



جمهوری اسلامی ایران

Islamic Republic of Iran

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

Institute of Standards and Industrial Research of Iran



استاندارد ملی ایران

۵۳۳۸

چاپ اول

مرداد ماه ۱۳۸۱

ISIRI

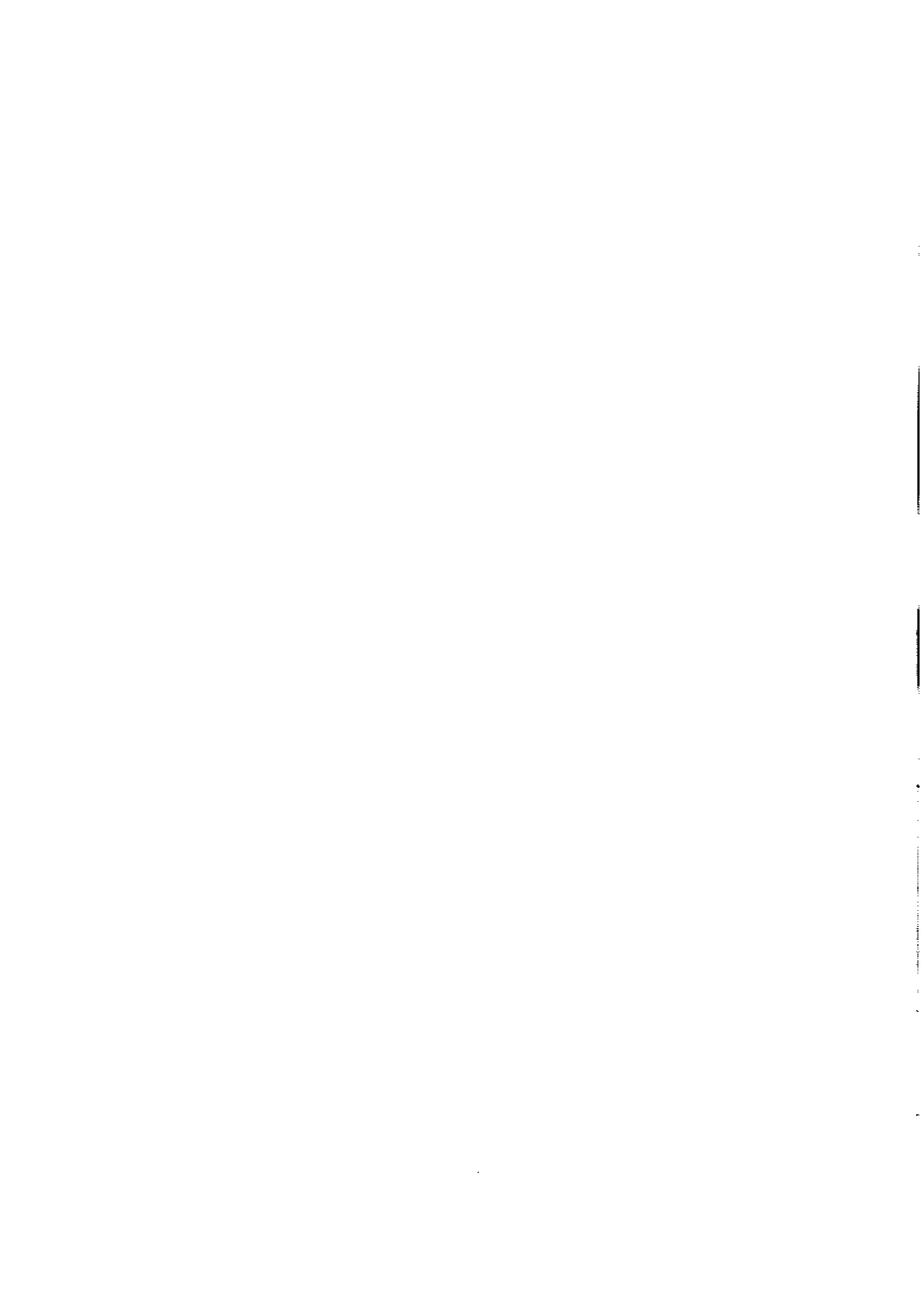
5338

1st.Edition

AUG. 2002

دماسنجی براساس مقیاس دمای بین المللی ۱۹۹۰

Thermometry based on ITS - 1990



نشانی مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران: کرج - شهر صنعتی، صندوق

پستی ۳۱۵۸۵-۱۶۳

دفتر مرکزی: تهران - بالاتراز میدان ولی عصر، کوچه شهید شهامتی، پلاک ۱۴

صندوق پستی ۱۴۱۵۵-۶۱۳۹

تلفن مؤسسه در کرج: ۰۲۶۱ - ۲۸۰۶۰۳۱ - ۸

تلفن مؤسسه در تهران: ۰۲۶۱ - ۲۸۰۸۱۱۴ - ۹

دورنگار: کرج: ۰۲۶۱ - ۲۸۰۸۱۱۴ تهران: ۰۲۱ - ۸۸۰۲۲۷۶

بخش فروش - تلفن: ۰۲۶۱ - ۲۸۰۷۰۴۵ دورنگار: ۰۲۶۱ - ۲۸۰۷۰۴۵

پیام نگار: ISIRI.INFOC@NEDA.NET

بها: ۳۲۵۰ ریال



Headquarter: Institute of Standards and Industrial Research of IRAN

P.O.Box 31585-163 Karaj - IRAN

Central office: NO.14, Shahid Shahamati St., Valiasr Ave. Tehran

P.O.Box: 14155-6139



Tel.(Karaj): 0098 261 2806031-8



Tel.(Tehran): 0098 21 8909308-9



Fax(Karaj): 0098 261 2808114



Fax(Tehran): 0098 21 8802276



Email: ISIRI.INFOC@NEDA.NET



Price:3250 RIs

آشنایی با مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب قانون، تنها مرجع رسمی کشور است که عهده‌دار وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) می‌باشد.

تدوین استاندارد در رشته‌های مختلف توسط کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان مؤسسه، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط با موضوع صورت می‌گیرد. سعی بر این است که استانداردهای ملی، در جهت مطلوبیت‌ها و مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فنی و فن‌آوری حاصل از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع شامل: تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، بازرگانان، مراکز علمی و تخصصی و نهادها و سازمان‌های دولتی باشد. پیش‌نویس استانداردهای ملی جهت نظرخواهی برای مراجع ذینفع و اعضای کمیسیون‌های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرات و پیشنهادها در کمیته ملی مرتبط یا آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که توسط مؤسسات و سازمان‌های علاقمند و ذیصلاح و با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌شود نیز پس از طرح و بررسی در کمیته ملی مربوط و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی چاپ و منتشر می‌گردد. بدین ترتیب استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مفاد مندرج در استاندارد ملی شماره ۵۰۰۰۰ تدوین و در کمیته ملی مربوط که توسط مؤسسه تشکیل می‌گردد به تصویب رسیده باشد.

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد می‌باشد که در تدوین استانداردهای ملی ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی استفاده می‌نماید.

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون به منظور حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردها را با تصویب شورای عالی استاندارد اجباری نماید. مؤسسه می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید.

همچنین به منظور اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و گواهی‌کنندگان سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و کالیبره‌کنندگان وسایل سنجش، مؤسسه استاندارد اینگونه سازمان‌ها و مؤسسات را براساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران مورد ارزیابی قرار داده و در صورت احراز شرایط لازم، گواهی‌نامه تأیید صلاحیت به آنها اعطا نموده و بر عملکرد آنها نظارت می‌نماید. ترویج سیستم بین‌المللی یکاها، کالیبراسیون وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی از دیگر وظایف این مؤسسه می‌باشد.

