

ГОСТ 8.157-75

Группа Т80

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР

Государственная система обеспечения единства измерений

ШКАЛЫ ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ

State system for ensuring the uniformity of measurements. Practical temperature scales

Дата введения 1976-01-01

Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 12 мая 1975 г. N 1246 срок введения установлен с 01.01.76

ВЗАМЕН [ГОСТ 8550-61](#) (в части МПТШ-48) и [ГОСТ 12442-66](#)

ПЕРЕИЗДАНИЕ. Декабрь 1985 г.

Настоящий стандарт устанавливает практические температурные шкалы, предназначенные для обеспечения единства измерений температуры в диапазоне от 0,01 до 100000 К, и методы их осуществления.

В стандарте учтены рекомендации Международного комитета мер и весов и его Консультативного комитета по термометрии.

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Совокупность практических температурных шкал, установленных настоящим стандартом, образует единую систему температурных шкал, непрерывную от 0,01 до 100000 К. Практические температурные шкалы реализуются различными методами.

1.2. Практические температурные шкалы установлены таким образом, что температуры, измеренные по ним, насколько возможно близки к термодинамическим температурам.

1.3. Единицей температуры по практическим температурным шкалам, установленным настоящим стандартом, так же как и единицей термодинамической температуры, является кельвин (К).

1.4. Допускается применение единицы температуры - градуса Цельсия ( $^{\circ}\text{C}$ ). Между температурой  $T$ , выраженной в кельвинах, и температурой  $t$ , выраженной в градусах Цельсия, установлено соотношение

$$t = T - T_0,$$

(1)

где  $T_0 = 273,15$  К.

Градус Цельсия равен кельвину. Температурные разности выражаются в кельвинах или градусах Цельсия.

1.5. Методы воспроизведения практических температурных шкал, установленных настоящим стандартом, определяют требования к средствам измерений, входящим в состав государственных эталонов для соответствующих диапазонов температуры.

## 2. ПРАКТИЧЕСКИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ШКАЛЫ И МЕТОДЫ ИХ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

2.1. Температурная шкала термометра магнитной восприимчивости ТШТМВ, основанная на зависимости магнитной восприимчивости  $\chi$  термометра из церий-магниевого нитрата от температуры  $T$ , устанавливается для диапазона температур от 0,01 до 0,8 К. Эта зависимость выражается законом Кюри

$$\chi = C/T, \quad (2)$$

где  $C$  - константа, определяемая градуировкой магнитного термометра.

2.2. Шкала  ${}^3\text{He}$  1962 г., основанная на зависимости давления  $P$  насыщенных паров изотопа гелия-3 от температуры  $T$ , устанавливается для диапазона температур от 0,8 до 1,5 К. Эта зависимость выражается уравнением

$$\ln p = 2,24846 \ln T - \frac{2,49174}{T} + 4,80386 - 0,286001T + 0,198608T^2 - 0,0502237T^3 + 0,00505486T^4, \quad (3)$$

где  $P$  - давление в мм рт.ст. при 0 °С и ускорении свободного падения, равном 9,80665 м/с<sup>2</sup>.

2.3. Шкала  ${}^4\text{He}$  1958 г., основанная на зависимости давления  $P$  насыщенных паров изотопа гелия-4 от температуры  $T$ , устанавливается для диапазона температур от 1,5 до 4,2 К. Эта зависимость представлена в табличной форме (приложение 1).

2.4. Температурная шкала германиевого термометра электрического сопротивления ТШГТС, основанная на зависимости сопротивления  $R$  германиевого термометра от температуры  $T$ , устанавливается для диапазона температур от 4,2 до 13,81 К. Эта зависимость выражается соотношением

$$\lg R = \sum_{i=0}^{i=8} A_i (\lg T)^i, \quad (4)$$

где  $A_i$  - константы, определяемые градуировкой германиевого термометра сопротивления по газовому термометру.

2.5. Международная практическая температурная шкала 1968 г. (МПТШ-68) устанавливается для диапазона температур от 13,81 до 6300 К.

МПТШ-68 основана на ряде воспроизводимых равновесных состояний, которым приписаны определенные значения температур - основных реперных (постоянных) точек, и на эталонных приборах, градуированных при этих температурах. В интервалах между температурами реперных точек интерполяцию осуществляют по формулам, устанавливающим связь между показаниями эталонных приборов и значениями температуры.

Основные реперные точки реализуются как определенные состояния фазовых равновесий некоторых чистых веществ. Равновесные состояния и приписанные им значения температуры приведены в приложении 2.

2.5.1. В качестве эталонного прибора для области температур от 13,81 до 903,89 К применяют платиновый термометр сопротивления. Относительное сопротивление  $W_T$  термометра определяют по формуле

$$W_T = R_T / R_{273,15K}, \quad (5)$$

где  $R_T$  - сопротивление термометра при температуре  $T$ ;

$R_{273,15K}$  - сопротивление термометра при температуре 273,15 К.

Относительное сопротивление термометра должно быть не менее

1,39250 при  $T=373,15$  К.

Для области температур ниже 0 °С соотношение между сопротивлением термометра и температурой определяют стандартной функцией и специальными уравнениями для вычисления поправок к этой функции (п.2.5.2).

Для области от 0 до 630,74 °С соотношение между сопротивлением термометра и температурой выражается двумя уравнениями в форме полиномов (п.2.5.3).

В качестве эталонного прибора для температур от 630,74 до 1064,43 °С применяют термоэлектрический термометр с электродами из платинородия (10% родия) и платины. Соотношение между электродвижущей силой и температурой выражается уравнением второй степени (п.2.5.4).

Для области температур выше 1337,58 К (1064,43 °С) температуру определяют в соответствии с законом излучения Планка (п.2.5.5).

2.5.2. Для области от 13,81 до 273,15 К температуру определяют по формуле

$$W_T = W_{ст}(T) + \Delta W(T), \quad (6)$$

где  $W_T$  - относительное сопротивление платинового термометра сопротивления;

$W_{ст}(T)$  - относительное сопротивление, соответствующее стандартной функции приложения 3 и таблице значений приложения 4.

Поправки  $\Delta W(T)$  при температурах основных реперных точек получают из измеренных значений  $W_T$  и соответствующих значений  $W_{ст}(T)$ , приведенных в приложении 5. Отличия измеренных значений  $W_T$  от значений  $W_{ст}(T)$  в реперных точках рассчитывают по уравнениям, приведенным в приложении 6.

Поправки  $\Delta W(T)$  при промежуточных температурах определяют интерполяционными формулами. Область между 13,81 и 273,15 К разделена на четыре участка, в каждом из которых  $\Delta W(T)$  определяют полиномом от  $T$ . Константы в полиномах определяют из значений  $\Delta W(T)$  в реперных точках и из условий равенства производных  $d\Delta W(T)/dT$  на границах соседних температурных участков:

а) на участке от 13,81 до 20,28 К поправочная функция имеет вид

$$\Delta W(T) = A_1 + B_1 T + C_1 T^2 + D_1 T^3, \quad (7)$$

где  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $C_1$  и  $D_1$  - константы, определяемые из значений поправок ( $\Delta W = W - W_{ст}$ ), измеренных в тройной точке равновесного водорода, при температуре 17,042 К и в точке кипения равновесного водорода, а также из значения производной поправочной функции в точке кипения равновесного водорода, вычисленного по уравнению (8);

