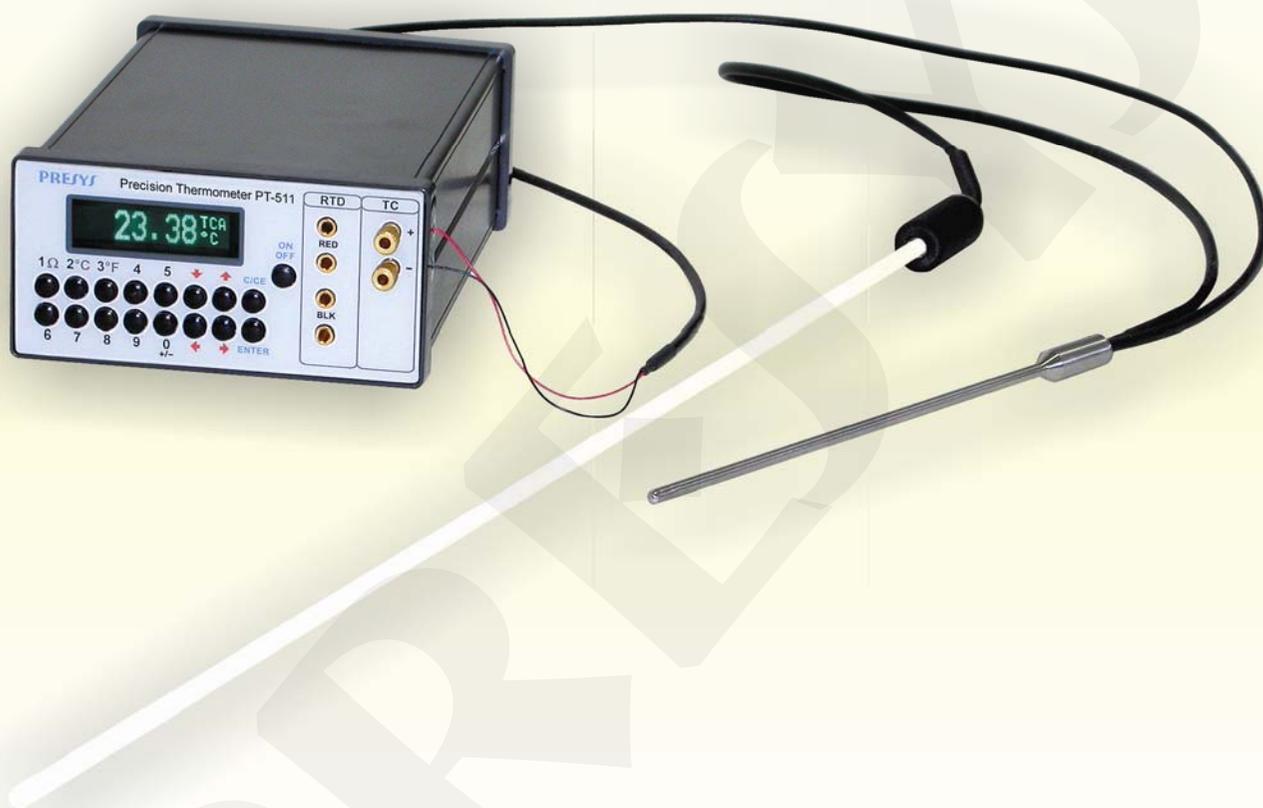

Termopar Au/Pt



MANUAL TÉCNICO

Índice

1.0 - Introdução	1
2.0 - Especificações Técnicas	2
3.0 - Construção	3
4.0 - Manuseio e Cuidados com o Termopar Au/Pt	4
Antes de remover o termopar Au/Pt da sua maleta leia atentamente esta seção.....	4
5.0 - Calibração	5

1.0 - Introdução

Até recentemente, termopares do tipo S e tipo R têm sido a escolha predominante na medição de altas temperaturas na faixa de 0°C a aproximadamente 1400°C. O termopar tipo S, inclusive, serviu como instrumento padrão de definição de escala de temperatura por muitos anos (ITS-27, IPTS-48 e IPTS-68).

