Ciepłik właściwy
Alkohol (czysty)	0,6175	Kwarczec . . .	0,1894	Rtęć stała . . .	0,0319
Antymon . . .	0,0486	Kadm	0,0548	„ plynna . . .	0,0335
Bizmut	0,0298	Kwas siarczany .	0,3350	Szkło	0,1930
Bezwod. krzem.	0,1950	Koks	0,2031	Surowiec stały .	0,1298
Cegła 0,189 do	0,241	Lód		„ plynny . . .	0,2500
Cyna	0,0559	(-20° do 0°)	0,504	Siarka krystal. .	0,163
Cynk	0,0935	Magnez	0,245	„ bozpostac. .	0,1844
Drzewo(dębowe)	0,57	Marmur	0,2099	Srebro	0,0559
„ (sosnowe)	0,65	Miedź	0,0933	Stal mięka . . .	0,1165
„ (jodłowe)	0,654	Mosiądz	0,086	„ hartowana . .	0,1184
Eter	0,5290	Nikiel	0,1092	Tlenek ołowiony .	0,0512
Fosfor		Oliwa	0,3096	Wapień	0,1804
0,1698 do	0,2045	Ołów	0,0315	Węgiel drzewny .	0,2411
Gips	0,1966	Olej terpent. . .	0,4569	Woda (p. st. 285)	1,0224
Glin	0,2122	Popiół	0,2	Złoto	0,0316
Grafit	0,1960	Platyna	0,0323	Żelazo spawalne	0,1124

Średni ciepłik właściwy gazów i par.

Ciepłik właściwy jest prawie niezależny od temperatury.

Ciało	Ciepłik właściwy przy stałym ciśnieniu c_p	Ciepłik właściwy przy stałej objętości c_v	$n = \frac{c_p}{c_v}$	Ciepłik właściwy przy stałym ciśnieniu, jeżeli dla powietrza = 1
Azot	0,2438	0,1727	1,41	1,0265
Bezwod. węglowy przy 200°	0,2396	0,1714	1,40	1,0088
Etylen (C_2H_4)	0,4040	0,3326	1,21	1,7011
Gaz błotny (CH_4) . . .	0,5929	0,4679	1,27	2,4964
Para eteru	0,4796	0,3411	1,41	2,0194
Para alkoholu	0,4534	0,3200	1,42	1,9091
Para wodna	0,4750	0,3337	1,42	2,0000
„ „ nieco przegrzana	0,4805	0,3694	1,30	2,0232
Powietrze atm. suche . .	0,2375	0,1691	1,41	1,0000
Tlenek węgla	0,2450	0,1736	1,41	1,0316
Tlen	0,2175	0,1551	1,40	0,9158
Wodór	3,4090	2,4119	1,41	14,3537

Ogrzewanie powietrza.

Vm^3 suchego powietrza, przy temperaturze t^0 i ciśnieniu 760 mm słupa rtęci, posiada wagę G w kg (p. str. 279):

$$G = \frac{1,293}{1 + \alpha t} V.$$

Ciepłik właściwy powietrza przy stałem ciśnieniu $c_p = 0,2375$ przeto ilość ciepła potrzebnego do ogrzania G kg powietrza (odpowiadającym $V m^3$) od t^0 do t_1^0 wynosi:

$$W = 0,2375 G (t_1 - t) = \frac{0,307 V}{1 + \alpha t} (t_1 - t) \text{ cpl.}$$

Temperatura mieszanin.