б) на участке от 20,28 до 54,361 К поправочная функция имеет вид

$$\Delta W(T) = A_2 + B_2 T + C_2 T^2 + D_2 T^3, \quad (8)$$

где  $A_2$ ,  $B_2$ ,  $C_2$  и  $D_2$  - константы, определяемые из значений поправок ( $\Delta W = W - W_{ст}$ ), измеренных в точке кипения равновесного водорода, в точке кипения неона и в тройной точке кислорода, а также из значения производной поправочной функции в тройной точке кислорода, вычисленного по уравнению 9;

в) на участке от 54,361 до 90,188 К поправочная функция имеет вид

$$\Delta W(T) = A_3 + B_3 T + C_3 T^2, \quad (9)$$

где  $A_3$ ,  $B_3$  и  $C_3$  - константы, определяемые из значений поправок ( $\Delta W = W - W_{ст}$ ), измеренных в тройной точке и в точке кипения кислорода, а также из значения производной поправочной функции в точке кипения кислорода, вычисленного по уравнению 10;

г) на участке от 90,188 до 273,15 К справочная функция имеет вид

$$\Delta W(T) = A_4 t + C_4 t^3 (t - 100^\circ \text{C}), \quad (10)$$

где  $t = T - 273,15$  К;  $A_4$  и  $C_4$  - константы, определяемые из значений поправок ( $\Delta W = W - W_{\text{СТ}}$ ), измеренных в точке кипения кислорода и в точке кипения воды или в точке затвердевания олова (примечание к приложению 2).

2.5.3. Для области от 0 до  $630,74^\circ \text{C}$  температуру  $t$  в градусах Цельсия рассчитывают по уравнению

$$t = t' + 0,045 \left( \frac{t'}{100^\circ \text{C}} \right) \left( \frac{t'}{100^\circ \text{C}} - 1 \right) \left( \frac{t'}{419,58^\circ \text{C}} - 1 \right) \left( \frac{t'}{630,74^\circ \text{C}} - 1 \right), \quad (11)$$

где  $t' = \frac{1}{\alpha} [W(t') - 1] + \delta \left( \frac{t'}{100^\circ \text{C}} \right) \left( \frac{t'}{100^\circ \text{C}} - 1 \right)$ ;

$$W(t') = R(t') / R(0^\circ \text{C}); \quad (12a)$$

$R(t')$  и  $R(0^\circ \text{C})$  - сопротивления термометра при температурах  $t'$  и  $0^\circ \text{C}$  соответственно;

$\alpha$  и  $\delta$  - константы, определяемые измерением сопротивления в тройной точке воды, точке кипения воды или затвердевания олова (примечание к приложению 2) и точке затвердевания цинка.

Уравнение (12a) эквивалентно уравнению

$$W(t') = 1 + At' + Bt'^2, \quad (12b)$$

где  $A = \alpha(1 + \delta/100^\circ \text{C})$ ;  $B = -10^{-4} \alpha \cdot \delta^\circ \text{C}^{-2}$ .

2.5.4. Для области от  $630,74$  до  $1064,43^\circ \text{C}$  температуру рассчитывают по уравнению

$$E_t = a + bt + ct^2, \quad (13)$$

где  $E_t$  - электродвижущая сила эталонного платинородий-платинового термоэлектрического термометра, один спай которого находится при температуре  $0^\circ \text{C}$ , а другой - при температуре  $t$ ;

$a$ ,  $b$ ,  $c$  - константы, вычисляемые по значениям  $E$  при температуре  $630,74 \pm 0,2^\circ \text{C}$ , измеряемой платиновым термометром сопротивления, и в точках затвердевания серебра и золота.

Платиновый электрод эталонного термоэлектрического термометра должен иметь относительное сопротивление  $W(100^\circ \text{C})$  не менее 1,3920. Платинородиевый электрод должен содержать 10% родия и 90% платины.

Термоэлектрический термометр должен быть таким, чтобы значения электродвижущей силы  $E_{(630,74^\circ \text{C})}$ ,  $E_{(961,93^\circ \text{C})}$  и  $E_{(1064,43^\circ \text{C})}$  удовлетворяли следующим соотношениям в микровольтах:

$$E_{(1064,43^{\circ}\text{C})} = 10300 \pm 50; \quad (14)$$

$$E_{(1064,43^{\circ}\text{C})} - E_{(961,93^{\circ}\text{C})} = 1183 + 0,158[E_{(1064,43^{\circ}\text{C})} - 10300] \pm 4; \quad (15)$$

$$E_{(1064,43^{\circ}\text{C})} - E_{(630,74^{\circ}\text{C})} = 4,766 + 0,631[E_{(1064,43^{\circ}\text{C})} - 10300] \pm 8. \quad (16)$$

2.5.5. Для области выше 1337,58 К (1064,43 °С) температуру  $T$  определяют по уравнению

$$\frac{L_{\lambda}(T)}{L_{\lambda}[T(\text{Au})]} = \frac{\exp\left[\frac{C_2}{\lambda T(\text{Au})}\right] - 1}{\exp\left[\frac{C_2}{\lambda T}\right] - 1}, \quad (17)$$

где  $L_{\lambda}(T)$  и  $L_{\lambda}[T(\text{Au})]$  - спектральные плотности энергии излучения черного тела для длины волны  $\lambda$  при температуре  $T$  и в точке затвердевания золота  $T(\text{Au})$ . Значение константы  $C_2=0,014388$  м·К.

2.5.6. Воспроизведение МПТШ-68 осуществляется аппаратурой, методами и технологией для реализации реперных точек и эталонными приборами, соответствующими рекомендациям, указанным в справочном приложении 7.

2.5.7. Ориентировочные значения расхождений между значениями по МПТШ-68 и МПТШ-48 приведены в справочном приложении 8.

2.6. Температурная шкала пирометра микроволнового излучения (ТШПМИ), основанная на зависимости спектральной плотности энергии излучения  $L(T)$  черного тела от температуры  $T$  в микроволновом диапазоне излучения, устанавливается для диапазона температур от 6300 до 100000 К.

Эта зависимость выражается уравнением

$$\frac{L(T)}{L[T(\text{Au})]} = \frac{T}{T(\text{Au})}, \quad (18)$$

где  $L(T)$  и  $L[T(\text{Au})]$  - спектральная плотность энергии излучения черного тела в диапазоне микроволнового радиоизлучения при температуре  $T$  и в точке затвердевания золота  $T(\text{Au})$ .

Для построения температурной шкалы по микроволновому излучению используют тепловое излучение с длинами волн более 1 мм.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ДАВЛЕНИЕМ НАСЫЩЕННЫХ ПАРОВ ИЗОТОПА ГЕЛИЯ-4 И ТЕМПЕРАТУРОЙ В КЕЛЬВИНАХ**

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ДАВЛЕНИЕМ $p$ НАСЫЩЕННЫХ ПАРОВ ИЗОТОПА ГЕЛИЯ-4 И ТЕМПЕРАТУРОЙ $T$ В КЕЛЬВИНАХ

Таблица рассчитана для ускорения свободного падения, равного 9,80665 м/с<sup>2</sup>.

