

یادداشت علمی

ثابت‌های بنیادی فیزیک بر اساس آخرین تنظیمات سال ۱۹۸۶

تهیه و تنظیم: دکتر عزت‌الله ارضی

گروه فیزیک دانشگاه تهران، انتهای خیابان کارگر شمالی

علم کاربردی اوزان و مقادیر (سنجه‌شناسی) در طی ۲۰ سال اخیر ارتباط و پیوند حیرت‌آوری با فیزیک اتمی، فیزیک مولکولی و فیزیک حالت جامد پیدا کرده‌است. از یک طرف تکنیک‌های دقیق اندازه‌گیری فرکانس امواج الکترومغناطیس در طول موجهای نواحی مادون قرمز و نور مرئی به درجه‌ای از دقت رسید که واحد «متر» براساس «فاصله‌ای که نور در یک زمان معین طی می‌کند»، تعریف مجدد شد. از طرف دیگر، ارتباط مستقیم فواصل صفحات شبکه‌ای بلورها و طول موج امواج الکترومغناطیس، بهبود قابل ملاحظه‌ای در تعیین عدد آووگادرو به وجود آورد. بسیاری از تحولات دیگر، نظیر پیشرفت چشمگیر در دقت اندازه‌گیری سمان مغناطیسی ناهنجار الکترون و پدیده‌های وابسته به آن نیز به وقوع پیوسته که اثر مستقیم بر علم سنجه‌شناسی داشته است. ولی برجسته‌ترین و چشمگیرترین پیشرفت سنجه‌شناسی موقعی به وقوع پیوست که کلاؤس فون کلیتسینگ در سال ۱۹۸۰، کوانتیزاسیون هدایت الکتریکی (و مقاومت الکتریکی) را در نیمرساناها مشاهده کرد و در اثر این کشف، اندازه‌گیری مستقیم ثابت ساختمان ریز به طریق ما کروسکی و با دقت زیاد امکان پذیر شد.

به خاطر همین پیشرفت‌ها و نیز در دسترس قرار گرفتن نتایج بسیار دقیق تعداد زیادی کارهای تجربی و تئوری، یک بار دیگر لازم شد تا در سال ۱۹۸۶ در مقادیر عددی و میزان دقت ثابت‌های فیزیک تجدید نظر شود (Cohen & Taylor, 1987 a & b & c & d; Taylor, 1987). آخرین تنظیمات ثابت‌های فیزیک قبلاً در سال ۱۹۷۳ انجام شده بود (Cohen & Taylor, 1973).

جدول ۱ مقادیر عددی ثابت‌های بنیادی فیزیک و شیمی را براساس آخرین تنظیمات سال ۱۹۸۶ (به روش حداقل مجموع مجذورات اختلافها^۲) نشان می‌دهد. در جدول ۲ بعضی مقادیر مرتبط با جدول ۱ که در تنظیمات ۱۹۸۶ مستقیماً دخالت داشته‌اند ولی خودشان ثابت‌های بنیادی تلقی نمی‌شوند، آورده شده‌اند.

دقت مقادیر توصیه شده ۱۹۸۶ تقریباً ۱۰ مرتبه بهتر از دقت مربوط به سال ۱۹۷۳ است. در بعضی موارد دقت‌ها بهتر از این هم شده است، مثلاً، دقت‌های α و m_p/m_e تقریباً ۲ برابر و دقت ثابت ریدبرگ تقریباً ۶ برابر شده است. چشمگیرترین نکته تجدیدنظر ۱۹۸۶، تغییر مقدار عددی برخی از ثابت‌های بنیادی فیزیک نظیر $2e/h$ و غیره است. مقایسه بعضی از مقادیر توصیه شده ۱۹۷۳ و ۱۹۸۶ و نیز تغییر مقادیر آنها در جدول ۳ آورده شده است.

درخاتمه متذکر می‌شود که جداول زیر نتیجه تلاش پنج‌ساله عده زیادی متخصص آزمایشگاه‌های معتبر فیزیک و سنجه‌شناسی دنیا است که امید می‌رود مورد پذیرش و استفاده دانشمندان قرار گیرد.

۱ - این کشف که به نام «اثر کوانتومی هال» مشهور شده است، از چنان اهمیتی برخوردار بود که جایزه نوبل فیزیک سال ۱۹۸۵ را نصیب فون کلیتسینگ کرد. کتابی با عنوان «اثر کوانتومی هال» توسط راقم همین سطور به رشته تحریر درآمده است که به زودی به چاپ خواهد رسید.