Prawidło Richman'n'a: $G + G'$ kg mieszaniny, powstałej z G kg ciała o temperaturze t^0 i ciepłiku właściwym c , oraz z G' kg ciała o temperaturze t_1^0 i ciepłiku właściwym c' , posiada temperaturę:

$$t_m = \frac{c G t + c' G' t'}{c G + c' G'}; \text{ ogólnie zaś } t_m = \frac{\sum c G t}{\sum c G}.$$

Do podniesienia temperatury G kg ciała o ciepłiku właściwym c od t^0 do t_m^0 potrzeba dodać G' kg ciała o ciepłiku właściwym c' i temperaturze t'^0 , przyczem:

$$G' = \frac{c}{c'} G \frac{t_m - t}{t' - t_m}.$$

Jeżeli przy stałem ciśnieniu zmieszamy G kg powietrza (odpowiadające $V m^3$) o temperaturze t^0 z G_1 kg (odp. $V_1 m^3$) powietrza o temperaturze t_1^0 , to temperatura mieszaniny będzie (z dla powietrza, p. str. 316):

$$t_m = \frac{G t + G_1 t_1}{G + G_1} = \frac{V t (1 + \alpha t) + V_1 t_1 (1 + \alpha t)}{V (1 + \alpha t) + V_1 (1 + \alpha t)}.$$

Mieszaniny ochładzające.

Najniższa temperatura, jaką dana mieszanina ochładzająca wytworzyć może, równa się temperaturze zamarzania powstającego roztworu.

Mieszaniny	Cz. wg.	Temperatura obniża się		Mieszaniny	Cz. wg.	Temperatura obniża się	
		z	na			z	na
Fosforan sodu . . .	9	12,5°	-6°	Siareczan sodu . . .	8	10°	-15°
Salamoniak . . .	6			Saletra . . .	5		
Rozrzedz. kwas azot.	4			Salamoniak . . .	5		
Siareczan sodu . . .	6	10°	-25°	Woda . . .	16	10°	-18°
Azotan amonu . . .	5			Siareczan sodu . . .	8		
Rozrzedz. kwas azot.	4			Kwas solny . . .	5		
Salamoniak . . .	5	10°	-12°	Siareczan sodu . . .	5	10°	-16°
Saletra . . .	5			Rozrzedz. kwas siarcz.	4		
Woda . . .	16			Sól kuchenna . . .	1		
Węglan sodu . . .	1	10°	-14°	Śnieg . . .	1	10°	-18°
Azotan amonu . . .	1			Azotan amonu . . .	1		
Woda . . .	1			Woda . . .	1		
Siareczan sodu . . .	3	10°	-19°	Fosforan sodu . . .	9	15°	-9°
Rozrzedz. kwas azot.	2			Rozrzedz. kwas azot.	4		

Mieszaniny	Cz. Wg.	Temperatura obniża się		Mieszaniny	Cz. Wg.	Temperatura obniża się	
		z	na			z	na
Siarczan sodu	6			Wodorotlenek potasu	4	0°	-37°
Salamoniak	4	10°	-13°	Śnieg	3		
Saletra	2			Rozrzedz. kwas siarcz.	1		
Rozrzedz. kwas azot.	4			Rozrzedz. kwa. azot.	1	-19°	-40°
Sól kuchenna	3	0°	-17.7°	Śnieg	2		
Śnieg	1			Rozrzedz. kwas siarcz.	1	-5°	-41°
Saletra	1			Śnieg	1		
Salamoniak	1	8°	-24°	Chlorok wapnia	3	0°	-33°
Woda	1			Śnieg	2		
Rozrzedz. kwas azot.	1	-14°	-35°	Chlorek wapnia	2	0°	-42°
Śnieg	1			Śnieg	1		

D. Zmiana stanu skupienia ciał pod wpływem ciepła.

a. Punkt topnienia lub zamarzania ciał rozmaitych

pod ciśnieniem 760 mm st. rt.