<i>P</i>		<i>T</i>
мм рт.ст.	Па	
2	266,6	1,3863
3	400,0	1,4652
4	533,3	1,5221
5	666,6	1,5707
6	799,9	1,6123
7	933,3	1,6490
8	1066,6	1,6820
9	1199,9	1,7120
10	1333,2	1,7396
11	1466,5	1,7653
12	1599,9	1,7893
13	1733,2	1,8119
14	1866,5	1,8333
15	1999,8	1,8536
16	2133,2	1,8729



17	2266,0	1,8914
18	2400,0	1,9092
19	2533,0	1,9262
20	2666,0	1,9427
21	2800,0	1,9586
22	2933,0	1,9740
23	3066,0	1,9889
24	3200,0	2,0033
25	3333,0	2,0174
26	3466,0	2,0311
27	3600,0	2,0444
28	3733,0	2,0575
29	3866,0	2,0702
30	4000,0	2,0827
31	4133,0	2,0949
32	4266,0	2,1068
33	4400,0	2,1185

34	4533,0	2,1300
35	4666,0	2,1413
36	4800,0	2,1524
37	4933,0	2,1634
38	5066,0	2,1741
39	5200,0	2,1848
40	5333,0	2,1952
41	5466,0	2,2055
42	5600,0	2,2156
43	5733,0	2,2255
44	5866,0	2,2353
45	6000,0	2,2450
46	6133,0	2,5444
47	6266,0	2,2638
48	6399,0	2,2730
49	6533,0	2,2821
50	6666,0	2,2911
60	7999,0	2,3745

70	9333,0	2,4489
80	10666,0	2,5163
90	11999,0	2,5781
100	13332,0	2,6354
110	14665,0	2,6888
120	15999,0	2,7390
130	17332,0	2,7865
140	18665,0	2,8315
150	19998,0	2,8744
160	21332,0	2,9153
170	22665,0	2,9546
180	23998,0	2,9924
190	25331,0	3,0287
200	26664,0	3,0637
210	27998,0	3,0976
220	29331,0	3,1304
230	30664,0	3,1622

240	31997,0	3,1931
250	33331,0	3,2231
260	34664,0	3,2524
270	35997,0	3,2808
280	37330,0	3,3086
290	38663,0	3,3357
300	39997,0	3,3622
310	41330,0	3,3880
320	42663,0	3,4134
330	43996,0	3,4382
340	45330,0	3,4625
350	46663,0	3,4863
360	47996,0	3,5097
370	49329,0	3,5326
380	50663,0	3,5551
390	51996,0	3,5772
400	53329,0	3,5990

410	54662,0	3,6204
420	55995,0	3,6414
430	57329,0	3,6621
440	58662,0	3,6825
450	59995,0	3,7026
460	61328,0	3,7224
470	62662,0	3,7419
480	63995,0	3,7611
490	65328,0	3,7800
500	66661,0	3,7987
510	67994,0	3,8172
520	69328,0	3,8354
530	70661,0	3,8533
540	71994,0	3,8711
550	73327,0	3,8886
560	74661,0	3,9059
570	74994,0	3,9230
580	77327,0	3,9399

590	78660,0	3,9566
600	79993,0	3,9731
610	81327,0	3,9894
620	82660,0	4,0056
630	83993,0	4,0215
640	85326,0	4,0373
650	86660,0	4,0530
660	87993,0	4,0684
670	89326,0	4,0877
680	90659,0	4,0989
690	91992,0	4,1139
700	93726,0	4,1287
710	94659,0	4,1435
720	95992,0	4,1580
730	97325,0	4,1725
740	98659,0	4,1868
750	99992,0	4,2009

760	101325,0	4,2150
770	102658,0	4,2289
780	103991,0	4,2427
790	105325,0	4,2564

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ОСНОВНЫЕ РЕПЕРНЫЕ (ПОСТОЯННЫЕ) ТОЧКИ МПТШ-68

### ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Значения температур даны для состояния равновесия при давлении  $P$ , равном 101,325 кПа (760 мм рт.ст.), за исключением тройных точек и точки 17,042 К

Состояние фазового равновесия	Значение температуры, К (°C)
Равновесие между твердой, жидкой и парообразной фазами равновесного водорода (тройная точка равновесного водорода)	13,81 (-259,34)
Равновесие между жидкой и парообразной фазами равновесного водорода при давлении 33,330 кПа (250 мм рт.ст.)	17,042 (-256,108)
Равновесие между жидкой и парообразной фазами равновесного водорода (точка кипения равновесного водорода)	20,28 (-252,87)
Равновесие между жидкой и парообразной фазами неона (точка кипения неона)	27,102 (-246,048)
Равновесие между твердой, жидкой и парообразной фазами кислорода (тройная точка кислорода)	54,361 (-218,789)
Равновесие между жидкой и парообразной фазами кислорода (точка кипения кислорода)	90,188 (-182,962)
Равновесие между твердой, жидкой и парообразной фазами воды (тройная точка воды)	273,16 (0,01)
Равновесие между жидкой и парообразной фазами воды (точка кипения воды)	373,15 (100)
Равновесие между твердой и жидкой фазами цинка (точка затвердевания цинка)	692,73 (419,58)
Равновесие между твердой и жидкой фазами серебра (точка затвердевания серебра)	1235,08 (961,93)
Равновесие между твердой и жидкой фазами золота (точка затвердевания золота)	1337,58 (1064,43)



---

Примечание. Состояние равновесия между твердой и жидкой фазами олова (точка затвердевания олова) имеет значение  $t=231,9681$  °С и может быть использовано вместо точки кипения воды.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ 3. СТАНДАРТНАЯ ФУНКЦИЯ ДЛЯ ПЛАТИНОВЫХ ТЕРМОМЕТРОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ ТЕМПЕРАТУР ОТ 13,81 до 273,15 К**

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

$$T = \left\{ A_0 + \sum_{i=1}^{20} A_i [\ln W_{ст}(T)]^i \right\} \text{ К.}$$

Значения коэффициентов  $A_i$

$i$	$A_i$
0	$0,27315 \cdot 10^3$
1	$0,2508462096788033 \cdot 10^3$
2	$0,1350998699649997 \cdot 10^3$
3	$0,5278567590085172 \cdot 10^2$
4	$0,2767685488541052 \cdot 10^2$
5	$0,3910532053766837 \cdot 10^2$
6	$0,6556132305780693 \cdot 10^2$
7	$0,8080358685598667 \cdot 10^2$
8	$0,7052421182340520 \cdot 10^2$
9	$0,4478475896389657 \cdot 10^2$
10	$0,2125256535560578 \cdot 10^2$
11	$0,7679763581708458 \cdot 10$
12	$0,2136894593828500 \cdot 10$
13	$0,4598433489280693$

14	$0,7636146292316480 \cdot 10^{-1}$
15	$0,9693286203731213 \cdot 10^{-2}$
16	$0,9230691540070075 \cdot 10^{-3}$
17	$0,6381165909526538 \cdot 10^{-4}$
18	$0,3022932378746192 \cdot 10^{-5}$
19	$0,8775513913037602 \cdot 10^{-7}$
20	$0,1177026131254774 \cdot 10^{-8}$

Стандартная функция  $W_{ст}$  при  $T = 273,15$  К переходит в функцию  $W(T)$ , заданную уравнениями (11) и (12) для  $\alpha = 3,9259668 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  и  $\delta = 1,496334 \text{ } ^\circ\text{C}$  таким образом, что при этой температуре совпадают значения функций, а также их первых и вторых производных.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 4. ТАБЛИЦА ЗНАЧЕНИЙ СТАНДАРТНОЙ ФУНКЦИИ

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

$T$	$W_{CT}(T)$
13	0,00123061
14	0,00145973
15	0,00174541
16	0,00209474
17	0,00251512
18	0,00301428
19	0,00359962
20	0,00427780
21	0,00505495
22	0,00593668
23	0,00692804
24	0,00803316
25	0,00925504
26	0,01059585
27	0,01205690
28	0,01363901