کمیسیون استاندارد دماسنجی بر اساس مقیاس دمای بین المللی ۱۹۹۰

رئیس

نیویان، مبین

(دکترای فیزیک)

سنت یا نمایندگی

دانشگاه تهران

اعضاء

رضاقلی بیگی، ناصر

(لیسانس فیزیک)

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

عابدینی، محمد

(فوق لیسانس فیزیک)

دانشگاه آزاد اسلامی

محمدی، احد

(فوق لیسانس فیزیک)

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

دبیر

بری، مقصود

(لیسانس فیزیک)

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

فهرست مندرجات صفحه

پیشگفتار الف

هدف و دامنه کاربرد ۱

مراجع الزامی ۱

مقیاس بین المللی دما ۱۹۹۰ ۱

پیوست ۱۵

واژه نامه فارسی به انگلیسی ۲۵

پیشگفتار

استاندارد "دماسنجی بر اساس مقیاس دمای بین المللی ۱۹۹۰ (ITS-۹۰)" که توسط کمیسیون‌های فنی مربوطه تهیه و تدوین شده و در بیست و یکمین جلسه کمیته ملی استاندارد اوزان و مقیاسها مورخ ۲۰/۱۰/۷۸ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند ۱ ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفتهای ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر گونه پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استاندارد ارائه شود، در هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین برای مراجعه به استانداردهای ملی ایران باید همواره از آخرین تجدیدنظر آنها استفاده کرد.

در تهیه و تدوین این استاندارد سعی شده است که ضمن توجه به شرایط موجود و نیازهای جامعه، در حد امکان بین این استاندارد و استانداردهای ملی کشورهای صنعتی و پیشرفته هماهنگی ایجاد شود. منابع و مأخذی که برای تهیه این استاندارد به کار رفته به شرح زیر است:

۱ - واژه نامه فیزیک - مرکز نشر دانشگاهی

2 - *International Temperature scale of 1990 , ITS - 90 English version of the official french text published by permission of the director ,Bureau international des poids et mesurc , pavillon de breteuil , 92312 sevres , france*

دماسنجی بر اساس مقیاس دمای بین المللی ۱۹۹۰

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، معرفی یکاهای دما و اصول مقیاس دمای بین المللی ۱۹۹۰ (ITS-۹۰)^۱ در گستره‌های گوناگون و ارائه روش‌های کالیبراسیون برای وسایل استاندارد اولیه است. بیشترین کاربرد این استاندارد در مراکز اندازه‌شناسی و آزمایشگاه‌های مرجع دما است.

۲ مراجع الزامی

مدارک زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد به آنها ارجاع داده شده است. به این ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد محسوب می‌شود. در مورد مراجع دارای تاریخ چاپ و / یا تجدیدنظر، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی این مدارک مورد نظر نیست. معهذاً بهتر است کاربران ذینفع این استاندارد امکان کاربرد آخرین اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای مدارک الزامی زیر را مورد بررسی قرار دهند. در مورد مراجع بدون تاریخ چاپ و / یا تجدیدنظر، آخرین چاپ و / یا تجدیدنظر آن مدارک الزامی ارجاع داده شده مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است :

1 - *Techniques for approximating (ITS-90)-BIPM*

2-*Supplementary information for (ITS-90)-CCT*

1 - *The International Temperature Scale of 1990*

۳ مقیاس دمای بین المللی ۱۹۹۰ (ITS-90)

مقیاس دمای بین المللی ۱۹۹۰ توسط کمیته بین المللی اوزان و مقیاسها در گردهمایی سال ۱۹۸۹ بر اساس درخواست مندرج در تصمیم ۷، هجدهمین کنفرانس عمومی اوزان و مقیاسها سال ۱۹۸۷، پذیرفته شد.

این مقیاس، مقیاس عملی دمای بین المللی ۱۹۶۸ (چاپ اصلاح شده ۱۹۷۵) و مقیاس دمای موقت ۱۹۷۶ از $0/5K$ تا $30K$ را کنار می گذارد.

۳-۱ یکاهای دما

یکای کمیت فیزیکی موسوم به دمای ترمودینامیکی، با نماد T ، کلون با نماد K است که به صورت $\frac{1}{273/16}$ دمای ترمودینامیکی نقطه سه گانه آب تعریف می گردد.

روشی که قبلاً برای توضیح مقیاس دما بکار می رفت هنوز هم رایج است که بر حسب تفاوت از $273/15K$ ، نقطه ذوب یخ تعریف می شود، T دمای ترمودینامیکی که به این روش بیان شد بعنوان دمای سلسیوس با نماد t بصورت

$$t^{\circ}C = T/K - 273/15 \quad (1)$$

تعریف می شود. یکای دمای سلسیوس با نماد $^{\circ}C$ است که بنا به تعریف اندازه آن با کلون برابر است. تفاوت دما را می توان با کلون یا درجه سلسیوس بیان کرد.

مقیاس دمای بین المللی ۱۹۹۰ (ITS-90) هم دماهای کلون بین المللی با نماد t° ، و هم دماهای سلسیوس بین المللی با نماد t° را تعریف می کند. رابطه بین t° و t° همانند رابطه T و t است یعنی:

$$t^{\circ} C = T^{\circ} / K - 273/15 \quad (2)$$

یکای کمیت فیزیکی q . T کلون با نماد K و یکای کمیت فیزیکی q . t درجه سلسیوس با نماد C ⁰ است که برای دمای ترمودینامیکی T و دمای سلسیوس t اهمیت دارد.

۱۳-۲ اصول مقیاس دمای بین المللی ۱۹۹۰ (ITS-90)

ITS-90، بالاتر از $0/65K$ تا بیشترین دمای قابل اندازه گیری عملی بر حسب قانون تابش پلانک که تابش تک فام را بکار می برد، گسترش می یابد. ITS-90 شامل تعدادی گستره و زیرگستره هایی است که در سراسر هر یک از آنها دماهای q . T تعریف شده اند. برخی از این گستره یا زیرگستره ها همپوشانی می کنند و هر جا که چنین همپوشانی پیش می آید، تعریف های متفاوتی از q . T وجود دارد، این تعریف های متفاوت وضعیت یکسانی را دارند. برای اندازه گیری با دقت بسیار بالا ممکن است تفاوت های عددی قابل ملاحظه ای میان اندازه گیری هایی که در همان دما، اما بر اساس تعریف های متفاوت وجود دارد پیش آید. همچنین حتی با استفاده از یک تعریف، در دماهای بین نقاط ثابت تعریف شده "ممکن است دو وسیله درون یابی کننده (مانند دماسنجهای مقاومتی) مقادیر عددی متفاوت از q . T را ارائه دهد. در واقع تمام موارد این تفاوت ها دارای اهمیت کاربردی قابل اغماض هستند و در پائین ترین سطح سازگاری با مقیاسی که پیچیدگی معقولی ندارد قرار دارند. برای آگاهی بیشتر در این زمینه، به اطلاعات تکمیلی ITS-90 مراجعه شود. ITS-90 طوری بنا شده است که در سراسر گستره آن به ازای هر دما، مقدار عددی q . T ، تقریباً به مقدار T که مطابق با بهترین برآوردها در زمان پذیرش مقیاس بوده نزدیک است. در مقایسه با اندازه گیری مستقیم دماهای ترمودینامیکی، اندازه گیری q . T که به آسانی انجام می گیرد، بسیار دقیق بوده و قابل باز تولید هستند. تفاوت های عددی مهمی میان مقادیر q . T و مقادیر مربوطه T_{ex} اندازه گیری شده در مقیاس عملی دمای بین المللی ۱۹۴۸ (IPTS-48) و مقیاس دمای بین المللی ۱۹۴۸ (ITS-48) و مقیاس دمای بین المللی ۱۹۲۷ (ITS-27) وجود داشت. برای آگاهی بیشتر اطلاعات تکمیلی ITS-90 و پیوست را

بینید.

۳-۳ تعریف مقیاس دمای بین المللی ۱۹۹۰

بین $0/65K$ و $5/0K$ ، T_9 بر اساس روابط دمای فشار بخار 3He و 4He تعریف می شود. بین $3/0K$ و نقطه سه گانه نئون ($24/5561K$)، T_9 به کمک یک دماسنج گازی هلیوم کالیبره شده در سه دمای واقعی تجربی که مقادیر عددی معلومی (نقاط ثابت تعریف شده) دارد و با استفاده از روش های درون یابی ویژه تعریف می شود.

بین نقطه سه گانه هیدروژن در حال تعادل ($13/8033K$) و نقطه انجماد نقره ($961/78^0C$)، T_9 به کمک دماسنجهای مقاومتی پلاتینی کالیبره شده در دسته معینی از نقاط ثابت تعریف شده و با استفاده از روش های درون یابی ویژه تعریف می شود.