Ciało	Stopni	Ciało	Stopni
Iryd	1950	Luty miękie*)	135—200
Platyna	1775	„ bizmutowe*)	94—128
Żelazo spawalne	1500—1600	Kauczuk	125
Nikiel	1400—1500	Siarka	115
Żelazo zlewne	1350—1450	Sod	96
Stal	1300—1400	Wosk	64
Żuźle wielkopieczowe	1300—1430	Potas	62
Surowiec szary	1200	Parafina	54
„ biały	1100	Olrot	49
Szkło bez ołowiu	1200	Stearyna	43—49
„ z ołowiem	1000	Fosfor	44
Miedź	1054	Woda	0
Złoto	1045	„ morska	- 2,5
Mosiądz	1015	Olej rzepakowy	- 3,5
Farby emaliowe	964	Olejek terpentynowy	- 10
Srebro	954	Roztwór nasycony soli kuch.	- 18
Metal delta	950	Olej lniany	- 20
Bronz	900	Rtęć	- 40
Glin	600	Roztwór nas. chlorku wapnia	- 40
Antymon	432	Bezwodnik siarkawy	- 76
Cynk	412	Płynny bezwodnik węglowy	- 78
Ołów	326	Amoniak	- 78,8
Kadm	315	Alkohol absolutny	- 100
Bizmut	260	Siarczek węgla	- 112,8
Cyna	230	Eter	- 117,6

*) Dział ósmy: Materiały budowlane.— Punkty topnienia stopów kadmowych, patrz Glaser's Ann. 1890, II, str. 38.— Punkty zamarzania gliceryny i alkoholu p. Dział szósty rozdział III. A. 3.

b. Punkty wrzenia.

Punkty wrzenia rozmaitych cieczy pod ciśnieniem 760 mm sł. rt.

Ciecz	Stopni	Ciecz	Stopni
Ołów, cyna	1450—1600	Kwas azot. (cięż. właś. 1,52)	130
Siarka	448	Ligroina	80—120
Rtęć	357	Roztwór nasycony soli kuch.	108
Kwas siar. (cięż. właś. 1,85)	325	Woda morską	103
Tłuszcze	300—325	Woda	100
Oleje tłusto	310—320	Benzyna, (benzol)	90—110
Olej lniany	316	Alkohol, czysty	78,5
Parafina	300	Chloroform	61
Fosfor	290	Siarczek węgla	46
Naftalina	218	Eter	35
Roztwór nas. chlor. wapnia	180	Bezwodnik siarkawy	—10
Olejek terpentynowy	160	Amoniak	—33
Nafta rafinowana	150	Bezwodnik węglowy	—78

Węgiel paruje podług Violle'a przy około 3500° (temperatura łuku Volty).

Punkty wrzenia wody przy różnych ciśnieniach barometrycznych. *)

Stan ba- rometru w mm sł. rt.	Punkt wrzenia Stopni	Stan ba- rometru w mm sł. rt.	Punkt wrzenia Stopni	Stan ba- rometru w mm sł. rt.	Punkt wrzenia Stopni	Stan ba- rometru w mm sł. rt.	Punkt wrzenia Stopni
725,35	98,7	741,16	99,3	757,28	99,9	773,73	100,5
727,96	98,8	743,83	99,4	760,00	100,0	776,50	100,6
730,58	98,9	746,50	99,5	762,73	100,1	779,26	100,7
733,21	99,0	749,18	99,6	765,47	100,2	782,04	100,8
735,85	99,1	751,87	99,7	768,20	100,3	784,83	100,9
738,50	99,2	754,57	99,8	770,95	100,4	787,63	101,0

c. Ciepłik topnienia (ciepło utajone przy topnieniu).

Ciepłikiem topnienia ciała stałego nazywa się ilość ciepłostek zużytych (utajających się) przy przeprowadzeniu 1 kg ciała ze stanu stałego w ciekły, bez podniesienia temperatury tegoż ciała. Przy odwrotnym przejściu ciała ze stanu ciekłego w stały, taż sama ilość ciepłostek ujawnia się.

Ciepłik topnienia niektórych ciał.

Azotan potasu	47,4	Fosfor	5,0	Rtęć	2,8
„ sodu	63,0	Kadm	13,6	Surowiec szary	23
Bismut	12,6	Lód (woda)	80,0	„ biały	33
Cynk	28,1	Nikiel	4,6	Siarka	9,4
Cyna	14,6	Ołów	5,4	Srebro	24,7
Chlorek wapnia	40,7	Platyna	27,2	Żuźle wielkopiec.	50

*) Dalsze punkty wrzenia wody, p. tablice na str. 286 do 288.

d. Cieplik parowania (ciepło utajone przy parowaniu).

