# GPS
# در نقشه برداری
# (۳)
## سیستمها و مقیاسهای زمان

از: دکتر حسن شمسی

می توان هر وسیله ای را که قادر به تولید یک سلسله فاصله های ثابت در زمان باشد به عنوان یک ساعت به کار برد. بهترین مقیاسهای تعیین زمان که امروز موجود می باشند از نوسانات کریستال کوارتز یا تحولات حالت اتمها استفاده می کنند. در نقشه برداری و ناوبری باید این مقیاسهای زمان به دوران زمین ربط داده شوند. با این همه، فاصلهٔ توپوسنتریک تا یک ماهواره مستقیماً به وضع دورانی زمین مرتبط می باشد، که، به نوبه، تابعی است از زمان. چون ساعتهای اتمی مقیاسهای زمان مستقل تولید می کنند، احتیاج به موزون کردن این زمانها وجود دارد. این وظیفهٔ دوران زمین و اولیای امور سرویس زمان می باشد.

**۵) زمان در درجات مقدار**

پیشرفتهایی که، بخصوص در طی دو دههٔ اخیر، در تولید ادوات دقیق تعیین زمان انجام گرفت نقشه برداری را به طور عمیق مورد تأثیر قرار داده است.

رل بحرانی تعیین وقت در نقشه برداری به کرات مورد چشمپوشی قرار گرفته است. پیشرفت در دقت تعیین وقت برای هر روز در نگارهٔ (۱۵) نشان داده شده است. به گفتار دیگر، این نگاره، میزان پیشرفت در اندازه گیری طول یک روز را به بعضی از عصرهای عمدهٔ تکنولوژی ساعت مربوط می سازد. زمان سنجی در طول قرن فعلی حدود شش تا هفت مرتبه بهبود مقدار نشان داده است. **اینجا لازم است اشاره کنم که ساعتهای اتمی نقشه برداری، GPSرا امکان پذیر ساخته اند.**

در عصر ساعتهای پاندولی، دقت تعیین وقتی که ممکن بود در طول یک روز نگاهداشت کم یا بیش متناظر بود با بی نظمیهای موجود در تغییر دوران روزانهٔ زمین. از اینجا بود که به کار بردن دوران روزانهٔ زمین به عنوان یک استاندارد زمان معنی پیدا کرد و منجر شد به دو مقیاس زمان دورانی: یکی **زمان سیدرال** (ST)و دیگر **زمان خورشیدی یا اونیورسال** (UT). با وجود این، با به کار بردن این مقیاسهای زمان دورانی، مشاهدات اشیاء آسمانی ناجوریهای استواری را بین مواضع مشاهده شده و پیشگویی شده نشان می داد. به زودی به طور صحیح محقق شد که دوران زمین ثابت نیست و بنابراین برای تعریف یک مقیاس زمان ثابت مناسب نمی باشد

ستاره شناسان یک مقیاس زمان جدید موسوم به زمان **افه مریس**[1] که با علامت (ET)نشان داده می شود معرفی کردند. این مقیاس به

تنهایی مبتنی است بر حرکت مداری خورشید و ماه به طرزی که به توسط قانون جاذبه نیوتون بیان شده است. موقعی که کریستالهای کوارتز مرتعش برای نگاهداری زمان آماده شد، تغییرات در تراز میلی ثانیه در دوران روزانه زمین مشهود گردید.

با استانداردهای فرکانس اتمی رفع مانعی در حدود سه مرتبهٔ مقدار در تعیین زمان به وجود آمد. اساس فیزیکی زمان اتمی به ترازهای انرژی اتمی (یا ترازهای تحول) و تابش الکترومغناطیسی حاصله مربوط می گردد.