29	0,01534261
30	0,01716768
31	0,01911363
32	0,02117944
33	0,02336343
34	0,02566335
35	0,02807645
36	0,03059953
37	0,03322916
38	0,03596155
39	0,03879305
40	0,04171968
41	0,04473760
42	0,04784292
43	0,05103178
44	0,05430036
45	0,05764486

46	0,06106161
47	0,06454679
48	0,06809690
49	0,07170835
50	0,07537756
51	0,07910123
52	0,08287595
53	0,08669859
54	0,09056600
55	0,09447515
56	0,09842336
57	0,10240774
58	0,10642583
59	0,11047506
60	0,11455312
61	0,11855789
62	0,12278722
63	0,12693914

64	0,13111189
65	0,13530363
66	0,13951284
67	0,14373800
68	0,14797773
69	0,15223058
70	0,15649541
71	0,16077108
72	0,16505643
73	0,16935049
74	0,17365240
75	0,17796117
76	0,18227605
77	0,18659628
78	0,19092107
79	0,19524992
80	0,19958212

81	0,20391714
82	0,20825445
83	0,21259344
84	0,21693388
85	0,22127523
86	0,22561712
87	0,22995916
88	0,23430105
89	0,23864248
90	0,24298315
91	0,24732290
92	0,25166128
93	0,25599836
94	0,26033369
95	0,26466718
96	0,26899870
97	0,27332807



98	0,27765516
99	0,28197988
100	0,28630201
101	0,29062154
102	0,29493841
103	0,29925245
104	0,30356359
105	0,30787183
106	0,31217710
107	0,31647939
108	0,32077856
109	0,32507467
110	0,32936765
111	0,33365751
112	0,33794416
113	0,34222768
114	0,34650800
115	0,35078519

116	0,35505910
117	0,35932989
118	0,36359754
119	0,36786199
120	0,37212331
121	0,37638151
122	0,38063657
123	0,38488851
124	0,38913732
125	0,39338316
126	0,39762594
127	0,40186567
128	0,40610242
129	0,41033628
130	0,41456709
131	0,41879507
132	0,42302015

133	0,42724233
134	0,43146169
135	0,43567831
136	0,43989210
137	0,44410322
138	0,44831159
139	0,45251730
140	0,45672033
141	0,46092077
142	0,46511861
143	0,46931387
144	0,47350660
145	0,47769682
146	0,48188459
147	0,48606985
148	0,49025274
149	0,49443319

150	0,49861135
151	0,50278707
152	0,50696058
153	0,51113172
154	0,51530065
155	0,51946737
156	0,52363180
157	0,52779409
158	0,53195417
159	0,53611211
160	0,54026792
161	0,54442167
162	0,54857336
163	0,55272291
164	0,55687048
165	0,56101606
166	0,56515958
167	0,56930112

168	0,57344076
169	0,57757848
170	0,58171423
171	0,58584806
172	0,58997999
173	0,59411008
174	0,59823835
175	0,60236478
176	0,60648931
177	0,61061208
178	0,61473310
179	0,61885229
180	0,62296972
181	0,62708540
182	0,63119939
183	0,63531164
184	0,63942213

185	0,64353094
186	0,64763807
187	0,65174352
188	0,65584730
189	0,65994947
190	0,66404996
191	0,66814886
192	0,67224607
193	0,67634176
194	0,68043577
195	0,68452825
196	0,68861913
197	0,69270841
198	0,69679617
199	0,70088232
200	0,70496694
201	0,70905004

202	0,71313161
203	0,71721174
204	0,72129026
205	0,72536733
206	0,72944288
207	0,73351690
208	0,73758947
209	0,74166059
210	0,74573026
211	0,74979841
212	0,75386518
213	0,75793043
214	0,76199430
215	0,76605672
216	0,77011770
217	0,77417730
218	0,77823545
219	0,78229223

220	0,78634756
221	0,79040151
222	0,79445409
223	0,79850523
224	0,80255506
225	0,80660352
226	0,81065054
227	0,81469625
228	0,81874059
229	0,82278364
230	0,82682531
231	0,83086561
232	0,83490461
233	0,83894224
234	0,84297857
235	0,84701353
236	0,85104726



237	0,85507963
238	0,85911069
239	0,86314046
240	0,86716894
241	0,87119611
242	0,87522199
243	0,87924657
244	0,88326994
245	0,88729200
246	0,89131269
247	0,89533224
248	0,89935049
249	0,90336744
250	0,90738309
251	0,91139753
252	0,91541074
253	0,91942274

254	0,92343343
255	0,92744283
256	0,93145101
257	0,43545805*
258	0,93946371
259	0,94346822
260	0,94747152
261	0,95147352
262	0,95547430
263	0,95947385
264	0,96347219
265	0,96746931
266	0,97146513
267	0,97545980
268	0,97945325
269	0,98344541
270	0,98743642
271	0,99142614

272	0,99541471
273	0,99940199

\* Значение соответствует оригиналу. - Примечание изготовителя базы данных.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 5. ТАБЛИЦА ЗНАЧЕНИЙ ДЛЯ ТЕМПЕРАТУР РЕПЕРНЫХ (ПОСТОЯННЫХ) ТОЧЕК

### ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Реперная (постоянная) точка	$T$	$W_{ст}$
Тройная точка равновесного водорода	13,81	0,00141206
Точка 17,042 К равновесного водорода	17,042	0,00253444
Точка кипения равновесного водорода	20,28	0,00448517
Точка кипения неона	27,102	0,01221272
Тройная точка кислорода	54,361	0,09197252
Точка кипения кислорода	90,188	0,24379909
Точка кипения воды	373,15	1,39259668

## ПРИЛОЖЕНИЕ 6. ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ДАВЛЕНИЯ НАСЫЩЕННЫХ

# ПАРОВ РАВНОВЕСНОГО ВОДОРОДА, НЕОНА, КИСЛОРОДА И ВОДЫ

## ПРИЛОЖЕНИЕ 6

$p_0 = 101,325$  кПа (760 мм рт.ст.)

Равновесие между жидкой и парообразной фазами	Температурный диапазон применения, К	Формула
Равновесного водорода	13,81-23,0	$\lg \frac{p}{p_0} = A + B/T + CT + DT^2,$ <p>где  <math>A = 1,711466</math>  <math>B = -44,01046</math> К  <math>C = 0,0235909</math> К<sup>-1</sup>  <math>D = -0,000048017</math> К<sup>-2</sup></p>
Неона	27,0-27,2	$T = 27,102 + 3,3144 \left( \frac{p}{p_0} - 1 \right) - 1,24 \left( \frac{p}{p_0} - 1 \right)^2 + 0,74 \left( \frac{p}{p_0} - 1 \right)^3$
Кислорода	90,1-90,3	$T = 90,188 + 9,5648 \left( \frac{p}{p_0} - 1 \right) - 3,69 \left( \frac{p}{p_0} - 1 \right)^2 + 2,22 \left( \frac{p}{p_0} - 1 \right)^3$
Воды	373,05-373,25	$T = 373,15 + 28,0216 \left( \frac{p}{p_0} - 1 \right) - 11,642 \left( \frac{p}{p_0} - 1 \right)^2 + 7,1 \left( \frac{p}{p_0} - 1 \right)^3$

## ПРИЛОЖЕНИЕ 7 (справочное). СРЕДСТВА ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ МПТШ-68

## ПРИЛОЖЕНИЕ 7

### Справочное

Измерение температур по МПТШ-68 с высокой точностью должно выполняться с соблюдением требований, изложенных в настоящем приложении. Описанные ниже правила и рекомендации по осуществлению температурной шкалы соответствуют практике ведущих термометрических лабораторий. Приложение содержит описание приборов и методов, применение которых обеспечивает измерения температур на эталонном уровне точности.