Cieplikiem parowania (r) cieczy nazywa się ilość ciepłostek, zużyta (t. j. utajająca się) przy zamianie 1 kg danej cieczy na parę tejże samej temperatury przy stałym ciśnieniu zewnętrznym. Taż sama ilość ciepła wydziela się przy skropleniu pary na ciecz.

Cieplik parowania jest zależny od temperatury (t), przy której następuje parowanie.

Np. dla **pary wodnej** podług Regnault'a:

$$r = 606,5 - 0,695 t - 0,00002 t^2 - 0,0000003 t^3 \text{ cpl./kg};$$

podług Watt'a (w przybliżeniu):

$$r = 540 \text{ cpl./kg.}$$

Tablica wartości $r = q + A p u$ dla pary wodnej p. str. 286 i nast.

E. Spalanie.

Powietrze zawiera w sobie na wagę: 23,58% O i 76,42% N, na objętość zaś: 21,33% O i 78,67% N, przyczem zaniedbano zawartość objętościową 0,8% par wodnych i 0,041% CO₂.

Nowsze doświadczenia z suchym powietrzem, pozbawionem bezwodnika węglowego (CO₂), wykazały na wagę: 23,2% O, 75,6% N i 1,2% argonu; albo też na objętość: 21% O, 78,06 N i 0,04% argonu. Podług Leduc'a na szerokości geograficznej Paryża, przy temperaturze 0° i ciśnieniu 760 mm sl. rt. 1 l O waży 1,4293 g. 1 l N waży 1,2507 g. a 1 l argonu waży 1,780 g.

Przy **spalaniu zupełnem** materiału palnego swobodny H łączy się bezpośrednio z C, tworząc lekkie węglowodory (gaz błotny) CH₄ albo ciężkie węglowodory (etylen) C₂H₄, które, jako łatwo palne, łączą się dalej z tlenem powietrza na CO₂ i H₂O. Woda materiału palnego rozkłada się: H łączy się z C na węglowodór, O zaś z C na CO, poczem obydwa gazy spalają się z O powietrza na CO₂ i H₂O.

Przy **spalaniu niezupełnem** gazy palne uchodzą częściowo niespalone.

Wszystkimi procesami spalania rządzi prawo:

Ilość ciepła, oswobodzona przy łączeniu się dwóch ciał, wiąże się powrotnie przy ich rozkładzie.

H₂O zawiera na wagę 11,19% H i 88,81% O.

CO₂ " " " 27,27% C i 72,73% O.

CO " " " 42,86% C i 57,14% O.

CO₂ w zetknięciu z żarzącym się C redukuje się na CO (CO₂ + C = 2 CO). Ilość ciepła jest ta sama, czy C spala się naprzód na CO, a następnie na CO₂, czy też odrazu na CO₂.

Spółczynnikiem odparowania danego paliwa nazywa się ta ilość kg wody przy temperaturze określonej, jaką jeden kg paliwa zamienia na parę o prężności określonej.

Wartością opałową, czyli pełną jego wydajnością cieplikową nazywamy ilość ciepłostek, jaką przy zupełnem spalaniu wytwarza 1 kg danego paliwa.

Jeżeli paliwo zawiera c kg węgla, h kg wodoru, s kg siarki, a kg tlenu i w kg wody wchłoniętej (hygroskopijnej), to przy zalo-

zeniu, że woda gazów spalania się ulotni jako para o 20°, otrzymamy w przybliżeniu:

$$p = 8100c + 29000(h - \frac{1}{8}a) + 2500s - 600w \text{ cpl.}$$

Ilość powietrza L (z zawartością 21% objętościowego tlenu), teoretycznie niezbędna do spalania 1 kg paliwa, równa się:

$$L = \frac{(\frac{8}{3}c + 8h + s - a) 100}{1,293 \cdot 1,1056 \cdot 21} = 3,33(2,667c + 8h + s - a) \text{ m}^3.$$