بالا تر از انجماد نقره ($961/78^0C$)، T_9 بر حسب یک نقطه ثابت تعریف شده و قانون تابش پلانک تعریف می شود.

نقاط ثابت تعریف شده $ITS-90$ در جدول ۱ درج شده است. آثار فشار ناشی از فروبوی حسگر^۱ به اعماق زیاد یا موارد دیگر؛ در دمای بسیار از این نقاط در جدول ۲ آمده است.

۳-۳-۱ از $0/65K$ تا $5/0K$: معادله های دمای فشار بخار هلیوم

در این گستره، T_9 بر حسب فشار 3He و 4He با استفاده از معادله هایی به شکل

$$T_9/K = A_0 + \sum_{i=1}^9 A_i \left[\frac{\ln(p/p_a) - B}{C} \right]^i \quad (3)$$

تعریف می شود. مقادیر مربوط به ثابتهای A_0, A_i, B و C برای 3He در گستره $0/65K$ تا $3/2K$ و

برای ${}^4\text{He}$ در گستره‌های $1/25\text{K}$ تا $2/1768\text{K}$ (نقطه λ) و $2/1768\text{K}$ تا $5/0\text{K}$ در جدول ۳ داده شده است.

۲-۳-۳ از $3/0\text{K}$ تا نقطه سه گانه نئون ($24/5561\text{K}$): دماسنج گازی

در این گستره، T_{eq} بر حسب یک دماسنج گازی با حجم ثابت ${}^2\text{He}$ و ${}^4\text{He}$ که در سه دما کالبره می‌شود تعریف می‌گردد. این نقاط، نقطه سه گانه نئون ($24/5561\text{K}$)، نقطه سه گانه هیدروژن ($13/8033$) و یک دما بین $3/0\text{K}$ و $5/0\text{K}$ هستند. دمای آخری با استفاده از یک دماسنج فشار بخار ${}^2\text{He}$ و ${}^4\text{He}$ ، آنگونه که در بخش ۳-۳-۱ مشخص شد، تعیین می‌گردد.

۱-۲-۳-۳ از $4/2\text{K}$ تا نقطه سه گانه نئون ($24/5561\text{K}$) با ${}^4\text{He}$ بعنوان گاز دماسنجی

در این گستره، T_{eq} بوسیله رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$T_{\text{eq}} = a + bp + cP^2 \quad (4)$$

که P فشار درون دماسنج گازی و a و b و c ضرایبی هستند که مقادیر عددی آنها را از اندازه‌گیری‌های انجام شده در سه نقطه ثابت تعریف شده که در بخش ۳-۳-۲ داده شده‌اند بدست می‌آید، اما با این محدودیت که پائین‌ترین این نقاط بین $4/2\text{K}$ و $5/0\text{K}$ قرار دارد.

۲-۲-۳-۳ از $3/0\text{K}$ تا نقطه سه گانه نئون ($24/5561\text{K}$) با ${}^3\text{He}$ و ${}^4\text{He}$ بعنوان گاز

دماسنجی

برای یک دماسنج گازی ${}^3\text{He}$ و برای یک دماسنج گازی ${}^4\text{He}$ که در پائین‌تراز $4/2\text{K}$ بکار می‌رود، با استفاده از ضریب دوم ویریا^۱ مناسب $B_2(T_{\text{eq}})$ ، $B_4(T_{\text{eq}})$ غیر ایده آل بودن گاز باید بطور صریح به حساب آورد شود. در این گستره T_{eq} با رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$T_{\text{eq}} = \frac{a + bp + cP^2}{1 + B_2(T_{\text{eq}})N/V} \quad (5)$$

1 - Virial

که P فشار داخل دماسنج گازی و a و b و c ضرایبی هستند که مقادیر عددی آنها آنگونه که در بخش ۳-۳-۲ معلوم شد از اندازه گیری‌های انجام شده در سه دمای تعریف شده بدست می‌آیند، $\frac{N}{V}$ چگالی گاز است که N ذرات گاز و V حجم حباب و x مطابق با ایزوتروپ بکار رفته ۳ یا ۴ است. مقادیر ضرایب دوم و بیرئال با رابطه‌های زیر داده شده است:

برای ${}^4\text{He}$:

$$B_{T(T_{90})} / m^3 \text{ mol}^{-1} = \{ 16/69 - 336/98 (T_9/K)^{-1} + 91/04 (T_9/K)^{-2} - 13/82 (T_9/K)^{-3} \} 10^{-6} \quad (6-\text{الف})$$

برای ${}^3\text{He}$:

$$B_{T(T_{90})} / m^3 \text{ mol}^{-1} = \{ 16/708 - 374/05 (T_9/K)^{-1} - 383/53 (T_9/K)^{-2} + 1799/2 (T_9/K)^{-3} - 4033/2 (T_9/K)^{-4} + 3252/8 (T_9/K)^{-5} \} 10^{-6} \quad (6-\text{ب})$$

دقتی را که می‌توان با استفاده از معادله‌های ۴ و ۵ برای T_9 بدست آورد به طراحی دماسنج گازی و چگالی بکار رفته بستگی دارد.

معیار طراحی و روال کاربردی خوب مورد نیاز برای نیل به یک دقت انتخاب شده در اطلاعات تکمیلی ITS-90 داده شده است.

۳-۳-۳ نقطه سه گانه هیدروژن در حال تعادل (۱۳/۸۰۳۳K) تا نقطه انجماد نقره (۹۶۱/۷۸°C): دماسنج مقاومتی پلاتینی

در این گستره، T_9 بوسیله یک دماسنج مقاومتی پلاتینی کالیبره شده در یک سری از نقاط ثابت تعریف شده، مشخص و با استفاده از توابع مرجع معین و توابع انحراف برای درون یابی در دماهای

میانی تعریف می‌شود.

در سر تا سرگستره دمایی $12/8023K$ تا $961/778^{\circ}C$ هیچ دماسنج مقاومتی پلاتینی به تنهایی نمی‌تواند دقت زیادی را فراهم کند یا حتی احتمالاً قابل استفاده باشد. انتخاب گستره یا گستره‌های دما از بین آنهاییکه در زیر درج شده برای دماسنج ویژه‌ای که می‌تواند بکار رود، معمولاً از لحاظ ساختاری آن محدودیت وجود دارد.

برای جزئیات عملی و روال کاربردی خوب، بویژه در رابطه با انواع دماسنج‌های قابل دسترس، گستره‌های کاربردی پذیرفتنی، دقت‌های ممکنه، مقاومت‌های نشتی مجاز، مقادیر مقاومت و رفتار گرمایی، اطلاعات تکمیلی *ITS-90* را ببینید. بویژه در نظر گرفتن رفتارهای گرمایی مناسب که دماسنج مقاومتی پلاتینی باید در هر زمان پیروی کند و تقریباً بالاتر از $420^{\circ}C$ را تحت الشعاع قرار می‌دهد، مهم است.

دماها بر حسب نسبت مقاومت $R(T_{90})$ در دمای T_{90} و مقاومت $R(273/16K)$ در نقطه سه گانه آب تعیین می‌شوند. این نسبت $W(T_{90})$ ، عبارت است از:

$$W(T_{90}) = R(T_{90}) / R(273/16K) \quad (7)$$

یک دماسنج مقاومتی پذیرفتنی باید از پلاتین خالص و آزاد از کرنش ساخته شود و دست کم باید در یکی از دو رابطه زیر صدق کند:

$$W(29/7644^{\circ}C) \geq 1/118.07 \quad (8 - \text{الف})$$

$$W(-38/1344^{\circ}C) \leq 0.1844235 \quad (8 - \text{ب})$$

همچنین یک دماسنج مقاومتی پلاتینی پذیرفتنی که تا نقطه انجماد نقره به کار می‌رود باید در رابطه

۱ - توجه شود که این تعریف $W(T_{90})$ با تعاریف بکار رفته در *ITS-27* و *ITS-48* و *IPTS-68* تفاوت دارد. برای همه این مقیاس‌های اخیر $W(T)$ بر حسب دمای مرجع $^{\circ}C$ تعریف شده بود که از سال ۱۹۵۴ بصورت $273/15K$ تعریف شده است.