Durante sua utilização foram observadas diversas características indesejáveis, como:

- Oxidação, em temperaturas acima de 500°C, do Ródio mais rapidamente do que a Platina, levando a uma perda de exatidão e estabilidade;
- Não-homogeneidade do fio da liga Ródio-Platina ocasionando medições fortemente dependentes da profundidade de imersão na fonte de calor.

Neste contexto, os Laboratórios Nacionais de diversos países iniciaram estudos extensivos sobre termopares com fios puros, entre eles o Termopar Au/Pt. Os estudos mais efetivos foram conduzidos por McLaren e Murdock no NRCC (Canadá) e Burns no NIST (USA). Resumindo as suas conclusões foram:

- Termopares de Au/Pt podem chegar a incertezas da ordem de $\pm 0,020^\circ\text{C}$ em 1000°C (mais de 10 vezes melhor que a incerteza dos melhores termopares R ou S).
- Medições de temperatura não dependente da profundidade da imersão (ausência de não-homogeneidade).
- Altamente estáveis da ordem de $\pm 0,020^\circ\text{C}$ após 1500h de uso em altas temperaturas. Resulta em prazos de recertificação do padrão termopar mais dilatados.

O termopar Au/Pt desenvolvido pela Presys segue as orientações e diretrizes do projeto original de McLaren (NRCC 27703) aprimoradas por Burns (NIST 260-134).

Alguns desses cuidados, entre outros, dispensados na construção do nosso termopar são:

- Seleção dos melhores materiais (fios, capilares, bainha) em níveis de pureza e procedência disponíveis.
- Tratamentos de limpeza aprimorados para evitar contaminação.
- Técnicas de recozimento especiais para garantir a homogeneidade e a estabilidade termoelétrica dos fios.
- Montagem através de uma construção especial que permite alívio na expansão diferente dos dois metais Au e Pt, mais robusta em relação a projetos utilizando frágeis molas na junta quente.

Pode ser usado em conjunto com o Termômetro de Precisão PT-511 que já possui a curva do termopar Au/Pt, desenvolvida por Burns, pré-armazenada. A leitura é obtida diretamente em unidade de temperatura.

Este conjunto calibrado por pontos fixos pode resultar em incerteza expandida de $0,035^\circ\text{C}$ na faixa de 0 a 1000°C.

2.0 - Especificações Técnicas

Faixa de temperatura: 0°C a 1000°C

Materiais do termopar: ouro, pureza de 99,999% e platina, pureza de 99,999%

Materiais das bainhas: junta de medição em quartzo e junta de referência em aço inox

Incerteza de calibração típicas:

0,030°C em 231,928°C (Sn)

0,020°C em 419,527°C (Zn)

0,015°C em 660,323°C (Al)

0,010°C em 961,78°C (Ag)