Jeżeli analiza gazu wykaże w procentach objętościowych: $k\%$ bezwodnika węglowego, $o\%$ tlenu i $n\%$ azotu, to stosunek zużytej ilości powietrza do teoretycznie niezbędnej będzie jak $v:1$, a wi. c:

$$v = \frac{n}{n - \frac{79}{21}o}, \text{ albo } v = \frac{21}{21 - 79\frac{o}{n}}.$$

Ilość gazów spalania G . Przy powyższej oznaczonej analizie gazy spalania z 1 kg paliwa zawierałyby w sobie: bezwodnika węglowego $1,854c = K \text{ m}^3$; tlenu $K(o:k) = O \text{ m}^3$; azotu $K(n:k) = N \text{ m}^3$, przy przeliczeniu objętości na 0° i 760 mm sł. rt. Ilość pary wodnej W w gazach spalania wylicza się z zawartości wody w paliwie (w), z tworzącej się przez spalanie wodoru wody ($9h$) i z wody zawartej w powietrzu użytym do spalania. 1 kg paliwa wydaje zatem gazów spalania:

$$G = 3,667c + 1,430O + 1,257N + W \text{ kg,}$$

$$G = K \left(1 + \frac{o+n}{k} \right) + \frac{W}{0,805} \text{ m}^3 \text{ przy } 0^\circ \text{ i } 760 \text{ mm sł. rt.}$$

Spalanie węgla kamiennego *).

Skład w procentach na wagę						v	vL m ³	k % objętości	G m ³	i %
C	H	O	S	H ₂ O	Popioł					
80	4,2	5	0,8	4	6	1	7,82	18,8	10,4	4,62
Węgiel doborowy. $p = 7500$ cpl.						1,5	11,7	12,4	15,8	6,74
						2	15,6	9,36	21,1	8,86
						3	23,5	6,18	31,8	13,1
						4	31,3	4,62	42,5	17,3
70	4,3	8	0,7	7	10	1	6,86	18,7	9,81	4,65
Węgiel średni. $p = 6600$ cpl.						1,5	10,3	12,4	14,5	6,76
						2	13,7	9,23	19,2	8,83
						3	20,6	6,12	27,9	13,1
						4	27,4	4,58	37,2	17,3
50	4,5	13	0,5	15	17	1	4,96	18,2	7,41	4,72
Węgiel lichi. $p = 4800$ cpl.						1,5	7,44	12,0	10,8	6,81
						2	9,92	8,97	14,2	8,93
						3	14,9	5,95	21,0	13,1
						4	19,8	4,45	27,7	17,3

*) F. Bode, Westontaschenbuch: Essen, G. D. Baedeker.

Tablica powyższa przedstawia średni skład i wartość opałową trzech różnych gatunków węgla kamiennego niemieckiego. Węgiel z zagłębia Dąbrowskiego z pokładów Redenowskich posiada 6200 do 6400 ciepł., z pokładów nad lub podredenowskich 5600—5800 ciepł. Spalenie następuje przy v -krotnej ilości powietrza L w stosunku do teoretycznie niezbędnej, 1 kg węgla wymaga zatem vL m³ powietrza przy 0° i 760 mm sl. rt.; około 3% węgla pozostaje niespalone. Wytwarza się przytem k % (objętościowych) bezwodnika węglowego i G m³ ogólnej ilości gazów (wszystko przy 100°). Na każde 100° temperatury gazów spalenia uchodzi przez komin i % wartości opałowej p .

Temperaturą spalania (pyrometryczną wartością paliwa) T nazywamy temperaturę wytworzoną przy zupełnym spaleniu paliwa.

Jeżeli 1 kg paliwa zawiera w sobie c kg węgla, h kg wodoru, w kg wody chemicznie związanej i A kg popiołu, to temperatura spalania będzie:

$$T = \frac{2785 c + 10200 h - 186 w}{c + 3,65 h + 0,16 w + 0,07 A}$$

przy początkowej temperaturze paliwa i powietrza 0°, stałym ciśnieniu 760 mm sl. rt., dopuszczeniu tylko teoretycznie niezbędnej ilości powietrza i przy zupełnym spaleniu całego C na CO_2 .