جدول ۱ - مقادیر توصیه شده برای ثابت‌های بنیادی فیزیک براساس تنظیمات سال ۱۹۸۶ به روش حداقل مجموع مجذورات اختلافها .
ارقام داخل پرانتز، یک انحراف معیار نایقینی مربوط به آخرین ارقام مقادیر را نشان می‌دهند .

نایقینی نسبی ppm	واحد	مقدار	علامت	کمیت
ثابت‌های عمومی ثابت‌های جهانی				
دقیق	$m s^{-1}$	۲۹۹۷۹۲۴۵۸	c	سرعت نور در خلاء
دقیق	$N A^{-2}$	$4\pi \times 10^{-7}$	μ_0	نفوذپذیری خلاء
	$10^{-9} N A^{-2}$	$= 12566370614...$		
دقیق	$10^{-12} F m^{-1}$	۸۷۸۵۴۱۸۷۸۱۷۰۰۰	ϵ_0	پرستیویته (گذردهی) خلاء $1/\mu_0 c^2$
۱۲۸	$10^{-11} m^2 kg^{-1} s^{-2}$	۶۶۷۲۵۹(۸۵)	G	ثابت جاذبه نیوتونی
۰.۶۰	$10^{-34} J s$	۶۶۲۶۰۷۵۵(۴۰)	h	ثابت پلانک
۰.۳۰	$10^{-19} eV s$	۴۱۳۵۶۶۹۲(۱۲)		برحسب الکترون ولت: $h/\{e\}$
۰.۶۰	$10^{-34} J s$	۱۰۰۵۴۵۷۲۶۶(۶۳)	\hbar	$h/2\pi$
۰.۳۰	$10^{-19} eV s$	۶۵۸۲۱۲۲۰(۲۰)		برحسب الکترون ولت: $\hbar/\{e\}$
۶۴	$10^{-27} kg$	۲۰۱۷۶۷۱(۱۴)	m_p	جرم پلانک $(\hbar c/G)^{1/2}$
۶۴	$10^{-35} m$	۱۷۶۱۶۰۵(۱۰)	l_p	طول پلانک $\hbar/m_p c = (\hbar G/c^3)^{1/2}$
۶۴	$10^{-44} s$	۵۳۹۰۵۶(۳۴)	t_p	زمان پلانک $l_p/c = (\hbar G/c^5)^{1/2}$
ثابت‌های الکترو مغناطیسی				
۰.۳۰	$10^{-19} C$	۱.۶۰۲۱۷۷۳۳(۴۹)	e	بار الکتریکی بنیادی
۰.۳۰	$10^{14} A J^{-1}$	۲.۹۱۷۹۸۸۳۶(۷۲)	e/h	
۰.۳۰	$10^{-10} Wb$	۲.۰۶۷۸۳۴۶۱(۶۱)	Φ_0	کوانتوم فلوی مغناطیسی $h/2e$
۰.۳۰	$10^{14} Hz V^{-1}$	۴.۸۳۵۹۷۶۷(۱۴)	$2e/h$	نسبت فرکانس - ولتاژ جوزفسون
۰.۴۵	$10^{-9} S$	۳.۸۷۴۰۴۶۱۴(۱۷)	e^2/h	رسانائی کوانتومی هال مقاومت کوانتومی هال
۰.۴۵	Ω	۲.۵۸۱۲۷۸۰۵۶(۱۲)	R_H	$h/e^2 = \mu_0 c/2\alpha$
۰.۳۴	$10^{-24} J T^{-1}$	۹.۲۷۴۰۱۵۴(۳۱)	μ_B	مگنتون بوهر $e\hbar/2m_e$
۰.۸۹	$10^{-9} eV T^{-1}$	۵.۷۸۸۳۸۲۶۳(۵۲)		برحسب الکترون ولت: $\mu_B/\{e\}$
۰.۳۰	$10^{11} Hz T^{-1}$	۱.۳۹۹۶۲۴۱۸(۴۲)		برحسب هرتز: μ_B/h
۰.۳۰	$m^{-1} T^{-1}$	۴.۶۶۸۶۴۳۷(۱۴)		برحسب عدد موج: μ_B/hc
۸۵	$K T^{-1}$	۰.۶۷۱۷۰۹۹(۵۷)		برحسب کلوین: μ_B/k
۰.۳۴	$10^{-27} J T^{-1}$	۵.۰۵۰۷۸۶۶(۱۷)	μ_N	مگنتون هسته‌ای $e\hbar/2m_p$