Estabilidade típica: $\pm 0,050^\circ\text{C}$

Dimensões da Junta de Medição: Ø7mm X 560mm

Dimensões da Junta de Referência: Ø6mm X 230mm

Peso: 0,5 kg

Garantia: 1 ano

Código de Encomenda: PROBE – PT – TC – Au/Pt

Maleta para transporte inclusa

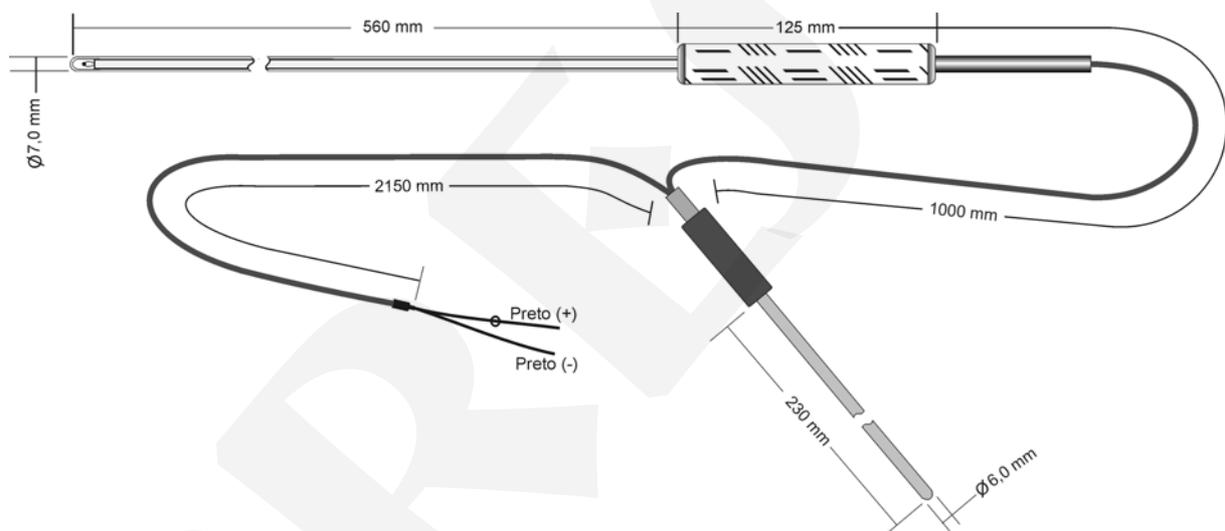
3.0 - Construção

Na construção do Termopar Au/Pt da Presys foram utilizados fios de 0,5mm de Au e Pt com 99,999% de pureza. Tubo capilar com duplo orifício de 1,6mm para acomodar a expansão dos fios e amenizar o aparecimento de tensões mecânicas. Fios de cobre especialmente selecionados com baixo potencial termoelétrico. A montagem toda é feita de modo a permitir uma manutenção fácil da bainha de quartzo ou outro material que se faça necessário. No entanto, é altamente recomendado não desmontar o conjunto e contatar a fábrica se qualquer reparo for necessário.

Na ponta da junta quente não foi feito jateamento no vidro, ficando uma região transparente de cerca de 2cm. O intuito é permitir ao usuário inspecionar periodicamente o estado da junção Au/Pt.

Os fios de cobre devem ser interconectados a uma nanovoltímetro, PT-511 ou outro multímetro medidor de mV de alta exatidão. Observar que a anilha em um dos fios de cobre indica o terminal positivo (+).

Ver a figura a seguir para detalhes.



4.0 - Manuseio e Cuidados com o Termopar Au/Pt

Antes de remover o termopar Au/Pt da sua maleta leia atentamente esta seção.

- Este termopar é particularmente robusto em altas temperaturas (até 1000°C) e é mais fácil de usar do que HTSPRT (PRT de altas temperaturas). Termopares não requerem pré-aquecimento para uso em altas temperaturas e são menos susceptíveis a contaminações iônicas e choques mecânicos. No entanto, observe que é a bainha de quartzo que ajuda a proteger os fios de Au/Pt da contaminação iônica. Assim qualquer trinca na bainha oriunda de um processo de devitrificação do quartzo (volta ao seu estado mais estável - cristalino, com conseqüente enfraquecimento) exporá os fios do termopar à contaminação iônica e degradará a sua exatidão.
- Limpe regularmente a bainha de quartzo com água bidestilada (preferível) ou álcool isopropílico para remover sais metálico da bainha do Termopar Au/Pt. Água de torneira pode conter sais que contaminam a bainha. Estas contaminações podem provocar o processo de devitrificação do quartzo, mesmo em baixas temperaturas.
- Procure segurar o Termopar Au/Pt sempre pela empunhadura, não manuseie a bainha com a mão. Sais contidos na mão podem contaminar a bainha.
- Não exponha a junta quente a temperaturas acima de 1000°C. Lembre-se que o ponto de fusão do ouro é 1064,18°C.
- Ao utilizar o Termopar Au/Pt em fornalhas com bloco metálico de Inconel ou qualquer outro metal, procure utilizar um poço intermediário de cerâmica que minimizará a contaminação iônica. Estes poços de cerâmica estão disponíveis na fábrica sob encomenda.
- A junta de referência com bainha de 23cm deve ser imersa até a empunhadura de nylon numa mistura de gelo e água destilada (conforme procedimento ASTM-E563-97) para garantir a realização do ponto do gelo com alta exatidão.
- A VIDA DO ARTEFATO PODE SER PROLONGADA SE OS CUIDADOS DE MANUTENÇÃO E LIMPEZA PARA REMOVER SUJEIRAS EM GERAL E PARTÍCULAS FOREM EXECUTADOS.