Teoretycznie wypada temperatura spalania, jeżeli spalamy:

C w O na CO_2 : $T = 10015^{\circ}$, w powietrzu: $T = 2716^{\circ}$,

CO „ O „ CO_2 : $T = 6950^{\circ}$, „ „ : $T = 2967^{\circ}$,

H „ O „ H_2O : $T = 6744^{\circ}$, „ „ : $T = 2694^{\circ}$.

Zupełne spalanie 1 kg rozmaitego paliwa.

Paliwo	Średni skład w % wag.			Popiół	p		L		G	
	C	H	H ₂ O		Ciepl.	Stopni	kg	m ³	kg	m ³
Drzewo wyschłe na pow.	39,6	—	59,4	1	2820	2020	4,48	3,466	5,47	4,201
Torf wyschły na powietrzu	42,0	1,4	51,6	5	3550	2180	5,23	4,044	6,18	4,759
Węgiel brunat., włóknisty	44,4	0,9	47,2	8	3600	2225	5,33	4,123	6,25	4,755
„ brunat. ziemny	50,4	1,8	37,8	10	4450	2380	6,32	4,884	7,22	5,449
„ brunat. muszłowy	57,0	2,8	35,2	5	5350	2470	7,40	5,724	8,35	6,313
„ kam. zlewający się	70,4	3,1	23,5	3	6600	2605	9,02	6,977	10,0	7,435
„ kam. spiekający się	76,6	4,1	16,3	3	7500	2670	10,1	7,782	11,1	8,206
„ kam. rozsypujący się	79,6	4,1	13,3	3	7760	2690	10,4	8,045	11,4	8,431
Antracyt	87,7	3,1	7,2	2	8110	2735	11,0	8,491	12,0	8,744
Koks	92,0	—	—	5	7430	2775	9,62	7,441	10,6	8,043
Węgiel drzewny	88,0	2,0	8,0	2	7750	2110	10,4	8,016	11,4	8,429
Gaz świetlny **)	—	—	—	—	13745	2390	16,0	12,4	17,0	13,60

*) Według Harmann'a—wartości opałowe p nafty p . Zeitschr. d. V. d. Ing. 1895, str. 401 i 590.

**) O ciężkości właściwej 0,38 i składzie w procentach na wagę: 4 C₂H₄; 51 CH₄, 42 H₂; 3 CO.

Uwaga. Ilości powietrza teoretycznie do spalania niezbędne L m³ (w rubryce 9) i wytwarzające się stąd ilości gazów G m³ (w rubryce 11) przeliczone w tablicy na 0° i 760 mm sł. rt.

Podług Pécelet'a dla zupełnego spalania 1 kg paliwa teoretycznie niezbędną jest ilość powietrza:

dla zupełnie suchego drzewa	$L = 6,07$ kg,
„ „ „ torfu	$L = 7,29$ kg,
„ koksu torfowego (z 20% popiołu).	$L = 9,18$ kg,
„ średniego węgla kamiennego	$L = 10,8$ kg.

Do zupełnego spalania paliwa w praktyce **istotnie potrzebna ilość powietrza** bywa równą $2L$, w przeciwnym bowiem razie gazy nie zmieszająby się z powietrzem dostatecznie, by zupełnie się spalić.

Wartości opałowe, bezwzględne μ .