نایقینی نسبی ppm	واحد	مقدار	علامت	کمیت
۰.۰۸۹	$1.0^{-8} \text{eV T}^{-1}$	۳۷۱۵۲۴۵۱۶۶(۲۸)		برحسب الکترون ولت: $\mu_N/\{e\}$
۰.۲۰	MHz T^{-1}	۷۷۶۲۲۵۹۱۴(۲۳)		برحسب هرتز: μ_N/h
۰.۲۰	$1.0^{-2} \text{m}^{-1} \text{T}^{-1}$	۲۷۵۴۲۶۲۲۸۱(۷۷)		برحسب عدد موج: μ_N/hc
۸۷۵	1.0^{-8}K T^{-1}	۳۷۶۵۸۲۴۶(۳۱)		برحسب کلوین: μ_N/k
ثابت‌های اتمی				
۰.۰۴۵	1.0^{-3}	۷۷۲۹۷۳۵۳۰۸(۳۳)	α	ثابت ساختمان ریز $\mu_0 c e^2 / 2 h$
۰.۰۴۵		۱۳۷۷۰۳۵۹۸۹۵(۶۱)	α^{-1}	عکس ثابت ساختمان ریز
۰.۰۰۱۲	m^{-1}	۱۰۹۷۳۷۳۱۷۵۳۴(۱۳)	R_∞	ثابت رید برگ $m_e c \alpha^2 / 2 h$
۰.۰۰۱۲	1.0°Hz	۳۷۲۸۹۸۴۱۹۴۹۹(۳۹)		برحسب هرتز: $R_\infty c$
۰.۲۰	1.0^{-18}J	۲۷۱۷۹۸۷۴۱(۱۳)		برحسب ژول: $R_\infty hc$
۰.۲۰	eV	۱۳۷۶۰۵۶۹۸۱(۴۰)		برحسب الکترون ولت: $R_\infty hc/\{e\}$
۰.۰۴۵	1.0^{-10}m	۰.۷۵۲۹۱۷۷۲۴۹(۲۴)	a_0	شعاع بوهر $\alpha / \epsilon \pi R_\infty$
۰.۲۰	1.0^{-18}J	۴۷۳۵۹۷۴۸۲(۲۶)	E_h	انرژی هارتری $e^2 / \epsilon \pi \epsilon_0 a_0 = 2 R_\infty hc$
۰.۲۰	eV	۲۷۷۲۱۱۳۹۶۱(۸۱)		برحسب الکترون ولت: $E_h/\{e\}$
۰.۰۸۹	$1.0^{-8} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$	۳۷۶۳۶۹۴۸۰۷(۳۳)	$h/2m_e$	کوانتوم سیر کولاسیون
۰.۰۸۹	$1.0^{-8} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$	۷۷۲۷۳۸۹۶۱۴(۶۵)	h/m_e	
الکترون				
۰.۵۹	1.0^{-31}kg	۹۷۱۰۹۳۸۹۷(۵۴)	m_e	جرم الکترون
۰.۰۲۳	1.0^{-8}u	۵۷۴۸۵۷۹۹۰۳(۱۳)		
۰.۲۰	MeV	۰.۵۱۰۹۹۹۰۶(۱۵)		برحسب الکترون ولت: $m_e c^2/\{e\}$
۰.۱۵	1.0^{-3}	۴۷۸۳۶۳۳۲۱۸(۷۱)	m_e/m_μ	نسبت جرم الکترون - سیون
۰.۰۲۰	1.0^{-8}	۵۷۴۴۶۱۷۰۱۳(۱۱)	m_e/m_p	نسبت جرم الکترون - پروتون
۰.۰۲۰	1.0^{-8}	۲۷۷۲۴۴۳۷۰۷(۶)	m_e/m_d	نسبت جرم الکترون - دوترون
۰.۰۲۱	1.0^{-8}	۱۷۳۷۰۹۳۳۵۴(۳)	m_e/m_α	نسبت جرم الکترون - ذره آلفا
۰.۲۰	$1.0^{11} \text{C kg}^{-1}$	-۱۷۷۵۸۸۱۹۶۲(۵۳)	$-e/m_e$	بار ویژه الکترون
۰.۰۲۳	1.0^{-7}kg/mol	۵۷۴۸۵۷۹۹۰۳(۱۳)	$M(e), M_e$	جرم مولی الکترون
۰.۰۸۹	1.0^{-12}m	۲۷۴۲۶۳۱۰۵۸(۲۲)	λ_c	طول موج کامپتون $h/m_e c$
۰.۰۸۹	1.0^{-12}m	۳۷۸۶۱۰۹۳۲۳(۳۵)	λ_c	$\lambda_c/2\pi = \alpha a_0 = \alpha^2/\epsilon \pi R_\infty$
۰.۱۳	1.0^{-10}m	۲۷۸۱۷۹۴۰۹۲(۳۸)	r_e	شعاع کلاسیک الکترون $\alpha^2 a_0$
۰.۲۷	1.0^{-28}m^2	۰.۲۶۶۵۲۴۶۱۶(۱۸)	σ_e	مقطع مؤثر تامسون $(8\pi/3)r_e^2$
۰.۳۴	$1.0^{-21} \text{J T}^{-1}$	۹۲۸۷۴۷۷۰۱(۳۱)	μ_e	سمان مغناطیسی الکترون
1×10^{-6}		۱۷۰۰۱۱۵۹۶۵۲۱۹۳(۱۰)	μ_e/μ_B	برحسب مگنتون بوهر