5.0 - Calibração

A força eletromotriz E(+) (FEM) de um termopar Au/Pt em particular pode ser calculada da forma mais exata com a seguinte equação:

$$E(t) = E_{Burns}(t) + \Delta E(t), \text{ onde}$$

- $E_{Burns}(t)$ é a função de referência geral para termopares Au/Pt na faixa de 0°C a 1000°C levantada por Burns e seus colaboradores no NIST. Sua expressão é

$$E_{Burns}(t) = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i \cdot t_{90}^i, \text{ com os coeficientes dados por:}$$

$$a_0 = 0,000\ 000\ 00$$

$$a_1 = 6,036\ 198\ 61$$

$$a_2 = 1,936\ 729\ 74 \times 10^{-02}$$

$$a_3 = -2,229\ 986\ 14 \times 10^{-05}$$

$$a_4 = 3,287\ 118\ 59 \times 10^{-08}$$

$$a_5 = -4,242\ 061\ 93 \times 10^{-11}$$

$$a_6 = 4,569\ 270\ 38 \times 10^{-14}$$

$$a_7 = -3,394\ 302\ 59 \times 10^{-17}$$

$$a_8 = 1,429\ 815\ 90 \times 10^{-20}$$

$$a_9 = -2,516\ 727\ 87 \times 10^{-24}$$

No anexo I, encontram-se os valores de temperatura X FEM para o termopar Au/Pt (ASTM-E1751), conforme esta equação.

- $\Delta E(t)$ é a função diferença, dada por:

$$\Delta E(t) = a'_0 + a'_1 \cdot t + a'_2 \cdot t^2 + a'_3 \cdot t^3$$

É levantada através do Método dos Mínimos Quadrados nos pontos fixos, por exemplo, da água, do Índio, Estanho, Zinco, Alumínio e Prata.

No caso de instrumentos como o PT-511 tem-se a possibilidade de carregar a curva específica de um termopar Au/Pt particular na sua memória pela introdução dos coeficientes corrigidos:

$$\text{Mnemônico C0} = a'_0$$

$$\text{Mnemônico C1} = a'_1$$

$$\text{Mnemônico C2} = a'_2$$

$$\text{Mnemônico C3} = a'_3$$

ANEXO – Tabela do Termopar de Ouro/Platina conforme ASTM E1751 (1998)