1 kg ciała przy zupełnym spaleniu w tlenie wydziela ciepłostek:

Ciało spalane	Cpł.	Ciało spalane	Cpł.
Alkohol	7184	Oliwa	11200
Antymon	961	Olów	266
Cynk (Zn na ZnO)	1301	Olej smolny z węgla brunatnego	9953
Eter	9028	„ rzepakowy	9300
Etylen (C_2H_4 na $2CO_2 + 2H_2O$ · płyn)	11958	„ terpentynowy	10852
Etylen (C_2H_4 na $2CO_2 + 2H_2O$ ·gaz)	11186	Siarka (S na SO_2)	2500
Fosfor (P na P_2O_5)	5953	Siarczek węgla	3400
Gaz świetlny . . . 11000 do	12000	„ wodoru	2741
Gaz błotny (CH_4 na $CO_2 +$ $2H_2O$, płyn)	13346	Spirytus drzewny	5307
Gaz błotny (CH_4 na $CO_2 +$ $2H_2O$, gaz)	11996	Tlenek węgla (CO na CO_2)	2403
Krzem (Si na SiO_2)	7830	Węgiel drzewny (C na CO_2)	8080
Lój	8370	„ „ (C na CO)	2473
Miedź (Cu na CuO)	684	Wosk	9000
Nafta 10500 do	11000	Wodór (H na H_2O , płyn)	34180
Naftowe odpadki (mazut)	10495	„ (H na H_2O , gaz)	28780
		Żelazo (Fe na FeO)	1258
		„ (Fe na Fe_3O_4)	1677
		„ (Fe na Fe_2O_3)	1887

Uwaga. Gdzie w nawiasie zaznaczono „płyn”, wliczono już w tablicy ilość ciepła najawniającego się przy skropleniu wody. Gdzie zaznaczono „gaz”, uwzględniono tylko wytworzenie się pary wodnej przy spalaniu, nie wzięto natomiast w rachubę ciepłika utajonego tejże pary.

F. Mechaniczna teoria ciepła.

1. Mechaniczna teoria ciepła polega na zasadzie doświadczalnej, że:

Ciepło i praca są równoważne.

t. zn. we wszystkich wypadkach, gdzie z ciepła powstaje praca, znika, a raczej zużywa się na to pewna ilość ciepła, proporcjonalna do pracy wytworzonej i naodwrot przez dokonanie takiej samej ilości pracy też sama ilość ciepła napowrót się wytwarza.

Praca mechaniczna, powstająca przy zużyciu jednej ciepłotki (p. str. 316), nazywa się „pracą równoważną ciepłotce“ lub mechanicznym równoważnikiem ciepła i oznacza się przez $1:A$. Naodwrot A oznacza cieplikowy równoważnik pracy.

Stąd: $1:A = 428 \text{ kgm/cpl.}^*)$

2. Oznaczamy przez:

v objętość właściwą ciała w m^3/kg ,

p ciśnienie właściwe, t. j. ciśnienie otaczających gazów lub pary, wywierane prostopadle na powierzchnię ciała w kg/m^2 ,

c_v cieplik właściwy przy stałej objętości,

c_p cieplik właściwy przy stałym ciśnieniu (p. str. 317),

n stosunek c_p i c_v (p. str. 277 i 317),

t temperaturę, $T = a + t = 273 + t =$ temperaturę bezwzględną,

U pracę wewnętrzną, zawartą w 1 kg danego ciała,

AU odpowiadającą tej pracy ilość ciepła w cpl./kg;

dalej: $X = \frac{\partial U}{\partial p}$, $Y = \frac{\partial U}{\partial v} + p$,

Q ilość ciepła doprowadzaną do 1 kg ciała podczas zmiany w jego stanie w cpl./kg,

$L = \int p \cdot dv$ pracę zewnętrzną w kgm/kg , wykonaną przy zmianie stanu.