زیر صدق کند:

$$W(961/78^{\circ}C) \geq 4/2844 \quad (8-ج)$$

در هر یک از گستره‌های دماسنج مقاومتی، (T_{90}) از $W_r(T_{90})$ که بوسیله تابع مرجع مناسبی داده می‌شود (معادله‌های ۹۰ یا ۱۰) و انحراف $W(T_{90}) - W_r(T_{90})$ بدست می‌آید. در نقاط ثابت تعریف شده این انحراف بطور مستقیم از کالیبراسیون دماسنج بدست می‌آید.

$$\ln[W_r(T_{90})] = A + \sum_{i=1}^{12} A_i \left[\frac{\ln(T_{90}/273/16K) + 1/5}{1/5} \right]^i \quad (9-الف)$$

یک تابع وارون هم ارز با (۹-الف) در $0/1mK$ چنین است:

$$T_{90}/273/16K = B + \sum_{i=1}^{15} B_i \left[\frac{W_r(T_{90}) - 0/65}{0/35} \right]^i \quad (9-ب)$$

مقادیر مربوط به ثابت‌های A_0, A_i, B_0, B_i در جدول ۴ درج شده است.

یک دماسنج ممکن است برای استفاده در سراسر گستره یا با بکارگیری چند نقطه کالیبراسیون، برای گستره‌های با محدوده‌های دمایی پایین $24/5561K, 54/3584K, 83/1058K$ که همگی حد بالائی $273/16K$ را دارا هستند، کالیبره شود.

(ب) برای گستره $0^{\circ}C$ تا $961/78^{\circ}C$ تابع مرجع زیر تعریف شده است.

$$W_r(t_{90}) = C + \sum_{i=1}^9 C_i \left[\frac{190/7 C - 754/15}{481} \right]^i \quad (10-الف)$$

یک تابع وارون هم ارز با معادله (۱۰-الف) در $0/13mK$ چنین است:

$$1.90 / C = D \sum_{i=1}^9 D_i \left[\frac{w_r(t_{9.0}) - 2/64}{1/64} \right]^i \quad (10-ب)$$

مقادیر مربوط به ثابتهای C_0, C_i, D_0, D_i در جدول ۴ درج شده است.

یک دماسنج ممکن است برای استفاده در سراسر این گستره یا با بکارگیری چند نقطه کالیبراسیون، برای گستره‌های با محدوده‌های بالای $29.7646^\circ C$ که حد پائینی همگی $0^\circ C$ است کالیبره شود.

(ج) یک دماسنج ممکن است برای استفاده در گستره $(-38.18344^\circ C)$ تا $234.3156 K$ یا $29.7646^\circ C$ کالیبره شود، که کالیبراسیون در این دماها و در نقطه سه گانه آب صورت می‌گیرد. هر دو تابع مرجع (معادلات ۹ و ۱۰) برای پوشش دادن این گستره لازم هستند.

نقاط ثابت تعریف شده و تابع‌های انحراف برای گستره‌های گوناگون در زیر آمده و بطور خلاصه در جدول ۵ درج شده است.

۱-۳-۳-۳ نقطه سه گانه هیدروژن در حال تعادل ($13/8.033 K$) تا نقطه سه گانه آب ($273.15 K$)

دماسنج در نقاط سه گانه هیدروژن در حال تعادل ($13/8.033 K$)، نئون ($24/5561 K$)، اکسیژن ($54/3584 K$)، آرگون ($83/18.058 K$)، جیوه ($234.3156 K$) و آب ($273.15 K$) و دو دمای اضافی نزدیک به $17.0 K$ و $20.3 K$ کالیبره می‌شود.

این دو دمای اخیر ممکن است هم با استفاده از یک دماسنج گازی مانند آنچه که در بخش ۳-۳-۲ توصیف شد تعیین شوند، که در این مورد دو دما به ترتیب در گستره‌های ($16/9 K$ تا $17/1 K$) و ($20/2 K$ تا $20/4 K$) باید قرار داشته باشند و یا ممکن است با استفاده از رابطه دمای بخار - فشار هیدروژن در حال تعادل که با مقادیر دقیقی که از معادله‌های

$$T_{90,JK} - 171.25 = (P/kpa - 22/2213) / 12/32 \quad (11 - \text{الف})$$

$$T_{90,JK} - 20.27 = (P/kpa - 10.1/292) / 30 \quad (11 - \text{ب})$$

بدست می‌آیند، تعیین شوند، که در این مورد دو دما باید به ترتیب در گستره‌های $(171.25K \text{ تا } 171.045K)$ و $(20.26 \text{ تا } 20.28K)$ قرار داشته باشند.

تابع انحراف^۱ عبارت است از:

$$W(T) - W(T_{90}) = a[W(T_{90}) - 1] + b[W(T_{90}) - 1]^2 + \sum_{i=1}^5 c_i [\ln W(T_{90})]^{i+n} \quad (12)$$

که مقادیر a ، b و c_i از اندازه‌گیری‌های انجام شده در نقاط ثابت تعریف شده به ازای $n=2$ بدست می‌آیند. برای این گستره و برای زیر گستره‌های $1-1-3-3-3$ تا $3-1-3-3-3$ مقادیر لازم $W_p(T_{90})$ از معادله (۹) - الف) یا از جدول ۱ بدست می‌آید.

۱-۱-۳-۳-۳ نقطه سه گانه نئون ($24/5561 K$) تا نقطه سه گانه آب ($273/16 K$)

دماسنج در نقاط سه گانه هیدروژن در حال تعادل ($13/8.23K$)، نئون ($24/5561 K$) اکسیژن ($54/3584 K$)، آرگون ($83/8.58 K$)، جیوه ($234/3156K$) و آب ($273/16K$) کالیبره می‌شود.

تابع انحراف با مقادیری a ، b ، c_1 ، c_2 و c_3 که از اندازه‌گیری‌های انجام شده در نقاط ثابت تعریف شده به ازای $n=0$ ، $c_4 = c_5 = n=0$ بدست می‌آید، بوسیله معادله (۱۲) داده شده است.

۱ - این تابع انحراف (و همچنین معادلات ۱۳ و ۱۴) را می‌توان به جای W بر حسب W_p بیان کرد. برای این کار اطلاعات تکمیلی $JTS-90$ را ببینید.

۲-۱-۳-۳-۳ نقطه سه گانه اکسیژن ($54/3584 K$) تا نقطه سه گانه آب ($273/14 K$)
 دماسنج در نقاط سه گانه ($54/3584 K$)، آرگون ($83/8058 K$)، جیوه ($234/3156 K$) و آب
 ($273/16 K$) کالیبره می شود.

تابع انحراف با مقادیری a ، b ، c_1 که از اندازه گیری های انجام شده در نقاط ثابت تعریف شده به ازای
 $c_2 = c_3 = c_4 = c_5 = 0$ و $n=1$ بدست می آید، بوسیله معادله (۱۲) داده شده است.

۳-۱-۳-۳-۳ نقطه سه گانه آرگون ($83/8058 K$)، تا نقطه سه گانه آب ($273/14 K$)
 دماسنج در نقاط سه گانه، آرگون ($83/8058 K$) جیوه ($234/3156 K$) و آب ($273/16 K$) کالیبره
 می شود.

تابع انحراف عبارت است از:

$$W(T_{q_1}) - W(T_{q_2}) = a[W(T_{q_1}) - 1] + b[W(T_{q_2}) - 1] \ln W(T_{q_1}) \quad (13)$$

که مقادیر a ، b از اندازه گیری های انجام شده در نقاط ثابت تعریف شده بدست می آیند.

۲-۳-۳-۳ از $0^\circ C$ تا نقطه انجماد نقره ($961/78^\circ C$)

دماسنج در نقطه سه گانه آب ($273/16 K$) و در نقاط انجماد قلع ($231/928^\circ C$) و روی

($419/527^\circ C$)، آلومینیوم ($660/323^\circ C$) و نقره ($961/78^\circ C$) کالیبره می شود.