#### **1. Эталонный термометр сопротивления**

Эталонный платиновый термометр сопротивления должен быть сконструирован и изготовлен таким образом, чтобы четырехпроводный чувствительный элемент был как можно свободнее от натяжений и оставался таким во время работы. Чувствительные элементы эталонных термометров изготавливают из платиновой проволоки постоянного диаметра от 0,05 до 0,5 мм, причем короткий участок каждого вывода, примыкающего к спирали, делают из платины.

Значение  $R(0\text{ }^{\circ}\text{C})$  термометра обычно составляет 25 Ом, а сила измерительного тока такого термометра обычно равна 1 или 2 мА. Детали термометра, находящиеся в непосредственной близости к чувствительному элементу, изготавливают из чистых материалов, не реагирующих с платиной.

Во время изготовления термометра рекомендуется, чтобы его гильза была вакуумирована при нагреве примерно до 450 °С, затем заполнена сухим газом и герметически запаяна. Желательно, чтобы в газе, заполняющем термометр, присутствовал кислород: он создаст для остатков примесей в платине окислительную среду. По окончании изготовления чувствительный элемент следует стабилизировать нагреванием при температуре, превышающей максимальную, на которую он рассчитан, и во всяком случае не ниже 450 °С.

Сопротивление изоляции каркаса и крепежных деталей должно быть достаточно высоким во избежание значительного шунтирования сопротивления термометра. Например, должны быть приняты меры предосторожности, чтобы избежать конденсации водяных паров в пространстве между выводами при работе термометра в условиях низких температур, а также чтобы избежать возможных утечек в самих изоляционных материалах, используемых в термометре при высоких температурах.

В качестве изоляционных материалов применяют слюду, кварц и окись алюминия, которые обычно обеспечивают необходимую изоляцию вплоть до  $t=500\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Однако, когда температура приближается к 630 °С, условия становятся более трудными и могут легко возникать ошибки порядка 1 мК или больше. В случае применения слюды создается дополнительная трудность, так как, если слюду нагревать до температуры выше 450 °С, может образоваться значительное количество воды. Воду необходимо периодически устранять откачкой или осушением, иначе изоляция чувствительного элемента будет быстро ухудшаться.

Чтобы обеспечить необходимую стабильность сопротивления эталонного платинового термометра и температурного коэффициента его сопротивления, чувствительный элемент следует сохранять как можно дольше в отожженном состоянии. Изменение сопротивления термометра может возникнуть как из-за наклепа, вызываемого обычным обращением с термометром, так и из-за быстрого охлаждения, если термометр быстро перенести из среды с температурой выше 500 °С в среду комнатной температуры. В последнем случае сопротивление термометра возрастает из-за вызванных мгновенным охлаждением неравновесных концентраций дефектов кристаллической решетки и сохраняется таким до тех пор, пока термометр остается при температуре ниже 200 °С. Большую часть сопротивления, возникающего из-за наклепа, и сопротивление, вызываемое мгновенным охлаждением, можно устранить отжигом при температуре 500 °С за 30 мин.

Значительные ошибки могут быть вызваны радиационными потерями из-за полного внутреннего отражения в конструкционных деталях термометра, особенно если они из кварца. Такие потери в гильзе, а не во внутренних деталях можно предотвратить чернением внутренней поверхности гильзы (например, суспензией коллоидного графита) или обработкой поверхности гильзы песком, что делает ее матовой.

Глубину погружения термометра, обеспечивающую устранение погрешности из-за теплопередачи, устанавливают испытаниями. Для этого достаточно убедиться в том, что наблюдаемый температурный градиент при воспроизведении точки затвердевания металла соответствует температурному градиенту, ожидаемому в этой точке из-за гидростатического давления в соответствии с табл.1 настоящего приложения.

Для температур ниже 90 К обычно используют короткий платиновый термометр сопротивления диаметром не более 5 мм и длиной не более 60 мм, который может быть целиком погружен в среду с однородной температурой. Теплопередачи по проводам в этом случае избегают, прикрепив их к подходящему охранному кольцу. Чтобы получить хороший тепловой контакт между чувствительным элементом и окружающей средой, этот элемент помещают в тонкостенную (толщина стенки ~0,25 мм) гильзу обычно из платины, наполненную гелием.

Полезным критерием эффективности отжига и стабильности термометра является постоянство его сопротивления при температуре реперной точки. Для этой цели обычно используют тройную точку воды (273,16 К) и точку кипения гелия (4,215 К). Первая удобна для большинства высокотемпературных термометров, а вторая не только легко реализуется для термометров, встроенных в криогенную аппаратуру, но и имеет дополнительное преимущество - относительно малую чувствительность к изменениям температуры. Практикой установлено, что изменение сопротивления в тройной точке воды не должно превышать  $4 \cdot 10^{-6} R$  (0 °С) (эквивалентно ~1 мК при температуре выше 40 К) для серийных высокотемпературных термометров и  $5 \cdot 10^{-7} R$  (0 °С) для самых лучших термометров при условии крайне осторожного обращения с ними. Для термометров, используемых только при температурах до 100 °С или ниже, изменение сопротивления в тройной точке воды не должно превышать  $5 \cdot 10^{-7} R$  (0 °С).

Небольшое повышение температуры термометров, вызванное измерительным током, может быть определено измерениями его сопротивления при двух значениях силы тока.

## **2. Эталонный термоэлектрический термометр**

Термоэлектрические термометры, используемые в качестве эталонных, изготавливают из проволоки постоянного диаметра от 0,35 до 0,65 мм. Электроды термометра должны быть тщательно отожжены, чтобы при его использовании обеспечивалось постоянство электродвижущей силы. Для этой цели необходимо нагреть платиновую проволоку до температуры не менее 1100 °С, а платинородиевую проволоку - до 1450 °С. Если отжиг проведен до того, как электроды помещены в изолирующую арматуру, то после этой процедуры термометр необходимо снова нагреть до температуры не менее 1100 °С и отжигать до тех пор, пока электродвижущая сила не стабилизируется и не будут устранены местные неомогенности, вызванные натяжением. Это можно считать выполненным, если электродвижущая сила термометра не изменяется при изменениях температурных градиентов вдоль электродов. Например, электродвижущая сила не должна изменяться по мере увеличения глубины погружения термоэлектрического термометра в среду однородной температуры.

## **3. Давление**

Обычно давление определяют по показаниям ртутного манометра. При этом средняя плотность чистой ртути, если ее температура находится в интервале от 0 до 40 °С и если столб ртути соответствует давлению  $P$ , которое необходимо измерить, выражается с достаточной точностью формулой

$$\rho\left(t, \frac{P}{2}\right) = \frac{\rho(20^\circ\text{C}, p_0)}{\left[1 + A(t - 20^\circ\text{C}) + B(t - 20^\circ\text{C})^2\right] \left[1 - x\left(\frac{P}{2} - p_0\right)\right]}, \quad (1)$$

где  $A = 18115 \cdot 10^{-8} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ;

$B = 0,8 \cdot 10^{-8} \text{ }^\circ\text{C}^{-2}$ ;

$x = 4,0 \cdot 10^{-11} \text{ Па}^{-1} = 5,3 \cdot 10^{-9} \frac{1}{\text{мм рт.ст.}}$ ;

$\rho(20^\circ\text{C}, p_0) = 13545,87 \text{ кг/м}^3$  - плотность чистой ртути при температуре  $t = 20^\circ\text{C}$  и при давлении  $p_0 = 101,325 \text{ кПа}$  (760 мм рт.ст.)