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Voltagem Termoelétrica em Microvolts												
0	0.0	6.1	12.1	18.3	24.5	30.7	36.9	43.2	49.5	55.9	62.3	0
10	62.3	68.7	75.2	81.7	88.2	94.8	101.4	108.1	114.8	121.5	128.3	10
20	128.3	135.1	141.9	148.8	155.7	162.7	169.7	176.7	183.7	190.8	197.9	20
30	197.9	205.1	212.3	219.5	226.8	234.1	241.4	248.8	256.2	263.6	271.1	30
40	271.1	278.6	286.1	293.7	301.3	308.9	316.6	324.3	332.1	339.8	347.6	40
50	347.6	355.5	363.3	371.2	379.2	387.1	395.1	403.2	411.2	419.3	427.5	50
60	427.5	435.6	443.8	452.1	460.3	468.6	476.9	485.3	493.6	502.1	510.5	60
70	510.5	519.0	527.5	536.0	544.6	553.2	561.8	570.5	579.2	587.9	596.6	70
80	596.6	605.4	614.2	623.1	632.0	640.9	649.8	658.7	667.7	676.8	685.8	80
90	685.8	694.9	704.0	713.1	722.3	731.5	740.7	750.0	759.2	768.6	777.9	90
100	777.9	787.3	796.7	806.1	815.5	825.0	834.5	844.1	853.6	863.2	872.8	100
110	872.8	882.5	892.2	901.9	911.6	921.4	931.2	941.0	950.8	960.7	970.6	110
120	970.6	980.5	990.5	1000.4	1010.4	1020.5	1030.5	1040.6	1050.7	1060.9	1071.0	120
130	1071.0	1081.2	1091.4	1101.7	1112.0	1122.3	1132.6	1142.9	1153.3	1163.7	1174.1	130
140	1174.1	1184.6	1195.1	1205.6	1216.1	1226.7	1237.2	1247.8	1258.5	1269.1	1279.8	140
150	1279.8	1290.5	1301.3	1312.0	1322.8	1333.6	1344.4	1355.3	1366.2	1377.1	1388.0	150
160	1388.0	1399.0	1410.0	1421.0	1432.0	1443.1	1454.1	1465.3	1476.4	1487.5	1498.7	160
170	1498.7	1509.9	1521.1	1532.4	1543.7	1555.0	1566.3	1577.6	1589.0	1600.4	1611.8	170
180	1611.8	1623.3	1634.7	1646.2	1657.7	1669.3	1680.8	1692.4	1704.0	1715.6	1727.3	180
190	1727.3	1739.0	1750.7	1762.4	1774.1	1785.9	1797.7	1809.5	1821.3	1833.2	1845.1	190
200	1845.1	1857.0	1868.9	1880.9	1892.8	1904.8	1916.8	1928.9	1941.0	1953.0	1965.1	200
210	1965.1	1977.3	1989.4	2001.6	2013.8	2026.0	2038.3	2050.5	2062.8	2075.1	2087.4	210
220	2087.4	2099.8	2112.2	2124.6	2137.0	2149.4	2161.9	2174.4	2186.9	2199.4	2211.9	220
230	2211.9	2224.5	2237.1	2249.7	2262.3	2275.0	2287.7	2300.4	2313.1	2325.8	2338.6	230
240	2338.6	2351.4	2364.2	2377.0	2389.8	2402.7	2415.6	2428.5	2441.4	2454.4	2467.3	240
250	2467.3	2480.3	2493.3	2506.4	2519.4	2532.5	2545.6	2558.7	2571.9	2585.0	2598.2	250
260	2598.2	2611.4	2624.6	2637.8	2651.1	2664.4	2677.7	2691.0	2704.3	2717.7	2731.1	260
270	2731.1	2744.5	2757.9	2771.3	2784.8	2798.3	2811.8	2825.3	2838.9	2852.4	2866.0	270
280	2866.0	2879.6	2893.2	2906.9	2920.5	2934.2	2947.9	2961.6	2975.4	2989.1	3002.9	280
290	3002.9	3016.7	3030.5	3044.4	3058.2	3072.1	3086.0	3099.9	3113.8	3127.8	3141.8	290
300	3141.8	3155.8	3169.8	3183.8	3197.9	3211.9	3226.0	3240.1	3254.3	3268.4	3282.6	300
310	3282.6	3296.8	3311.0	3325.2	3339.4	3353.7	3368.0	3382.3	3396.6	3410.9	3425.3	310
320	3425.3	3439.7	3454.1	3468.5	3482.9	3497.4	3511.8	3526.3	3540.8	3555.4	3569.9	320
330	3569.9	3584.5	3599.1	3613.7	3628.3	3642.9	3657.6	3672.2	3686.9	3701.7	3716.4	330
340	3716.4	3731.1	3745.9	3760.7	3775.5	3790.3	3805.2	3820.0	3834.9	3849.8	3864.7	340
350	3864.7	3879.6	3894.6	3909.6	3924.6	3939.6	3954.6	3969.6	3984.7	3999.8	4014.9	350