تابع انحراف عبارت است از:

$$W(t_{q_1}) - W(t_{q_2}) = a[W(t_{q_1}) - 1] + b[W(t_{q_2}) - 1]^2 + c[W(t_{q_2}) - 1]^3 + d[W(t_{q_2}) - W(660/323)] \quad (14)$$

برای دماهای زیر نقطه انجماد آلومینیوم $d=0$ است. مقادیر a و b و c از انحراف‌های اندازه‌گیری شده از $W_p(T_{90})$ در نقاط انجماد قلع، روی و آلومینیوم تعیین می‌شوند. از نقطه انجماد آلومینیوم تا نقطه انجماد نقره مقادیر یاد شده a و b و c حفظ می‌شوند و مقدار d از انحراف اندازه‌گیری شده از $W_p(T_{90})$ در نقطه انجماد نقره تعیین می‌شود.

برای این گستره و زیر گستره‌های ۱-۲-۳-۳-۳ تا ۵-۲-۳-۳-۳ مقادیر لازم برای $W_p(T_{90})$ از معادله (۱۰) یا از جدول ۱ بدست می‌آید.

۱-۲-۳-۳-۳ از $0^{\circ}C$ تا نقطه انجماد آلومینیوم ($660/323^{\circ}C$)

دماسنج در نقطه سه‌گانه آب ($0/0.1^{\circ}C$) و در نقاط انجماد قلع ($231/928^{\circ}C$)، روی ($419/527^{\circ}C$) و آلومینیوم ($660/323^{\circ}C$) کالیبره می‌شود.

تابع انحراف یا مقادیر a ، b و c که از اندازه‌گیری‌های انجام شده در نقاط ثابت تعریف شده به ازای $d=0$ تعیین می‌شود بوسیله معادله (۱۴) داده شده است.

۲-۲-۳-۳-۳ از نقطه $0^{\circ}C$ تا نقطه انجماد روی ($1419/527^{\circ}C$)

دماسنج در نقطه سه‌گانه آب ($0/0.1^{\circ}C$) و در نقاط انجماد قلع ($231/928^{\circ}C$) و روی ($419/527^{\circ}C$) کالیبره می‌شود.

تابع انحراف یا مقادیر a و b که از اندازه‌گیری‌های انجام شده در نقاط ثابت تعریف شده به ازای $c=d=0$ بدست می‌آید، بوسیله معادله (۱۴) داده می‌شود

۳-۲-۳-۳-۳ از $0^{\circ}C$ تا نقطه انجماد قلع ($231/928^{\circ}C$)

دماسنج در نقطه سه‌گانه آب ($0/0.1^{\circ}C$) و در نقاط انجماد ایندیم ($156/598.5^{\circ}C$) و قلع ($231/928^{\circ}C$) کالیبره می‌شود.

تابع انحراف یا مقادیر a و b که از اندازه‌گیری‌های انجام شده در نقاط ثابت تعریف شده به ازای

$c = d = 0$ تعیین می‌شود، بوسیله معادله (۱۴) داده می‌شود

۳-۳-۳-۳ از نقطه $0^{\circ}C$ تا نقطه انجماد ایندیم ($156/5985^{\circ}C$)

دماسنج در نقطه سه گانه آب ($0/01^{\circ}C$) و نقاط انجماد ایندیم ($156/5985^{\circ}C$) کالیبره می‌شود.

تابع انحراف با مقدار a که از اندازه گیری‌های انجام شده در نقاط ثابت تعریف شده به ازای

$b = d = c = 0$ تعیین می‌شود، بوسیله معادله (۱۴) داده می‌شود.

۳-۳-۳-۳ از نقطه $0^{\circ}C$ تا نقطه ذوب گالیم ($29/7646^{\circ}C$)

دماسنج در نقطه سه گانه آب ($0/01^{\circ}C$) و نقطه ذوب گالیم ($29/7646^{\circ}C$) کالیبره می‌شود.

تابع انحراف با مقدار a که از اندازه گیری‌های انجام شده در نقاط ثابت تعریف شده به ازای

$b = d = c = 0$ تعیین می‌شود، بوسیله معادله (۱۴) داده می‌شود.

۳-۳-۳-۳ نقطه سه گانه جیوه ($-38/8344^{\circ}C$) تا نقطه ذوب گالیم ($29/7646^{\circ}C$)

دماسنج در نقاط سه گانه جیوه ($-38/8344^{\circ}C$) و آب ($0/01^{\circ}C$) و نقطه ذوب گالیم

($29/7646^{\circ}C$) کالیبره می‌شود.

تابع انحراف با مقادیر a و b که از اندازه گیری‌های انجام شده در نقاط ثابت تعریف شده به ازای $c = d = 0$

تعیین می‌شود، بوسیله معادله (۱۴) داده می‌شود.

مقادیر مورد نیاز $W_p(T_1)$ برای اندازه گیری‌های زیر و بالای $273/16K$ به ترتیب از معادلات (۹) و (۱۰) یا

از جدول ۱ بدست می‌آید.

۳-۳-۳ گستره بالای نقطه انجماد نقره ($961/78^{\circ}C$): قانون تابش پلانک

بالای نقطه انجماد نقره، دمای T_1 بوسیله معادله زیر تعریف شده است:

$$\frac{L_{\lambda}(T_{\lambda, 90})}{L_{\lambda}[T_{\lambda}(X)]} = \frac{\exp[c/\lambda T_{\lambda, 90}(X)] - 1}{\exp[c/\lambda T_{\lambda, 90}] - 1} \quad (15)$$

که $T_{\lambda, 90}(X)$ به هر یک از نقاط انجماد^۱:

$$T_{\lambda, 90}(Ag) = 1234/93K \quad \text{نقره:}$$

$$T_{\lambda, 90}(Au) = 1337/33K \quad \text{طلا:}$$

$$T_{\lambda, 90}(Cu) = 1357/77K \quad \text{مس:}$$

برمی‌گردد، و همچنین $L_{\lambda}(T_{\lambda, 90})$ و $L_{\lambda}[T_{\lambda, 90}(X)]$ تراکم بینایی تابش جسم سیاه در طول موج (در

خلاء) λ به ترتیب در $T_{\lambda, 90}$ و $T_{\lambda, 90}(X)$ است و مترکلوین $0.14388/c_{\lambda}$.

جهت جزئیات عملی و روال خوب کاربردی برای آذرسنجی نوری به اطلاعات تکمیلی *ITS-90*

مراجعه شود.

۴-۲ اطلاعات تکمیلی و تفاوت‌هایی از مقیاس‌های پیشین

دستگاه و روش‌هایی که تحقق *ITS-90* را عملی می‌سازد در اطلاعات تکمیلی *ITS-90* داده

شده‌اند. این مدرک تعدادی از مقیاس‌های دمای بین‌المللی پیشین و تفاوت‌های عددی بین

مقیاس‌های بنیادی عملی را نیز ارائه می‌دهد که توابع ریاضی برای تفاوت‌های $T_{68} - T_{90}$ را در بر می‌گیرد.

تعدادی از تقریب‌های سودمند برای *ITS-90* در روش‌هایی برای تقریب کردن *ITS-90* داده شده

است. این دو مدرک بوسیله کمیته مشورتی برای دماسنجی آماده و بوسیله *BIPM* انتشار یافته

است، که آنها بطور متناوب اصلاح و به‌نگام‌گردیده‌اند. تفاوت‌های $T_{68} - T_{90}$ در شکل ۱ و جدول ۶

۱ - اعتقاد بر این است که مقادیر $T_{\lambda, 90}$ نقاط انجماد نقره، طلا و مس آنچنان خودسازگار هستند که جایگزین هر یک آنها بعنوان دمای مرجع $T_{\lambda, 90}(X)$ به جای یکی از دو تای دیگر منجر به تفاوت‌های مهم در مقادیر اندازه‌گیری شده $T_{\lambda, 90}$ نمی‌گردد.

2 - Bureau International des poids et Mesures.

نشان داده شده است. تعدادی از ارقام مشخص که در جدول ۶ داده شده است، اجازه درون یابی
هموار را می‌دهد. با وجود این قابلیت باز تولیدی *JPTS-68*، اساساً در بیشتر زمینه‌ها بدتر از آن
است که به وسیله این ارقام اشاره می‌گردد.

پیوست

مقیاس دمای بین المللی ۱۹۲۷ (ITS-27)

مقیاس دمای بین المللی ۱۹۲۷ توسط هفتمین کنفرانس عمومی اوزان و مقیاسها جهت فائق آمدن بر مشکلات عملی اجراء مستقیم دماهای ترمودینامیکی بوسیله دماسنجی گازی و بعنوان یک جایجائی قابل قبول جهانی بخاطر وجود مقیاسهای دمای ملی متفاوت، پذیرفته شد.