Достаточно точное значение местного ускорения свободного падения может быть получено Потсдамской системой и при введении поправки, равной  $-14 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$ .

Гидростатическое давление, возникающее в ваннах для реализации реперных точек, может вызвать небольшие, но подлежащие учету температурные эффекты; они указаны в табл.1.

#### 4. Тройная точка воды

Температура тройной точки воды может быть реализована в герметичных стеклянных ампулах, содержащих только воду высокой чистоты с изотопным составом, соответствующим в значительной мере океанской воде. Ампулы имеют осевой колодец для термометров; температура тройной точки воды реализуется в любом месте, где лед находится в равновесии с поверхностью вода-пар. На глубине  $h$  ниже поверхности вода-пар температура равновесия  $t$  между льдом и жидкой водой выражается формулой

$$t = A + Bh, \quad (2)$$

где  $A = 0,01 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $B = -7 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C/м}$ .



Метод, рекомендуемый для приготовления тройной точки, состоит в формировании толстого слоя льда вокруг осевого колодца для термометра охлаждением изнутри, а затем в оттаивании достаточного количества этого слоя льда также изнутри, вследствие чего получают новую поверхность раздела вода-лед, примыкающую к колодцу. В течение первых часов, следующих за приготовлением тройной точки воды, температура, измеряемая в осевом колодце, поднимается довольно быстро на несколько десятитысячных кельвина, становясь стабильной по прошествии периода от одного до трех дней. Это первоначальное изменение температуры, вероятно, вызывается ростом ледяных кристаллов или медленным исчезновением натяжения в кристаллах. Тройная точка, приготовленная таким образом и содержащаяся в ледяной ванне, способна сохранять температуру постоянной с отклонением не более 0,1 мК в течение нескольких месяцев. Даже в ампулах с водой из различных источников, если работать с ними указанным способом, расхождения в полученных температурах не должны превышать 0,2 мК. Значительное повышение температуры термометра выше температуры тройной точки воды может быть вызвано искусственным или солнечным светом, падающим на ампулу, в связи с чем рекомендуется проводить измерения в ампулах, достаточно защищенных от излучения.

Различное содержание изотопов в природной воде может вызвать заметные расхождения в значениях температуры тройной точки. Океанская вода содержит около 0,016 моля дейтерия  $^2\text{H}$  на 100 молей водорода  $^1\text{H}$ ; 0,04 моля  $^{17}\text{O}$  и 0,2 моля  $^{18}\text{O}$  на 100 молей  $^{16}\text{O}$ . Такое содержание тяжелых изотопов по существу самое высокое, которое может встречаться в природной воде. Континентальные поверхности воды обычно содержат около 0,015 моля  $^2\text{H}$  на 100 молей  $^1\text{H}$ ; вода, поступающая от полярных снегов, может иногда содержать всего лишь 0,01 моля  $^2\text{H}$  на 100 молей  $^1\text{H}$ .

Операция по очистке воды может слегка изменить ее изотопный состав, а изотопный состав поверхности раздела вода-лед несколько зависит от технологии охлаждения воды. Изменение изотопного состава воды, обусловленное увеличением содержания дейтерия  $^2\text{H}$  на 0,001 моля (при расчете на 100 молей  $^1\text{H}$ ), соответствует повышению температуры тройной точки воды на 0,040 мК. Таковым и является расхождение между температурами тройных точек океанской и обычной континентальной поверхностной воды. Максимальное расхождение в температурах тройных точек природной массы\* составляет 0,250 мК.

---

\* Текст документа соответствует оригиналу. - Примечание изготовителя базы данных

## **5. Тройная точка, точка 17,042 К и точка кипения равновесного водорода**

Водород имеет две молекулярные модификации (обозначается приставками "орто" и "пара"); их наличие объясняется различными относительными ориентациями двух ядерных спинов в двуатомных молекулах. Равновесная орто-пара концентрация зависит от температуры и при комнатной температуре соответствует примерно 75% ортоводорода и 25% параводорода (так называемый нормальный водород). После ожидения это соотношение медленно меняется со временем; соответствующие изменения происходят и в физических свойствах водорода. В точке кипения равновесная концентрация соответствует 0,21% орто- и 99,79% параводорода. Температура кипения водорода этого состава ("равновесного") ниже температуры кипения нормального водорода примерно на 0,12 К. (Название "равновесный водород" означает, что водород имеет свою равновесную орто-пара концентрацию при данной температуре). Чтобы избежать ошибок при реализации реперных точек водорода, вызываемых неопределенным орто-пара составом, рекомендуется использовать равновесный водород, конвертированный катализатором, например, гидроокисью железа. При этом следует использовать водород высокой химической чистоты, которая достигается диффундированием его через палладий.

Температура равновесия между твердой, жидкой и газообразной фазами водорода может быть реализована использованием достаточного количества жидкого водорода в присутствии какого-либо катализатора в полости медного блока, в который вмонтированы платиновые термометры сопротивления и который находится в вакууме. Температуру блока понижают до тех пор, пока водород не затвердеет. Затем температуру медленно повышают и наблюдают переход в тройной точке. Горизонтальный участок кривой "время-температура" может быть постоянным до 0,1 мК в течение 30 мин или более.

Температуру равновесия между жидким и газообразным водородом обычно реализуют статическим методом. В соответствии с этим методом в блоке из металла, обладающего высокой теплопроводностью, имеется полость, в которой создается и поддерживается температура, близкая к точке кипения (погружением блока в жидкий водород). Чтобы избежать температурных градиентов из-за гидростатического давления, с жидким водородом соприкасается верхняя плоскость блока, а нижняя часть блока защищена вакуумной рубашкой. Полость в блоке содержит небольшое количество очень чистого жидкого водорода при наличии какого-нибудь катализатора. Давление паров водорода, находящегося в полости, передается по капилляру (из материала с низкой теплопроводностью) к манометру, находящемуся вне криогенной части установки.

Следует принять меры предосторожности, чтобы избежать прямого излучения по капилляру в полость и чтобы на всем своем протяжении от полости до манометра капилляр имел более высокую температуру, чем температура на поверхности жидкого водорода в полости.

Измерения заключаются в сравнении показаний конденсационного термометра, сконструированного указанным образом, и платиновых термометров сопротивления, смонтированных в плотно пригнанных гнездах, высверленных в металлическом блоке и расположенных как можно ближе к полости.

Правильность измерений можно проверить, показав, что полученные значения не зависят от отношения объема жидкого водорода к объему пара в полости.

## **6. Точка кипения неона**

Точка кипения неона может быть реализована способом, подобным описанному для водорода. Нормальный изотопный состав неона: 0,0026 моля  $^{21}\text{Ne}$  и 0,088 моля  $^{22}\text{Ne}$  на 0,909 моля  $^{20}\text{Ne}$ .

## **7. Тройная точка и точка кипения кислорода**

Тройная точка и точка кипения кислорода могут быть реализованы способом, подобным описанному для водорода. Особенно следует позаботиться о чистоте кислорода в конденсационном термометре. Кислород является достаточно чистым, когда нормальная точка кипения остается постоянной при неоднократной откачке его паров.

## **8. Точка кипения воды**

Температуру равновесия между жидкой водой и ее паром обычно реализуют динамическим методом: термометр погружают в насыщенные пары воды. Для эталонных работ рекомендуется использовать закрытые системы, в которых кипятильник и манометр соединены с маностатом, наполненным воздухом или, предпочтительнее, гелием.