کمیت	علامت	مقدار	واحد	نایقینی نسبی ppm
برحسب مگنتون هسته‌ای	μ_e/μ_N	۱۸۳۸۷۲۸۲۰۰۰(۳۷)		۰.۰۲۰
ناهنجاری سمان مغناطیسی الکترون $\mu_e/\mu_B - 1$	a_e	۱۷۱۵۹۶۵۲۱۹۳(۱۰)	10^{-3}	۰.۰۰۰۸۶
فاکتور g الکترون $2(1+a_e)$	g_e	۲۷۰۰۲۳۱۹۳۰۴۳۸۶(۲۰)		1×10^{-5}
نسبت سمان مغناطیسی الکترون-میون	μ_e/μ_μ	۲۰۶۷۶۶۹۶۷(۳۰)		۰.۱۵
نسبت سمان مغناطیسی الکترون-پروتون	μ_e/μ_p	۶۵۸۷۲۱۰۶۸۸(۶۶)		۰.۰۱۰
میون				
جرم میون	m_μ	۱۷۸۸۳۵۳۲۷(۱۱)	10^{-28}kg	۰.۶۱
برحسب الکترون ولت: $m_\mu c^2/\{e\}$		۰.۱۱۳۴۲۸۹۱۳(۱۷)	u	۰.۱۵
نسبت جرم میون-الکترون	m_μ/m_e	۱۰۵۷۶۵۸۳۸۹(۳۴)	MeV	۰.۳۲
جرم مولی میون	$M(\mu), M_\mu$	۲۰۶۷۶۸۲۶۲(۳۰)	10^{-3}kg/mol	۰.۱۵
سمان مغناطیسی میون	μ_μ	۱۷۱۳۴۲۸۹۱۳(۱۷)	10^{-21}J T^{-1}	۰.۳۳
برحسب مگنتون بوهر	μ_μ/μ_B	۴۷۴۹۰۴۵۱۴(۱۵)	10^{-3}	۰.۱۵
برحسب مگنتون هسته‌ای	μ_μ/μ_N	۴۷۸۴۱۹۷۰۹۷(۷۱)		۰.۱۵
ناهنجاری سمان مغناطیسی میون $[\mu_\mu/(e\hbar/2m_\mu)] - 1$	a_μ	۸۷۸۹۰۵۹۸۱(۱۳)		۷۷۲
فاکتور g میون $2(1+a_\mu)$	g_μ	۱۷۱۶۵۹۲۳۰(۸۴)	10^{-3}	۰.۰۰۸۴
نسبت سمان مغناطیسی میون-پروتون	μ_μ/μ_p	۲۷۰۰۲۳۳۱۸۴۶(۱۷)		۰.۱۵
۳۷۱۸۳۳۴۵۴۷(۴۷)				
پروتون				
جرم پروتون	m_p	۱۷۶۷۲۶۲۳۱(۱۰)	10^{-27}kg	۰.۵۹
برحسب الکترون ولت: $m_p c^2/\{e\}$		۱۷۰۰۷۲۷۶۴۷۰(۱۲)	u	۰.۰۱۲
نسبت جرم پروتون-الکترون	m_p/m_e	۹۳۸۷۲۷۲۳۱(۲۸)	MeV	۰.۳۰
نسبت جرم پروتون-میون	m_p/m_μ	۱۸۳۶۷۱۵۲۷۰۱(۳۷)		۰.۰۲۰
بارویژه پروتون	e/m_p	۸۷۸۸۰۲۴۴۴(۱۳)	10^8C kg^{-1}	۰.۱۵
جرم مولی پروتون	$M(p), M_p$	۹۵۷۸۸۳۰۹(۲۹)	10^{-3}kg/mol	۰.۳۰
طول موج کامپتون پروتون $h/m_p c$	$\lambda_{c,p}$	۱۷۰۰۷۲۷۶۴۷۰(۱۲)	10^{-10}m	۰.۰۸۹
$\lambda_{c,p}/2\pi$	$\lambda_{c,p}$	۲۷۱۰۳۰۸۹۳۷(۱۹)	10^{-16}m	۰.۰۸۹
سمان مغناطیسی پروتون	μ_p	۱۷۴۱۰۶۰۷۶۱(۴۷)	10^{-26}J T^{-1}	۰.۳۴
برحسب مگنتون بوهر	μ_p/μ_B	۱۷۵۲۱۰۳۲۲۰۲(۱۵)	10^{-3}	۰.۰۱۰
برحسب مگنتون هسته‌ای	μ_p/μ_N	۲۷۷۹۲۸۴۷۳۸۶(۶۳)		۰.۰۲۳