ITS-27، برای اینکه اندازه گیری های دقیق و تکرار پذیر دما تقریبی نزدیک به دماهای ترمودینامیکی که در آن زمان تعیین شده بودند، داشته باشند، فرموله شد.

ITS-27، بر اساس تعدادی از دماهای با قابلیت باز تولید یا نقاط ثابت که مقادیر عددی آنها معین شده و همچنین دو وسیله استاندارد درون یابی کننده، بین نقطه جوش اکسیژن و نقطه انجماد طلا قرار گرفته است.

هر یک از وسایل درون یابی کننده در چند نقطه ثابت کالیبره شده است که ثابت هایی برای فرمول درون یابی کننده در گستره دمایی مناسب، ارائه می دهند. یک دماسنج مقاومتی پلاتینی برای قسمت پائین تر و یک ترموکوپل پلاتین - ردیم / پلاتین، برای دماهای بالای 660°C مورد استفاده قرار می گیرد. دماها، برای ناحیه بالای نقطه انجماد طلا، بر حسب قانون تابش وین تعریف شده است.

در عمل این تعبیر ناپذیری به انتخاب یک آذر سنج نوری بعنوان یک وسیله عملی کننده منجر شده است.

مقیاس دمای بین المللی ۱۹۴۸ (ITS-48)

مقیاس دمای بین المللی ۱۹۴۸ توسط نهمین کنفرانس عمومی پذیرفته شد.

تغییرات نسبت به ITS-27 عبارت بودند از:

- حد پائین گستره دماسنج مقاومتی پلاتین از ($-190^{\circ}C$) به نقطه جوش اکسیژن تعریف شده ($182/97^{\circ}C$) و پیوند گستره دماسنج مقاومتی پلاتین و گستره ترموکوپل به جای ($660^{\circ}C$) به نقطه انجماد آنتیموان اندازه گیری شده (تقریباً $630^{\circ}C$) تغییر یافت.
- نقطه انجماد نقره بجای ($960/5^{\circ}C$)، ($960/8^{\circ}C$) تعریف شد.
- نقطه انجماد طلا بجای نقطه ذوب طلا ($1063^{\circ}C$) جایگزین شد.
- قانون تابش پلانک جایگزین قانون وین شد.
- مقدار مشخص شده برای دومین ثابت تابش بجای (مترکلون $10^{-2} \times 1/432 \times 10^{-2}$)، (مترکلون $10^{-2} \times 1/438$) شد.
- گستره های مجاز برای ثابت های فرمول درون یابی کننده جهت دماسنج مقاومتی استاندارد و ترموکوپل اصلاح شدند.
- محدودیت λT در آذرسنج نوری (مترکلون $10^{-3} \times 3 \times \lambda T <$) به ضرورت اینکه تابش مرئی بکار رود تغییر یافت.

مقیاس عملی دمای بین المللی ۱۹۴۸ (پاپ اصلاح شده ۱۹۶۰)، (IPTS-48)

مقیاس عملی دمای بین المللی ۱۹۴۸ (چاپ اصلاح شده ۱۹۶۰)، توسط یازدهمین کنفرانس عمومی پذیرفته شد. دهمین کنفرانس عمومی، قبلاً "نقطه سه گانه آب را بعنوان تنها نقطه تعریف کننده کلون، یکای دمای ترمودینامیکی پذیرفته بود. افزون بر معرفی کلمه «عملی»، اصلاحات ITS-48 عبارت بودند از:

- بجای نقطه جوش گوگرد ($444/6^{\circ}C$) بعنوان نقطه کالیبراسیون، نقطه انجماد روی ($419/505^{\circ}C$) ترجیح داده شد.

- گستره های مجاز برای ثابت های فرمول درون یابی کننده جهت دماسنج مقاومتی استاندارد و ترموکوپل اصلاح شدند.

- محدودیت برای تابش مرئی در آذر سنج نوری حذف شد.

چون مقادیر عددی دما در $IPTS-48$ مشابه $IPTS-90$ بودند، مقیاس قبلی، تجدیدنظر مقیاس سال ۱۹۴۸ نبود بلکه صرفاً یک اصلاحیه برای آن بود.

مقیاس عملی دمای بین المللی ۱۹۶۸ ($IPTS-68$)

کمیته بین المللی اوزان و مقیاسها، در سال ۱۹۶۸، مقیاس عملی دمای بین المللی ۱۹۶۸ را اعلام کرد، که اختیار انجام آن را توسط سیزدهمین کنفرانس عمومی ۱۹۶۸ - ۱۹۶۷ بدست آورده بود.

$IPTS-68$ ، تغییرات وسیعی از $IPTS-48$ را یکسان کرد. اینها شامل تغییرات عددی، طراحی جهت نزدیکی بیشتر در تطبیق با دماهای ترمودینامیکی بود که در خیلی از کاربرها برای نمایان ساختن، به اندازه کافی بزرگ بودند.

تغییرات دیگر به قرار زیر بودند:

- حد پائین مقیاس $13/81K$ گسترش یافت.

- حتی در دماهای پائین تر ($0/5K$ تا $5/2K$) استفاده از دو مقیاس فشار بخار هلیوم سفارش شد.

- شش نقطه ثابت تعریف شده جدید معرفی شد. نقطه سه گانه هیدروژن در حال تعادل

($13/81\text{ K}$) ، یک نقطه تعادل میانی هیدروژن ($17/042\text{ K}$) ، نقطه جوش طبیعی هیدروژن در حال تعادل ($20/28\text{ K}$) ، نقطه جوش نئون ($27/102\text{ K}$) ، نقطه سه گانه اکسیژن ($52/361\text{ K}$) و نقطه انجماد قلع ($231/9681\text{ }^{\circ}\text{C}$) که شق مجاز دیگری برای نقطه جوش آب شد.

- نقطه جوش گوگرد حذف شد.

- مقادیر مشخص شده برای چهار نقطه ثابت تغییر یافت. نقطه جوش اکسیژن ($90/188\text{ K}$) ، نقطه انجماد روی ($419/5\text{ }^{\circ}\text{C}$) ، نقطه انجماد نقره ($961/63\text{ }^{\circ}\text{C}$) و نقطه انجماد طلا ($1064/43\text{ }^{\circ}\text{C}$) .

- فرمول درون یابی کننده برای گستره دماسنج مقاومتی خیلی زیاد پیچیده شد.

- مقدار معلوم برای α_2 دومین ثابت تابش، مترکلوین $10^{-2}/4388 \times 1$ شد.

- گستره های مجاز ثابت ها جهت فرمول درون یابی کننده برای دماسنج مقاومتی و ترموکوپل دوباره تصحیح شد.

مقیاس عملی دمای بین المللی ۱۹۶۸ (پاپ اصلاح شده ۱۹۷۵) ، ($IPTS-68$)

مقیاس عملی دمای بین المللی ۱۹۶۸ (چاپ اصلاح شده ۱۹۷۵) توسط پانزدهمین کنفرانس عمومی در سال ۱۹۷۵ پذیرفته شد.

همانند حالتی که ($IPTS-48$) نسبت به $ITS-48$ دارا بود، ($IPTS-68(75)$) هیچ تغییرات عددی معرفی نکرده است، بیشتر تغییرات وسیع مربوط به متن، تنها به منظور روشن کردن و ساده نمودن کاربرد آن بود. تغییرات اساسی عبارت بودند از:

- نقطه اکسیژن بعنوان نقطه چگالش، بجای نقطه جوش تعریف شد.

- نقطه سه گانه آرگون ($83/798\text{ K}$)، بعنوان شق مجاز دیگری برای نقطه چگالش اکسیژن معرفی گردید.

- مقادیر جدید ترکیب ایزوتوپی طبیعی نئون، پذیرفته شد.

- سفارش استفاده از مقادیر T ، داده شده توسط مقیاس بخار فشار ${}^4\text{He}$ (۱۹۵۸) و ${}^3\text{He}$ (۱۹۶۲) لغو گردید.