Кипятильник должен быть сконструирован так, чтобы избежать загрязнений воды. Термометр необходимо защитить от излучений тех деталей аппаратуры, температура которых отлична от точки кипения. Если температура равновесия достигнута, то, после приведения результатов измерения к постоянному давлению, полученное значение температуры не будет зависеть от продолжительности измерений скорости подачи тепла в кипятильник и глубины погружения термометра.

Изменение содержания дейтерия в воде вызывает изменение температуры кипения воды в том же направлении, что и для тройной точки воды, но примерно в три раза меньше.

## **9. Точка затвердевания олова и цинка**

Температуры затвердевания могут быть реализованы с очень высокой воспроизводимостью наблюдением за горизонтальной частью кривой "температура-время", характеризующей медленное затвердевание очень чистых металлов.

Для плавления и затвердевания олова и цинка можно использовать тигель из очень чистого искусственного графита (99,999% по массовой доле) диаметром около 5 см, с осевым колодцем для термометра. Глубина погружения термометра в металл должна быть достаточной для устранения влияния теплопередачи по проводам термометра на температуру его чувствительного элемента. Удобно держать тигель с металлом в пирексовой или кварцевой пробирке в инертной атмосфере и нагревать его в печи с металлическим блоком.

Процедура охлаждения металла при определении точки затвердевания должна быть такой, чтобы чувствительный элемент термометра имел возможно лучший тепловой контакт с поверхностью раздела твердой и жидкой фаз металла и находился с ней в тепловом равновесии. Вскоре после начала кристаллизации должна появиться или твердая оболочка, оформившаяся на стенках тигля, или твердая корка вокруг колодца для термометра.

Температура равновесия между твердым и жидким металлом слегка изменяется в зависимости от давления в соответствии в табл.1 настоящего приложения.

Олово высокой чистоты (составляющей 99,9999% по массовой доле) при охлаждении из жидкого состояния переохлаждается на 20-30 К перед затвердеванием. Точка затвердевания олова может быть успешно реализована по следующей методике (при этом удается избежать избыточного переохлаждения печи). Начиная с того момента, когда температура превысила температуру точки затвердевания на несколько кельвинов, печь медленно охлаждают со скоростью примерно 0,1 К/мин до тех пор, пока расплавленный металл не достигнет температуры плавления. Затем пробирку с тиглем, содержащим расплав, и контрольный термометр сопротивления либо перемещают к верхнему краю печи, либо полностью удаляют из печи. В обоих случаях образец быстро охлаждается. При обнаружении быстрого понижения температуры, что указывает на кристаллизацию, пробирку с тиглем тут же погружают в печь, которая все еще медленно охлаждается. В течение медленно протекающего процесса затвердевания реализуется характерная кривая охлаждения для металла высокой чистоты, имеющая температурную площадку. Воспроизводимость этого плоского участка для конкретного образца не хуже  $\pm 0,1$  мК за определенное время, зависящее от скорости охлаждения печи.

Способ реализации точки затвердевания цинка высокой чистоты (99,9999% по массовой доле) несколько отличен от описанного, поскольку цинк переохлаждается незначительно. Тонкий слой твердого металла образуется в центральном колодце для термометра, если удалить термометр. Когда расплавленный металл достигнет температуры плавления, охладить его до комнатной температуры и вставить на место или предварительно вставить на его место кварцевый стержень приблизительно на 30 с перед тем как вернуть термометр обратно.

Критерием достаточной чистоты образца цинка или олова является то, что значение температуры, соответствующее плоскому участку кривой плавления, меняется не более чем на 1 мК.

## **10. Точки затвердевания серебра и золота**

Температуру равновесия между жидкой и твердой фазами серебра и золота реализуют в закрытых тиглях либо из очень чистого искусственного графита, либо из плавленного кварца. Если тигель графитовый, рекомендуется предотвратить доступ воздуха к нему во избежание окисления графита.

Расплавленное серебро должно быть защищено, чтобы не допустить растворения в нем кислорода, вызывающего понижение точки затвердевания.

Слиток металла необходимо нагреть до однородной температуры, на несколько кельвинов превышающей температуру точки плавления металла, и затем медленно охладить.

Термоэлектрический термометр, подлежащий эталонированию, помещенный в защитную трубку из подходящего огнеупорного материала, с огнеупорными изоляторами, разделяющими оба электрода, погружают в расплавленный металл, которому затем дают остыть. Глубина погружения термоэлектрического термометра в металл должна быть достаточной, чтобы исключить теплопередачу по электродам.

Достигнута ли температура равновесия, можно проверить по следующим признакам: электродвижущая сила термоэлектрического термометра не должна зависеть от небольших изменений глубины погружения в расплавленный металл во время последовательных охлаждений и должна оставаться постоянной не менее 5 мин во время одного охлаждения.

Чтобы использовать точку затвердевания золота в качестве реперной для области шкалы, определяемой в соответствии с законами излучения, необходимо иметь черное тело. Для его реализации тигель, содержащий золото, должен быть изменен таким образом, чтобы обеспечить погружение излучателя, имеющего однородную температуру, в золото. Черное тело легче осуществить, если излучатель изготовлен из материала, обладающего высокой излучательной способностью. Для этой цели очень подходит графит.

## **11. Вторичные реперные (постоянные) точки**

Наряду с основными реперными точками МПТШ-68 имеются и другие реперные точки. Некоторые из них и их температуры по МПТШ-68 указаны в табл.2 настоящего приложения. За исключением температур тройных точек и температур, вычисляемых по уравнениям, определяющим зависимость давления паров от температуры, остальные являются температурами равновесия системы при давлении, равном 101,325 кПа (760 мм рт.ст.).

Таблица 1

### **Температура точек затвердевания металлов в зависимости от давления**

Металл	Точка затвердевания, °С, при давлении 101,325 кПа (760 мм рт.ст.)	Коэффициент давления	
		К/мм рт.ст.	К/см жидкости
Ртуть	-38,862	+0,0000071	+0,000071
Индий	156,634	+0,0000064	+0,000033
Олово	231,9681	+0,0000043	+0,000022
Висмут	271,442	-0,0000046	+0,000034
Кадмий	321,108	+0,0000082	+0,000048
Свинец	327,502	+0,0000105	+0,000082
Цинк	419,58	+0,0000057	+ 0,000027
Сурьма	630,74	+0,0000001	+0,000005

Примечание. 1 К/мм рт.ст. =  $7,5 \cdot 10^{-3}$  К/Па.

Таблица 2

**Вторичные реперные (постоянные) точки**

Состояние фазового равновесия	Температура, К (°C)
Равновесие между твердой, жидкой и парообразной фазами нормального водорода (тройная точка нормального водорода)	13,956 (-259,194)
<p>Равновесие между жидкой и парообразной фазами нормального водорода (точка кипения нормального водорода)</p> $\lg \frac{P}{P_0} = A + \frac{B}{T} + CT + DT^2,$ <p>где <math>A=1,734791</math>; <math>B=-44,62368</math> К;</p> <p><math>C=0,0231869</math> К<sup>-1</sup>;</p> <p><math>D=-0,000048017</math> К<sup>-2</sup></p> <p>для интервала температур от 13,956 до 30 К</p>	20,397 (-252,753)
Равновесие между твердой, жидкой и парообразной фазами неона (тройная точка неона)	24,555 (-248,595)
<p>Равновесие между жидкой и парообразной фазами неона</p> $\lg \frac{P}{P_0} = A + \frac{B}{T} + CT + DT^2,$ <p>где <math>A=4,61152</math>; <math>B=-106,3851</math> К;</p> <p><math>C=-0,0368331</math> К<sup>-1</sup>;</p> <p><math>D=4,24892 \cdot 10^{-4}</math> К<sup>-2</sup></p> <p>для интервала температур от 24,555 до 40 К</p>	27,102 (-246,048)
Равновесие между твердой, жидкой и парообразной фазами азота (тройная точка азота)	63,148 (-210,002)