کمیت	علامت	مقدار	واحد	نا یقینی نسبی ppm
تصحیح حفاظ دیامغناطیسی برای پروتون‌ها در آب خالص، نمونه‌کروی، ۲۵°C، ۱ - μ'p/μp	σ _{H2O}	۲۵۷۶۸۹(۱۵)	۱۰ ^{-۶}	—
همان پروتون حفاظت شده (۲۵°C، کروی، H ₂ O)	μ'p	۱۷۴۱۰۵۷۱۳۸(۴۷)	۱۰ ^{-۲۶} J T ^{-۱}	۰.۳۴
برحسب مگنتون بوهر	μ'p/μ _B	۱۷۵۲۰۹۹۳۱۲۹(۱۷)	۱۰ ^{-۳}	۰.۱۱
برحسب مگنتون هسته‌ای	μ'p/μ _N	۲۷۷۹۲۷۷۵۶۴۲(۶۴)	۱۰ ^{-۳}	۰.۲۳
نسبت ژیرو مغناطیسی پروتون	γ _p	۲۶۷۵۲۷۲۱۲۸(۸۱)	۱۰ ^{-۴} s ^{-۱} T ^{-۱}	۰.۳۰
	γ _p /۲π	۴۲۷۵۷۷۴۶۹(۱۳)	MHz T ^{-۱}	۰.۳۰
تصحیح نشده (H ₂ O، کروی، ۲۵°C)	γ'p	۲۶۷۵۱۷۵۲۵۵(۸۱)	۱۰ ^{-۴} s ^{-۱} T ^{-۱}	۰.۳۰
	γ'p/۲π	۴۲۷۵۷۶۳۷۵(۱۳)	MHz T ^{-۱}	۰.۳۰

نوترون

کمیت	علامت	مقدار	واحد	نا یقینی نسبی ppm
جرم نوترون	m _n	۱۷۶۷۴۹۲۸۶(۱۰)	۱۰ ^{-۲۷} kg	۰.۵۹
		۱۷۰۰۸۶۶۴۹۰۴(۱۴)	u	۰.۱۴
برحسب الکترون‌ولت: m _n c ^۲ /e		۹۳۹۷۵۶۵۶۳(۲۸)	MeV	۰.۳۰
نسبت جرم نوترون-الکترون	m _n /m _e	۱۸۳۸۷۶۸۳۶۶۲(۴۰)		۰.۲۲
نسبت جرم نوترون-پروتون	m _n /m _p	۱۷۰۰۱۳۷۸۴۰۴(۹)		۰.۰۹
جرم مولی نوترون	M(n), M _n	۱۷۰۰۸۶۶۴۹۰۴(۱۴)	۱۰ ^{-۳} kg/mol	۰.۱۴
طول موج کامپتون نوترون h/m _n c	λ _{c,n}	۱۷۳۱۹۵۹۱۱۰(۱۲)	۱۰ ^{-۱۰} m	۰.۸۹
λ _{c,n} /۲π	λ _{c,n}	۲۷۱۰۰۱۹۴۴۵(۱۹)	۱۰ ^{-۱۱} m	۰.۸۹
همان مغناطیسی نوترون	μ _n	۰.۷۹۶۶۲۳۷۰۷(۴۰)	۱۰ ^{-۲۶} J T ^{-۱}	۰.۴۱
برحسب مگنتون بوهر	μ _n /μ _B	۱۷۰۴۱۸۷۵۶۳(۲۵)	۱۰ ^{-۳}	۰.۲۴
برحسب مگنتون هسته‌ای	μ _n /μ _N	۱۷۹۱۳۰۴۲۷۵(۴۵)	۱۰ ^{-۳}	۰.۲۴
نسبت همان مغناطیسی نوترون-الکترون	μ _n /μ _e	۱۷۰۴۰۶۶۸۸۲(۲۵)	۱۰ ^{-۳}	۰.۲۴
نسبت همان مغناطیسی نوترون-پروتون	μ _n /μ _p	۰.۷۶۸۴۹۷۹۳۴(۱۶)		۰.۲۴