360	4014.9	4030.0	4045.1	4060.3	4075.4	4090.6	4105.8	4121.0	4136.3	4151.5	4166.8	360
370	4166.8	4182.1	4197.4	4212.8	4228.1	4243.5	4258.9	4274.3	4289.7	4305.1	4320.6	370
380	4320.6	4336.1	4351.6	4367.1	4382.6	4398.1	4413.7	4429.3	4444.9	4460.5	4476.1	380
390	4476.1	4491.8	4507.4	4523.1	4538.8	4554.6	4570.3	4586.1	4601.8	4617.6	4633.4	390
400	4633.4	4649.3	4665.1	4681.0	4696.8	4712.7	4728.6	4744.6	4760.5	4776.5	4792.5	400
410	4792.5	4808.5	4824.5	4840.5	4856.6	4872.7	4888.7	4904.9	4921.0	4937.1	4953.3	410
420	4953.3	4969.4	4985.6	5001.8	5018.1	5034.3	5050.6	5066.9	5083.1	5099.5	5115.8	420
430	5115.8	5132.1	5148.5	5164.9	5181.3	5197.7	5214.1	5230.6	5247.0	5263.5	5280.0	430
440	5280.0	5296.5	5313.1	5329.6	5346.2	5362.8	5379.4	5396.0	5412.6	5429.3	5446.0	440
450	5446.0	5462.6	5479.4	5496.1	5512.8	5529.6	5546.3	5563.1	5579.9	5596.8	5613.6	450
460	5613.6	5630.5	5647.3	5664.2	5681.1	5698.0	5715.0	5731.9	5748.9	5765.9	5782.9	460
470	5782.9	5799.9	5817.0	5834.0	5851.1	5868.2	5885.3	5902.4	5919.6	5936.8	5953.9	470
480	5953.9	5971.1	5988.3	6005.6	6022.8	6040.1	6057.3	6074.6	6091.9	6109.3	6126.6	480
490	6126.6	6144.0	6161.3	6178.7	6196.1	6213.6	6231.0	6248.5	6265.9	6283.4	6301.0	490
500	6301.0	6318.5	6336.0	6353.6	6371.2	6388.7	6406.4	6424.0	6441.6	6459.3	6477.0	500
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Voltagem Termoelétrica em Microvolts												
500	6301.0	6318.5	6336.0	6353.6	6371.2	6388.7	6406.4	6424.0	6441.6	6459.3	6477.0	500
510	6477.0	6494.7	6512.4	6530.1	6547.8	6565.6	6583.4	6601.1	6619.0	6636.8	6654.6	510
520	6654.6	6672.5	6690.4	6708.2	6726.2	6744.1	6762.0	6780.0	6797.9	6815.9	6833.9	520
530	6833.9	6852.0	6870.0	6888.1	6906.1	6924.2	6942.3	6960.4	6978.6	6996.7	7014.9	530
540	7014.9	7033.1	7051.3	7069.5	7087.7	7106.0	7124.3	7142.6	7160.9	7179.2	7197.5	540
550	7197.5	7215.9	7234.2	7252.6	7271.0	7289.4	7307.9	7326.3	7344.8	7363.3	7381.8	550
560	7381.8	7400.3	7418.8	7437.4	7455.9	7474.5	7493.1	7511.7	7530.3	7549.0	7567.6	560
570	7567.6	7586.3	7605.0	7623.7	7642.5	7661.2	7680.0	7698.7	7717.5	7736.3	7755.2	570
580	7755.2	7774.0	7792.9	7811.7	7830.6	7849.5	7868.5	7887.4	7906.4	7925.3	7944.3	580
590	7944.3	7963.3	7982.3	8001.4	8020.4	8039.5	8058.6	8077.7	8096.8	8115.9	8135.1	590
600	8135.1	8154.3	8173.4	8192.6	8211.9	8231.1	8250.3	8269.6	8288.9	8308.2	8327.5	600
610	8327.5	8346.8	8366.2	8385.5	8404.9	8424.3	8443.7	8463.2	8482.6	8502.1	8521.5	610
620	8521.5	8541.0	8560.5	8580.1	8599.6	8619.2	8638.7	8658.3	8677.9	8697.6	8717.2	620
630	8717.2	8736.9	8756.5	8776.2	8795.9	8815.7	8835.4	8855.1	8874.9	8894.7	8914.5	630
640	8914.5	8934.3	8954.1	8974.0	8993.9	9013.7	9033.6	9053.6	9073.5	9093.4	9113.4	640
650	9113.4	9133.4	9153.4	9173.4	9193.4	9213.5	9233.5	9253.6	9273.7	9293.8	9313.9	650
660	9313.9	9334.1	9354.2	9374.4	9394.6	9414.8	9435.0	9455.3	9475.5	9495.8	9516.1	660
670	9516.1	9536.4	9556.7	9577.0	9597.4	9617.8	9638.2	9658.6	9679.0	9699.4	9719.9	670
680	9719.9	9740.3	9760.8	9781.3	9801.8	9822.3	9842.9	9863.5	9884.0	9904.6	9925.2	680
690	9925.2	9945.9	9966.5	9987.2	10007.9	10028.5	10049.3	10070.0	10090.7	10111.5	10132.2	690