<p>Равновесие между жидкой и парообразной фазами азота (точка кипения азота)</p> $\lg \frac{P}{P_0} = A + \frac{B}{T} + C \lg \frac{T}{T_0} + DT + ET^2,$ <p>где <math>A=5,893139</math>; <math>B=-404,13105</math> К;</p> <p><math>C=-2,3749</math>;</p> <p><math>D=-0,0142505</math> К<sup>-1</sup>;</p> <p><math>E=72,5342 \cdot 10^{-6}</math> К<sup>-2</sup></p> <p>для интервала температур от 63,148 до 84 К</p>	<p>77,348 (-195,802)</p>
<p>Равновесие между жидкой и парообразной фазами кислорода</p> $\lg \frac{P}{P_0} = A + \frac{B}{T} + C \lg \frac{T}{T_0} + DT + ET^2,$ <p>где <math>A=5,961546</math>;</p> <p><math>B=-467,45576</math> К;</p> <p><math>C=-1,664512</math>;</p> <p><math>D=-0,01321301</math> К<sup>-1</sup>;</p> <p><math>E=-50,8041 \cdot 10^{-6}</math> К<sup>-2</sup></p> <p>для интервала температур от 54,361 до 94 К</p>	<p>90,188 (-182,962)</p>
<p>Равновесие между твердой и паробразной фазами двуокиси углерода (точка возгонки двуокиси углерода)</p> $T = \left[ 194,674 + 12,264 \left( \frac{P}{P_0} - 1 \right) - 9,15 \left( \frac{P}{P_0} - 1 \right)^2 \right]$ <p>для интервала температур от 194 до 195 К</p>	<p>194,674 (-78,476)</p>
<p>Равновесие между твердой и жидкой фазами ртути (точка затвердевания ртути)</p>	<p>234,288 (-38,862)</p>



Равновесие между льдом и насыщенным воздухом водой (точка таяния льда)	273,15 (0)
Равновесие между твердой, жидкой и парообразной фазами феноксибензола (дифенилового эфира) (тройная точка феноксибензола)	300,02 (26,87)
Равновесие между твердой, жидкой и парообразной фазами бензойной кислоты (тройная точка бензойной кислоты)	395,52 (122,37)
Равновесие между твердой и жидкой фазами индия (точка затвердевания индия)	429,784 (156,634)
Равновесие между твердой и жидкой фазами висмута (точка затвердевания висмута)	544,592 (271,442)
Равновесие между твердой и жидкой фазами кадмия (точка затвердевания кадмия)	594,258 (321,108)
Равновесие между твердой и жидкой фазами свинца (точка затвердевания свинца)	600,652 (327,502)
Равновесие между жидкой и парообразной фазами ртути (точка кипения ртути)  $t = \left[ 356,66 + 55,552 \left( \frac{P}{P_0} - 1 \right) - 23,03 \left( \frac{P}{P_0} - 1 \right)^2 + 14,0 \left( \frac{P}{P_0} - 1 \right)^3 \right]$ для $P$ от $90 \cdot 10^3$ до $104 \cdot 10^3$ Па	629,81 (356,66)
Равновесие между жидкой и парообразной фазами серы (точка кипения серы)  $t = \left[ 444,674 + 66,010 \left( \frac{P}{P_0} - 1 \right) - 27,48 \left( \frac{P}{P_0} - 1 \right)^2 + 19,14 \left( \frac{P}{P_0} - 1 \right)^3 \right]$ для $P$ от $90 \cdot 10^3$ до $104 \cdot 10^3$ Па	717,824 (444,674)

Равновесие между твердой и жидкой фазами медь-алюминиевой эвтектики	821,38 (548,23)
Равновесие между твердой и жидкой фазами сурьмы (точка затвердевания сурьмы)	903,89 (630,74)
Равновесие между твердой и жидкой фазами алюминия (точка затвердевания алюминия)	933,52 (660,37)
Равновесие между твердой и жидкой фазами меди (точка затвердевания меди)	1357,6 (1084,5)
Равновесие между твердой и жидкой фазами никеля (точка затвердевания никеля)	1728 (1455)
Равновесие между твердой и жидкой фазами кобальта (точка затвердевания кобальта)	1767 (1494)
Равновесие между твердой и жидкой фазами палладия (точка затвердевания палладия)	1827 (1554)
Равновесие между твердой и жидкой фазами платины (точка затвердевания платины)	2045 (1772)
Равновесие между твердой и жидкой фазами родия (точка затвердевания родия)	2236 (1963)
Равновесие между твердой и жидкой фазами иридия (точка затвердевания иридия)	2720 (2447)
Равновесие между твердой и жидкой фазами вольфрама (температура плавления вольфрама)	3660 (3387)

**ПРИЛОЖЕНИЕ 8 (справочное).  
ОРИЕНТИРОВОЧНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ  
РАСХОЖДЕНИЙ В КЕЛЬВИНАХ МЕЖДУ  
ЗНАЧЕНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО МПТШ-68 и**

# МПТШ-48

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Справочное

ОРИЕНТИРОВОЧНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ РАСХОЖДЕНИЙ ( $t_{68} - t_{48}$ ) В КЕЛЬВИНАХ  
МЕЖДУ ЗНАЧЕНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО МПТШ-68 и МПТШ-48

$t_{68},$ °C	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	- 100
-100	0,022	0,013	0,003	- 0,006	- 0,013	- 0,013	- 0,005	0,007	0,012		
0	0,000	0,006	0,012	0,018	0,024	0,029	0,032	0,034	0,033	0,029	0,022
$t_{68},$ °C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,000	- 0,004	- 0,007	- 0,009	- 0,010	- 0,010	- 0,010	- 0,008	- 0,006	- 0,003	0,000
100	0,000	0,004	0,007	0,012	0,016	0,020	0,025	0,029	0,034	0,038	0,043
200	0,043	0,047	0,051	0,054	0,058	0,061	0,064	0,067	0,069	0,071	0,073
300	0,073	0,074	0,075	0,076	0,077	0,077	0,077	0,077	0,077	0,076	0,076
400	0,076	0,075	0,075	0,075	0,074	0,074	0,074	0,075	0,076	0,077	0,079
500	0,079	0,082	0,085	0,089	0,094	0,100	0,108	0,116	0,126	0,137	0,150
600	0,150	0,165	0,182	0,200	0,23	0,25	0,28	0,31	0,34	0,36	0,39
700	0,39	0,42	0,45	0,47	0,50	0,53	0,56	0,58	0,61	0,64	0,67
800	0,67	0,70	0,72	0,75	0,78	0,81	0,84	0,87	0,89	0,92	0,95
900	0,95	0,98	1,01	1,04	1,07	1,10	1,12	1,15	1,18	1,21	1,24
1000	1,24	1,27	1,30	1,33	1,36	1,39	1,42	1,44			

$t_{68},$ °C	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
1000	-	1,5	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2
2000	3,2	3,5	3,7	4,0	4,2	4,5	4,8	5,0	5,3	5,6	5,9
3000	5,9	6,2	6,5	6,9	7,2	7,5	7,9	8,2	8,6	9,0	9,3

Электронный текст документа  
подготовлен ЗАО "Кодекс" и сверен по:  
официальное издание  
М.: Издательство стандартов, 1986