دوترون

کمیت	علامت	مقدار	واحد	نا یقینی نسبی ppm
جرم دوترون	m _d	۳۷۲۷۳۰۸۶۰(۲۰)	۱۰ ^{-۲۷} kg	۰.۵۹
		۳۷۰۱۳۵۵۳۲۱۴(۲۴)	u	۰.۱۲
برحسب الکترون‌ولت: m _d c ^۲ /e		۱۸۷۵۷۶۱۳۳۹(۵۷)	MeV	۰.۳۰
نسبت جرم دوترون-الکترون	m _d /m _e	۳۶۷۰۷۴۸۳۰۱۴(۷۵)		۰.۲۰
نسبت جرم دوترون-پروتون	m _d /m _p	۱۷۹۹۹۰۰۷۴۹۶(۶)		۰.۰۳

کمیت	علامت	مقدار	واحد	نایقینی نسبی ppm
جرم مولی دوترون	$M(d), M_d$	۲۰.۱۳۵۵۳۲۱۴(۲۴)	$۱۰^{-۲} \text{kg/mol}$	۰.۰۱۲
سماں مغناطیسی دوترون	μ_d	۰.۴۳۳۰۷۳۷۵(۱۵)	$۱۰^{-۲۶} \text{J T}^{-۱}$	۰.۰۳۴
برحسب مگنتون بوهر	μ_d/μ_B	۰.۴۶۶۹۷۵۴۴۷۹(۹۱)	$۱۰^{-۳}$	۰.۰۱۹
برحسب مگنتون هسته‌ای	μ_d/μ_N	۰.۸۵۷۴۳۸۲۳۰(۲۴)		۰.۰۲۸
نسبت سماں مغناطیسی				
دوترون - الکترون	μ_d/μ_e	۰.۴۶۶۴۳۴۵۴۶۰(۹۱)	$۱۰^{-۳}$	۰.۰۱۹
نسبت سماں مغناطیسی				
دوترون - پروتون	μ_d/μ_p	۰.۳۰۷۰۱۲۲۰۳۵(۵۱)		۰.۰۱۷
ثابت‌های فیزیک - شیمی				
ثابت آووگادرو	N_A, L	۶.۰۲۲۱۳۶۷(۳۶)	$۱۰^{۲۳} \text{mol}^{-۱}$	۰.۰۵۹
ثابت جرم اتمی				
$m_u = \frac{1}{12} m(^{12}\text{C})$	m_u	۱.۶۶۰۵۴۰۲(۱۰)	$۱۰^{-۲۷} \text{kg}$	۰.۰۵۹
برحسب الکترون ولت: $m_u c^2 / \{e\}$		۹۳۱.۷۴۹۴۳۲(۲۸)	MeV	۰.۰۳۰
ثابت فاراده $N_A e$	F	۹۶۴۸۵.۳۰۹(۲۹)	$\text{C mol}^{-۱}$	۰.۰۳۰
ثابت مولی پلانک	$N_A h$	۳.۷۹۹۰۳۱۳۲۳(۳۶)	$۱۰^{-۱} \text{J s mol}^{-۱}$	۰.۰۸۹
	$N_A h c$	۰.۱۱۹۶۲۶۵۸(۱۱)	$\text{J m mol}^{-۱}$	۰.۰۸۹
ثابت مولی گازها	R	۸.۳۱۴۵۱۰(۷۰)	$\text{J mol}^{-۱} \text{K}^{-۱}$	۸.۳۱
ثابت بولتزمن R/N_A	k	۱.۳۸۰۶۵۸(۱۲)	$۱۰^{-۲۳} \text{J K}^{-۱}$	۸.۳۵
برحسب الکترون ولت: $k/\{e\}$		۸.۶۱۷۳۸۵(۷۳)	$۱۰^{-۵} \text{eV K}^{-۱}$	۸.۳۴