700	10132.2	10153.0	10173.8	10194.7	10215.5	10236.4	10257.2	10278.1	10299.0	10319.9	10340.9	700
710	10340.9	10361.8	10382.8	10403.8	10424.8	10445.8	10466.8	10487.9	10508.9	10530.0	10551.1	710
720	10551.1	10572.2	10593.3	10614.5	10635.6	10656.8	10678.0	10699.2	10720.4	10741.7	10762.9	720
730	10762.9	10784.2	10805.5	10826.8	10848.1	10869.5	10890.8	10912.2	10933.6	10955.0	10976.4	730
740	10976.4	10997.8	11019.3	11040.8	11062.2	11083.7	11105.3	11126.8	11148.3	11169.9	11191.5	740
750	11191.5	11213.1	11234.7	11256.3	11277.9	11299.6	11321.3	11343.0	11364.7	11386.4	11408.1	750
760	11408.1	11429.9	11451.7	11473.5	11495.3	11517.1	11538.9	11560.8	11582.6	11604.5	11626.4	760
770	11626.4	11648.3	11670.3	11692.2	11714.2	11736.2	11758.2	11780.2	11802.2	11824.3	11846.3	770
780	11846.3	11868.4	11890.5	11912.6	11934.7	11956.9	11979.0	12001.2	12023.4	12045.6	12067.8	780
790	12067.8	12090.0	12112.3	12134.6	12156.8	12179.1	12201.5	12223.8	12246.1	12268.5	12290.9	790
800	12290.9	12313.3	12335.7	12358.1	12380.6	12403.0	12425.5	12448.0	12470.5	12493.0	12515.6	800
810	12515.6	12538.1	12560.7	12583.3	12605.9	12628.5	12651.2	12673.8	12696.5	12719.2	12741.9	810
820	12741.9	12764.6	12787.3	12810.1	12832.8	12855.6	12878.4	12901.2	12924.0	12946.9	12969.7	820
830	12969.7	12992.6	13015.5	13038.4	13061.3	13084.3	13107.2	13130.2	13153.2	13176.2	13199.2	830
840	13199.2	13222.2	13245.3	13268.4	13291.4	13314.5	13337.7	13360.8	13383.9	13407.1	13430.3	840
850	13430.3	13453.5	13476.7	13499.9	13523.1	13546.4	13569.7	13593.0	13616.3	13639.6	13662.9	850
860	13662.9	13686.3	13709.6	13733.0	13756.4	13779.8	13803.3	13826.7	13850.2	13873.7	13897.1	860
870	13897.1	13920.7	13944.2	13967.7	13991.3	14014.9	14038.4	14062.0	14085.7	14109.3	14133.0	870
880	14133.0	14156.6	14180.3	14204.0	14227.7	14251.5	14275.2	14299.0	14322.7	14346.5	14370.3	880
890	14370.3	14394.2	14418.0	14441.9	14465.7	14489.6	14513.5	14537.5	14561.4	14585.3	14609.3	890
900	14609.3	14633.3	14657.3	14681.3	14705.3	14729.4	14753.4	14777.5	14801.6	14825.7	14849.9	900
910	14849.9	14874.0	14898.2	14922.3	14946.5	14970.7	14994.9	15019.2	15043.4	15067.7	15092.0	910
920	15092.0	15116.3	15140.6	15164.9	15189.3	15213.6	15238.0	15262.4	15286.8	15311.2	15335.7	920
930	15335.7	15360.1	15384.6	15409.1	15433.6	15458.1	15482.6	15507.2	15531.7	15556.3	15580.9	930
940	15580.9	15605.5	15630.1	15654.8	15679.4	15704.1	15728.8	15753.5	15778.2	15803.0	15827.7	940
950	15827.7	15852.5	15877.3	15902.1	15926.9	15951.7	15976.6	16001.4	16026.3	16051.2	16076.1	950
960	16076.1	16101.0	16126.0	16150.9	16175.9	16200.9	16225.9	16250.9	16276.0	16301.0	16326.1	960
970	16326.1	16351.2	16376.2	16401.4	16426.5	16451.6	16476.8	16502.0	16527.2	16552.4	16577.6	970
980	16577.6	16602.8	16628.1	16653.3	16678.6	16703.9	16729.2	16754.6	16779.9	16805.3	16830.7	980
990	16830.7	16856.1	16881.5	16906.9	16932.3	16957.8	16983.3	17008.8	17034.3	17059.8	17085.3	990
1000	17085.3											1000
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C

PRESYS