Jeżeli v ma wzrosnąć o dv , a p o dp , to ilość ciepła, którą należy doprowadzić, równa się przyrostowi ciepła wewnętrznego, zwiększonemu o ilość ciepła, jaka odpowiada mającej się wykonać pracy zewnętrznej:

$$dQ = A(dU + p \cdot dv).$$

Trzy równania zasadnicze mechanicznej teorii ciepła są:

$$1) \dots \dots \dots \frac{\partial Y}{\partial p} - \frac{\partial X}{\partial v} = 1;$$

$$2) \dots \dots \dots T = Y \frac{\partial T}{\partial p} - X \frac{\partial T}{\partial v};$$

$$3) \left\{ \begin{array}{l} \dots \dots \dots dQ = A(X \cdot dp + Y \cdot dv), \\ \dots \dots \dots dQ = \frac{A}{\partial T} [X \cdot dT + T \cdot dv] = \frac{A}{\partial T} [Y \cdot dT - T \cdot dp] \end{array} \right.$$

Wprowadzając cieplik właściwy c_v i c_p , otrzymujemy:

$$X = \frac{c_v}{A} \frac{\partial T}{\partial p} \quad \text{i} \quad Y = \frac{c_p}{A} \frac{\partial T}{\partial v},$$

*) Wartość $1:A$ podawaną bywa rozmaicie w literaturze technicznej, a mianowicie w granicach wahających się między 423.5 a 436 $\text{kgm}/\text{cpl.}$

a podstawiając te wartości w równania zasadnicze, otrzymujemy je w postaci:

$$1a) \dots A = \frac{\partial \left[c_p \frac{\partial T}{\partial v} \right]}{\partial p} - \frac{\partial \left[c_v \frac{\partial T}{\partial p} \right]}{\partial v};$$

$$2a) \dots AT = (c_p - c_v) \frac{\partial T}{\partial p} \frac{\partial T}{\partial v};$$

$$3a) \left\{ \dots dQ = c_v \frac{\partial T}{\partial p} dp + c_p \frac{\partial T}{\partial v} dv,$$

$$\dots dQ = c_v \cdot dT + \frac{AT}{\partial T} dv = c_p \cdot dT - \frac{AT}{\partial T} dp.$$

Zastosowanie tych równań do gazów i par stanowi właściwy przedmiot „Mechaniki gazów i par“ (patrz str. 275 i nast.).

3. Każda zmiana stanu ciała (objaśnienie patrz str. 239) wyraża się równaniem między ciśnieniem a objętością ciała. Przedstawiając równanie to w prostokątnym układzie współrzędnych, otrzymujemy **krzywą zmian stanu ciała**.

Zmiana stanu ciała nazywa się **odwrotną**, t. zn., iż może się ona dokonywać i w kierunku odwrotnym, jeżeli podczas wzajemnej przemiany pracy odkształcającej na ciepło i odwrotnie każdorazowe ciśnienia i temperatury we wszystkich punktach ciała mogą być uważane w danej chwili za równowielkie, czyli jeżeli się ciśnienie zewnętrzne ustawicznie tylko nieskończenie mało różni od ciśnienia samego ciała.

Zmianami nieodwrotnymi są, np. przemiana pracy drugorzędnych oporów ruchu na ciepło, albo też przechodzenie ciepła z ciała posiadającego wyższą temperaturę do ciała o temperaturze niższej, czy to przez przewodnictwo, czy też przez promieniowanie.

Zmiana stanu, przy której ciało wraca do stanu pierwotnego, nazywa się **pełnym przebiegiem kołowym** (krzywa zmian stanu ciała jest natenczas krzywą zamkniętą). Jeżeli nadto zmiana stanu jest odwrotną, to odbywa się pełny, odwracalny przebieg kołowy

Pracę mechaniczną $L = \int p \cdot dv$, wykonywaną przez 1 kg danego ciała przy dowolnej zmianie stanu, przedstawia nam pole F , ograniczone rzędną początkową i końcową, oraz leżącymi między temi rzędnymi kawałkami krzywej zmian stanu i osi odciętych, jeżeli przez krzywą tę przedstawimy w prostokątnym układzie współrzędnych wzajemną zależność wielkości p i v . Przy pełnym przebiegu kołowym pole F będzie ograniczone krzywą zamkniętą, bo natenczas rzędna początkowa zlewa się z końcową.

Dla pełnego odwracalnego przebiegu kołowego będzie:

$$F = \int \frac{dQ}{A} \quad \text{i} \quad \int \frac{dQ}{AT} = 0.$$