برحسب هرتز: k/h		۲.۰۸۳۶۷۴(۱۸)	$۱۰^{-۱} \text{Hz K}^{-۱}$	۸.۳۴
برحسب عدد موج: k/hc		۶.۹۵۰۳۸۷(۵۹)	$\text{m}^{-۱} \text{K}^{-۱}$	۸.۳۴
حجم مولی (گاز ایده‌آل) RT/p	V_m	۰.۰۲۲۴۱۴۱۰(۱۹)	$\text{m}^3 \text{mol}^{-۱}$	۸.۳۴
$T=۲۷۳.۱۵ \text{K}, p=۱.۰۱۳۲۵ \text{Pa}$				
$T=۲۷۳.۱۵ \text{K}, p=۱.۰ \text{kPa}$	V_m	۰.۰۲۲۷۱۱۰۸(۱۹)	$\text{m}^3 \text{mol}^{-۱}$	۸.۳۴
ثابت لوشمیت N_A/V_m	n_0	۲.۶۸۶۷۶۳(۲۳)	$۱۰^{۲۰} \text{m}^{-۳}$	۸.۳۵
ثابت ساکور-تتروود (ثابت مطلق آنتروپی)				
$\frac{3}{2} + \ln[(2\pi m_u k T_1 / h^2)^{3/2} k T_1 / P_0]$	S_0/R	-۱.۱۵۱۶۹۳(۲۱)		۱.۸
$T_1 = ۱ \text{K}, P_0 = ۱.۰ \text{kPa}$				
$P_0 = ۱.۰۱۳۲۵ \text{Pa}$				
ثابت استفان-بولتزمن $c^2 k^4 / 15 \pi^5 \hbar^3$	σ	۵.۶۷۰۵۱(۱۹)	$۱۰^{-۸} \text{W m}^{-۲} \text{K}^{-۴}$	۳.۴
اولین ثابت تابش $2\pi^5 h c^2 / 15 \pi^5$	c_1	۳.۷۴۱۷۷۴۹(۲۲)	$۱۰^{-۱۶} \text{W m}^2$	۰.۰۶۰

کمیت	علامت	مقدار	واحد	نایقینی نسبی ppm
دوبین ثابت تابش hc/k ثابت قانون جابده جایی وین	c_p	$0.14387769(12)$	m K	۸۷۴
$b = \lambda_{\max} T = c_p / 4.96511423 \dots$	b	$2.8977706(24)$	10^{-3} m K	۸۷۴

جدول ۲- واحدهای نگهداری شده و مقادیر استاندارد. ارقام داخل پرانتز، نایقینی (یک انحراف معیار) موجود در ارقام آخر مقادیرند.

الکترون ولت، $(e/C)J = \{e\}J$ واحد جرم اتمی	eV	$1.760217733(49)$	10^{-19} J	۰.۳۰
$1 u = m_u = \frac{1}{12} m(^{12}\text{C})$	u	$1.76605402(10)$	10^{-27} kg	۰.۵۹
اتمسفر استاندارد	atm	1.01325	Pa	دقیق
شتاب استاندارد ثقل	g_n	9.80665	m s^{-2}	دقیق