مقیاس موقت دمای ۱۹۷۶ از 0.05K تا 300K ($EPT-76$)

مقیاس موقت دمای ۱۹۷۶ از 0.05K تا 300K ، جهت اجابت دو تقاضای مهم، معرفی شد. اساساً اینها وسایل و ابزار تأمین کاهش خطاهای (نسبت به مقادیر ترمودینامیکی مربوطه) زیر 27K بود که بعداً معلوم شد در ($IPTS-68$) و سر تا سر گستره‌های دمایی مقیاس‌های بخار - فشار ${}^3\text{He}$ و ${}^4\text{He}$ بترتیب مربوط به سالهای ۱۹۵۸ و ۱۹۶۲ وجود دارد، و همچنین ایجاد پلی برای فاصله 5.2K و 13.81K بود که قبلاً در آن مقیاس بین المللی وجود نداشت. هدف‌های دیگر در تدبیر $EPT-76$ عبارت بود از اینکه آن باید از لحاظ ترمودینامیکی همواره با $IPTS-68$ در 27.1K پیوسته و با دمای ترمودینامیکی T ، با این دو شرط مجاز سازگار باشد. در مقابل $IPTS-68$ و برای اطمینان از پذیرش سریع آن، چند روش تحقیق $EPT-76$ اصلاح شدند، اینها عبارت هستند از:

- بکارگیری یک وسیله درون یابی کننده ترمودینامیکی و یک یا بیشتر از یک بازده نقطه مرجع مشخص شده

- در نظر گرفتن تفاوت‌های بالاتر از 13.81K در $IPTS-68$

- در نظر گرفتن تفاوت‌های پائین‌تر از 5K در مقیاس‌های فشار بخار هلیوم

- در نظر گرفتن تفاوت‌های مقیاس‌های آزمایشگاهی تعریف شده معین.

چون یک ناسازگاری داخلی معینی وجود داشت، معرفی ابهامات جزئی بین برداشتها می‌بایست

پذیرفته شود. با وجود این با پذیرش $EPT-76$ امتیازاتی بعنوان مقیاس کاری (تا زمانیکه $IPTS-68$

می‌بایست اصلاح و تعمیم داده شود) بدست آمد که به نظر می‌رسد بیشتر از معایب باشد.

جدول ۱ - نقاط ثابت تعریف شده ITS-90

$W_p(T_{90})$	حالت ^۲	ماده ^۱	دما		ردیف
			$T_9./C$	$T_9./K$	
	V	He	۵-۲۷۰/۱۵	۵۵۳	۱
			-۲۶۸/۱۵		
۰/۰۰۱۱۹۰۰۷	T	e-H _۲	-۲۵۹/۳۴۶۷	۱۳/۸۰۳۳	۲
۰/۰۰۲۲۹۶۴۶	V	e-H _۲	-۲۵۶/۱۱۵	۱۷/۰۲۵	۳
	یا (G)	یا (He)			
۰/۰۰۴۲۳۵۳۶	V	e-H _۲ O	-۲۵۲/۱۸۸	۲۰/۲۷	۴
	یا (G)	یا (He)			
۰/۰۰۸۴۴۹۷۴	T	Ne	-۲۴۸/۵۹۳۹	۲۴/۵۵۶۱	۵
۰/۰۰۹۱۷۱۸۰۴	T	O _۲	-۲۱۸/۷۹۱۶	۵۴/۳۵۸۴	۶
۰/۲۱۵۸۵۹۷۵	T	Ar	-۱۸۹/۳۴۴۲	۸۳/۸۰۵۸	۷
۰/۸۴۴۱۴۲۱۱	T	Hg	-۳۸/۸۳۴۴	۲۳۴/۳۱۵۶	۸
۱/۰۰۰۰۰۰۰۰	T	H _۲ O	۰/۰۱	۲۷۳/۱۶	۹
۱/۱۱۸۱۳۸۸۹	M	Ga	۲۹/۷۶۴۶	۳۰۲/۹۱۴۶	۱۰
۱/۶۰۹۸۰۱۸۵	F	In	۱۵۶/۵۹۸۵	۴۲۹/۷۴۸۵	۱۱
۱/۸۹۲۷۸۷۶۸	F	Sn	۲۳۱/۹۲۸	۵۰۵/۰۷۸	۱۲
۲/۵۶۸۹۱۷۳۰	F	Zn	۴۱۹/۵۲۷	۶۹۲/۶۷۷	۱۳
۲/۳۷۶۰۰۸۰۶۰	F	Al	۶۶۰/۳۲۳	۹۳۳/۴۷۳	۱۴
۴/۲۸۶۴۲۰۵۳	F	Ag	۹۶۱/۷۸	۱۲۳۴/۹۲	۱۵
	F	Au	۱۰۶۴/۱۸	۱۳۳۷/۳۳	۱۶
	F	Cu	۱۰۸۴/۶۲	۱۳۵۷/۷۷	۱۷

۱ - تمام مواد به جزء ^۳He ترکیب ایزوتوپی طبیعی هستند.

e-H_۲ هیدروژن در غلظت در حال تعادل شکل های مولکولی اورتو و پارا هستند.

۲ - می توانید جهت درک حالت های متغیر اطلاعات تکمیلی ITS-90 را ببینید.

نمادها معانی زیر را دارند:

V: نقطه فشار بخار، T: نقطه سه گانه (دمایی که در آن حالت های جامد، مایع و بخار در حال تعادل هستند)،

G: نقطه دماسنج گازی و M, F: نقطه انجماد و نقطه ذوب (دما، در فشار ۱۰۱۳۲۵ Pa که در آن حالت های جامد و مایع در

حال تعادل هستند)

جدول ۲ - اثر فشار بر دمای بعضی نقاط ثابت تعریف شده^۱

تغییرات دما بر عمق z $(\frac{dT}{dz})$ $^{\circ}C(10^{-3} km^{-1})$	تغییرات دما بر فشار، $(\frac{dT}{dp})$ $^{\circ}C(10^{-3} kpa^{-1})$	مقدار دمای در نظر گرفته شده در حال تعادل T_0, K	ماده
۰/۲۵	۳۴	۱۳/۸۰۳۳	هیدروژن در حال تعادل (T)
۱/۹	۱۶	۲۴/۵۵۶۱	نئون (T)
۱/۵	۱۲	۵۴/۳۵۸۴	اکسیژن (T)
۳/۳	۲۵	۸۳/۸۰۵۸	آرگون (T)
۷/۱	۵/۴	۲۳۴/۳۱۵۶	جیوه (T)
-۰/۷۳	-۷/۵	۲۷۳/۱۶	آب (T)
-۱/۲	-۲/۰	۳۰۲/۹۱۴۶	گالیم
۳/۳	۴/۹	۴۲۹/۷۴۸۵	ایندیم
۲/۲	۳/۳	۵۰۵/۰۷۸	قلع
۲/۷	۴/۳	۶۹۲/۶۷۷	روی
۱/۶	۷/۰	۹۳۳/۴۷۳	آلومینیم
۵/۴	۶/۰	۱۲۳۴/۹۳	نقره
۱۰	۶/۱	۱۳۳۷/۳۳	طلا
۲/۶	۳/۳	۱۳۵۷/۷۷	مس

۱ - فشار مرجع برای نقاط ذوب و انجماد، اتمسفر استاندارد ($P_0 = 101325 pa$) است.

اثر فشار برای نقاط سه گانه (T) فقط نتیجه هیدرواستاتیکی بالای مایع داخل سلول است.

۲ - هم ارزی میلی کلوین بر اتمسفر استاندارد

۳ - هم ارزی میلی کلوین بر متر از مایع

جدول ۳ - مقادیر ثابت‌ها برای معادلات بفار- فنتار هلیوم و گستره دمایی برای هر یک از

معادلاتی که بوسیله ثابت‌های معین، معتبر است.