استانداردهای پرتوهای ایکس

واحد x مس	واحد x سولیدن	ثابت شبکه‌ای سیلیسیوم، Si (در خلا، $22/0^\circ\text{C}$) $d_{220} = a/\sqrt{8}$ حجم مولی Si	علامت	مقدار	واحد	نایقینی نسبی
$\lambda(\text{CuK}\alpha_1) \equiv 1.53734 \dots x_u$	$\lambda(\text{CuK}\alpha_1) \equiv 1.53734 \dots x_u$		$x_u(\text{CuK}\alpha_1)$	$1.00207789(70)$	10^{-12} m	۰.۷۰
$\lambda(\text{MoK}\alpha_1) \equiv 7.07831 x_u$	$\lambda(\text{MoK}\alpha_1) \equiv 7.07831 x_u$		$x_u(\text{MoK}\alpha_1)$	$1.00209938(45)$	10^{-12} m	۰.۴۵
$\lambda(\text{WK}\alpha_1) \equiv 0.20910 \dots \text{\AA} \cdot \text{\AA}$	$\lambda(\text{WK}\alpha_1) \equiv 0.20910 \dots \text{\AA} \cdot \text{\AA}$		\AA	$1.00001481(92)$	10^{-10} m	۰.۹۲
			a	$0.3573570196(11)$	nm	۰.۲۱
			d_{220}	$0.19201004(40)$	nm	۰.۲۱
$M(\text{Si})/\rho(\text{Si}) = N_A a^3/8$	$M(\text{Si})/\rho(\text{Si}) = N_A a^3/8$		$V_m(\text{Si})$	$12.0088179(89)$	cm^3/mol	۰.۷۴

واحدهای الکتریکی نگهداری شده

اهم نگهداری شده BIPM (اول ژانویه ۱۹۸۵) $\Omega_{\text{BI85}} \equiv \Omega_{69\text{-BI}}$	Ω_{BI85}	$1.0063(50) \times 10^{-6} =$ $0.9999998437(50)$ $-0.0066(10)$	Ω $\mu\Omega/a$	۰.۵۰
آهنگ تغییر $\Omega_{69\text{-BI}}$ ولت نگهداری شده BIPM $V_{76\text{-BI}} = 4.835969 \dots$ GHz($h/2e$)	$\frac{d\Omega_{69\text{-BI}}}{dt}$			
آمپر نگهداری شده BIPM $A_{\text{BIPM}} = V_{76\text{-BI}}/\Omega_{69\text{-BI}}$	$V_{76\text{-BI}}$	$1.7098(30) \times 10^{-6} =$ $0.999999241(30)$ $1.7098(30) \times 10^{-6} =$	V	۰.۳۰
	A_{BI85}	$0.999999397(30)$	A	۰.۳۰

جدول ۳- مقایسه تنظیمات ۱۹۷۳ و ۱۹۸۶ برای بعضی از ثابت‌های بنیادی فیزیک.

نایمینی موجود در مقادیر توصیه شده ppm		تغییر نسبت به مقدار توصیه شده ۱۹۷۳ ppm	کمیت
۱۹۸۶	۱۹۷۳		
۰.۰۴۰	۰.۰۸۲	-۰.۰۳۷	α^{-1}
۰.۰۳۰	۰.۰۲۹	-۰.۰۰۱	e
۰.۰۶۰	۰.۰۵۴	-۰.۰۰۶	h
۰.۰۵۹	۰.۰۵۱	-۰.۰۰۸	m_e
۰.۰۵۹	۰.۰۵۱	+۰.۰۰۸	N_A
۰.۰۲۰	۰.۰۳۸	+۰.۰۱۸	m_p/m_e
۰.۰۳۰	۰.۰۲۸	-۰.۰۰۲	F
۰.۰۳۰	۰.۰۲۶	-۰.۰۰۴	$2e/h$

References

- Cohen, E. R. and Taylor, B. N. (1973) The 1973 Least - Squares Adjustment of the Fundamental Constants. *J. Phys. Chem. Ref. Data* **2** (4), 663 - 734.
- Cohen, E. R. and Taylor, B. N. (1987a) The 1986 Adjustment of the Fundamental Physical Constants. *Reviews of Modern Physics*. **59** (4), 1121 - 1148.
- Cohen, E. R. and Taylor, B. N. (1987b) The CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants. *Journal of Research of the National Bureau of Standards*. **92**(2), 85 - 95.
- Cohen, E. R. and Taylor, B. N. (1987c) The Fundamental Physical Constants. *Physics Today*. **40**(8, part 2), 3-7.
- Cohen, E. R. and Taylor, B. N. (1987d) Fundamental Physical Constants 1986 Adjustments. *Europhysics News*. **18**(5), 65 - 68.
- Taylor, B. N. (1987) Special Report on Electrical Standards., Report on the 17th Session of the Consultative Committee on Electricity. *Journal of Research of the National Bureau of Standards*. **92**(1), 55 - 61.
- von Klitzing, K. ; Dorda, G. and Pepper, M. (1980) New Method for high-accuracy determination of the fine-structure constant based on quantized Hall resistance. *Phys. Rev. Lett.* **45**, 494 - 497.