${}^4\text{He}$ ۵/۰K تا ۱۷۶۸K	${}^4\text{He}$ ۲/۱۷۶۸K تا ۱/۲۵K	${}^3\text{He}$ ۳/۲K تا ۰/۶۵K	
۳/۱۴۶۶۳۱	۱/۳۹۲۴۰۸	۱/۰۵۳۴۴۷	A_0
۱/۳۵۷۶۵۵	۰/۵۲۷۱۵۳	۰/۹۸۰۱۰۶	A_1
۰/۴۱۳۹۲۳	۰/۱۶۶۷۵۶	۰/۶۷۶۳۸۰	A_2
۰/۰۹۱۱۵۹	۰/۰۵۰۹۸۸	۰/۳۷۲۶۹۲	A_3
۰/۰۱۶۳۴۹	۰/۰۲۶۵۱۴	۰/۱۵۱۶۵۶	A_4
۰/۰۰۱۸۲۶	۰/۰۰۱۹۷۵	-۰/۰۰۲۲۶۳	A_5
-۰/۰۰۴۳۲۵	-۰/۰۰۱۷۹۷۶	۰/۰۰۶۵۹۶	A_6
-۰/۰۰۴۹۷۳	۰/۰۰۵۴۰۹	۰/۰۰۸۸۹۶۶	A_7
۰	۰/۰۰۱۳۲۵۹	-۰/۰۰۴۷۷۰	A_8
۰	۰	-۰/۰۰۵۴۹۴۳	A_9
۱۰/۳	۵/۶	۷/۳	B
۱/۹	۲/۹	۴/۳	C

جدول ۴ - دماسنج مقاومتی پلاتین - ثابتهای $A_0, A_i, B_0, B_i, C_0, C_i, D_0, D_i$ که به ترتیب در توابع

مرجع معادلات (۹ - الف)، (۱۰ - الف)، (۱۰ - ب) کاربرد دارند.

A_0	-۲/۱۳۵۳۴۷۲۹	B_0	۰/۱۸۳۳۲۴۷۲۲	C_0	۲/۷۸۱۵۷۲۵۴	D_0	۴۳۹/۹۳۲۸۵۴
A_1	۳/۱۸۳۳۴۷۲۰	B_1	۰/۲۴۰۹۷۵۳۰۳	C_1	۱/۶۴۶۵۰۹۱۶	D_1	۴۷۲/۴۱۸۰۲۰
A_2	-۱/۸۰۱۴۳۵۹۷	B_2	۰/۲۰۹۱۰۸۷۷۱	C_2	-۰/۱۳۷۱۴۳۹۰	D_2	۳۷/۶۸۴۴۹۴
A_3	۰/۷۱۷۷۷۲۰۴	B_3	۰/۱۹۰۴۳۹۹۷۲	C_3	-۰/۰۰۶۴۹۷۶۷	D_3	۷/۴۷۲۰۱۸
A_4	۰/۵۰۳۴۴۰۲۷	B_4	۰/۱۴۲۶۴۸۴۹۸	C_4	۰/۰۰۲۳۴۴۴۴	D_4	۲/۹۲۰۸۲۸
A_5	-۰/۶۱۸۹۹۳۹۵	B_5	۰/۰۷۷۹۹۳۷۶۵	C_5	۰/۰۰۵۱۱۸۶۸	D_5	۰/۰۰۵۱۸۴
A_6	-۰/۰۵۳۳۳۳۲۲	B_6	۰/۰۱۲۴۷۵۶۱۱	C_6	۰/۰۰۱۸۷۹۸۲	D_6	-۰/۹۶۳۸۶۴
A_7	۰/۲۸۰۲۱۳۴۲	B_7	-۰/۰۳۲۲۶۷۱۲۷	C_7	-۰/۰۰۲۰۴۴۷۲	D_7	-۰/۱۸۸۷۳۲
A_8	۰/۱۰۷۱۵۲۲۴	B_8	-۰/۰۷۵۲۹۱۵۲۲	C_8	-۰/۰۰۰۴۶۱۲۲	D_8	۰/۱۹۱۲۰۳
A_9	-۰/۲۹۳۰۲۸۶۵	B_9	-۰/۰۵۶۴۷۰۶۷۰	C_9	۰/۰۰۰۴۵۷۲۴	D_9	۰/۴۹۰۲۵
A_{10}	۰/۰۴۴۵۹۸۷۲	B_{10}	۰/۰۷۲۰۱۲۸۵				
A_{11}	۰/۱۱۸۶۸۶۳۲	B_{11}	۰/۱۲۳۸۹۳۲۰۴				
A_{12}	-۰/۰۵۲۴۸۱۳۴	B_{12}	-۰/۰۲۹۲۰۱۱۹۳				
		B_{13}	-۰/۰۹۱۱۷۳۵۴۲				
		B_{14}	۰/۰۰۱۳۱۷۶۹۶				
		B_{15}	۰/۰۲۶۰۲۵۵۲۶				

جدول ۵ - توابع انحراف و نقاط کالیبراسیون برای دماسنج‌های مقاوم‌تی پلاتین در

گستره‌های مختلف که در آن T_9 تعریف می‌شود.

الف - گستره‌های با حد بالایی $273/16K$

نقاط کالیبراسیون (جدول ۱)	توابع انحراف	حد پایینی $T_9./K$	بخش
۹-۲	$a[W(T_9.)-1]+b[W(T_9.)-1]^2$ $+ \sum_{i=1}^5 ci[\ln W(T_9.)]^{i+n}, n=2$	۱۳/۸۰۳۳	۱-۳-۳-۳
۹-۵،۲	همانند ۱-۳-۳-۳ با $c_4=c_5=n=0$	۲۴/۵۵۶۱	۱-۱-۳-۳-۳
۹-۶	همانند ۱-۳-۳-۳ با $c_2=c_3=c_4=c_5=0, n=1$	۵۴/۳۵۸۴	۲-۱-۳-۳-۳
۹-۷	$a[W(T_9.)-1]$ $+b[W(T_9.)-1]\ln W(T_9.)$	۸۳/۸۰۵۸	۳-۱-۳-۳-۲

ب - گستره‌های با حد پایینی $0^0 C$

نقاط کالیبراسیون (جدول ۱)	توابع انحراف	حد پایینی $T_9./^0C$	بخش
۱۵-۱۲،۹۱	$a[W(T_9.)-1]+b[W(T_9.)-1]^2$ $+c[W(T_9.)-1]^3$ $+d[W(T_9.)-W(660.323^0C)]^2$	۹۶۱/۷۸	۲-۳-۳-۳
۱۴-۱۲،۹	$d=0$ همانند ۲-۳-۳-۳ با	۶۶۰/۳۲۳	۱-۲-۳-۳-۳
۱۳،۱۲،۹	$c=d=0$ همانند ۲-۳-۳-۳ با	۴۱۹/۵۲۷	۲-۲-۳-۳-۳
۱۲،۱۱،۹	$c=d=0$ همانند ۲-۳-۳-۳ با	۲۳۱/۹۲۸	۳-۲-۳-۳-۳
۱۱،۹	$b=c=d=0$ همانند ۲-۳-۳-۳ با	۱۵۶/۵۹۸۵	۴-۲-۳-۳-۳
۱۰،۹	$b=c=d=0$ همانند ۲-۳-۳-۳ با	۲۹/۷۶۴۶	۵-۲-۳-۳-۳

۱ - نقاط کالیبراسیون ۹ و ۱۲ الی ۱۴ با مقدار $d=0$ به ازای $T_9 \leq 660.323^0C$ بکار رفته است؛ بنابراین مقادیر

بدست آمده a, b, c به ازای $T_9 > 660.323^0C$ نگه داشته شده و d از نقطه کالیبراسیون ۱۵ تعیین می‌گردد.

یادداشت NPL - مقادیر محاسبه شده برای زیر گستره‌های مختلف از آنها تیکه برای کل گستره‌ها یا برای هر یک از زیر

گستره‌ها تعیین شده، تفاوت دارد.

واژه نامه فارسی به انگلیسی

<i>Pyrometer</i>	آذرسنج
<i>Updated</i>	بهنگام
<i>Planck</i>	پلانک
<i>Inverse Function</i>	تابع وارون
<i>Spectral Concentrations</i>	تراکم بینایی
<i>Blackbody</i>	جسم سیاه
<i>Celsius</i>	سلسیوس
<i>Reproducible</i>	قابل باز تولید
<i>Strain</i>	کرنش
<i>Kelvin</i>	کلوین
<i>Condensation Point</i>	نقطه چگالش
<i>Ice Point</i>	نقطه ذوب یخ
<i>Calibration</i>	کالیبراسیون
<i>Overlap</i>	همپوشانی