عنصرهای عمده ای که امروز برای تعیین زمان اتمی به کار برده می شوند عبارت اند از **روبیدیوم، سزیوم و ئیدروژن**. هنوز هم تجسس در راه تکامل ساعتهای اتمی ادامه دارد. Blair(1974)بحث جامعی از وسائل جدید تعیین زمان انجام داده است. معمولاً پایداری ساعتهای اتمی را با نسبت $\Delta f/f$ مشخص می کنند که در آن $\Delta f$ تغییر در فرکانس f است. همچنین برای ساعتهای اتمی پایداریهای **کم دوره**، با **دورهٔ متوسط** و با **دورهٔ بلند** قائل شده اند. در ستون اول جدول شمارهٔ (۴) انواع ساعت، در ستون دوم فرکانس نوسانات آنها، در ستون سوم پایداری آنها در هر روز، و در ستون چهارم زمانی را که ساعت اتمی برای تجمع یک ثانیه خطا صرف می کند یاد داشت شده اند، با این فرض که (برای دلایل سادگی) پایداری فرکانس تغییر نکند. همان طور که در می یابیم تجمع زمان برای یک خطای ۱ ثانیه برای ساعتهای اتمی از مرتبهٔ هزاران سال است.

●●●

| نوع ساعت | فرکانس نوسانات (GHZ) | پایداری در هر روز $\Delta f/f$ | زمان برای از دست رفتن یک ثانیه |
|---|---|---|---|
| نوسان ساز کریستال کوارتز | 005.(نمونه‌ای) | $10^{-9}$ | 30 سال |
| روبیدیوم | 6,834,682,613 | $10^{-12}$ | سال 30 , 000 |
| سزیوم | 9,192,631,770 | $10^{-13}$ | سال 300 , 000 |
| مایزرئیدرژن Hydrogen Maser | 1,420,405,751 | $10^{-15}$ | سال 30 , 000 , 000 |

**جدول(۴) تجمع خطاهای تعیین زمان برای نوسانسازهای مختلف**

جدول (۵) مقررات تعیین زمان GPS

| زمان برای ساعت سزیوم جهت جمع‌کردن خطا(ثانیه) | خطای زمان (n sec) | حرکت نور (m) |
|---|---|---|
| ثانیه $10^7$ | 1000 | 300 . 0 |
| ثانیه $10^4$ | 1 | 0 . 3 |
| ثانیه $10^2$ | 0 . 01 | 0. 003 |

مقررات و شرایط تعیین زمان برای نقشه برداری GPSدر جدول (۵) نشان داده شده اند.

این جدول فاصلهٔ طی شده به توسط نور را (ستون ۱) در طی یک فاصلهٔ کوتاه (ستون دوم) گزارش می کند. ستون سوم زمانی را نشان می دهد که یک استاندارد سزیوم برای تجمع خطاهای زمان مخصوص به خود لازم دارد، با

فرض آنکه پایداری مساوی با پایداری روزانه ایکه قبلاً داده شده است باشد. **هر ماهواره GPSچندین ساعت سزیوم حمل می کند.**

معمولاً زمانی که در درون ماهواره تولید می شود مبتنی است بر دو ساعت اتمی سزیوم و دو ساعت اتمی روبیدیوم. اگر فرض کنیم که یک نمونه از حل ناویری در حدود ۳۰ متر باشد، جدول (۵) نشان می دهد که در حدود ۱۰ روز خطای جمع شدهٔ ساعت ممکن است مساوی دقت مورد انتظار از حل ناویری باشد. از این قرار، مرکز کنترل GPSموظف است مدام خطاهای ساعت ماهواره را مورد رسیدگی و تصحیح قرار دهد. با وجود این، اگر در یک نقشه برداری GPSدقتی زیر یک سانتی متر انجام گرفته باشد، زمان برای تجمع خطای ساعت ماهواره تا خطای برد معادل فقط در حدود ۱۰۰ ثانیه است. برای ساعتهای گیرنده نیز شرط صحّت مشابهی وجود دارد. چون یک نمونه اندازه گیری GPSدر نقشه برداری خیلی بیشتر از ۱۰۰ ثانیه طول می کشد، باید در مورد خطاهای ساعت توجه مخصوص مبذول داشت. یک طریقه برای رسیدگی به شرایط پایداری خیلی زیاد ساعت عبارت است از برآورد خطاهای ساعت برای هر لحظهٔ اندازه گیری فاز. یک راه دیگر، اختلاف گیری فاز کاریر می باشد (در آینده خواهد آمد) که در آن حالت اکثر خطاهای ساعت حذف می شوند.

### ۶) مقیاسهای زمان نجومی

سه مقیاس زمان نجومی وجود دارد: **زمان سیدرال (ST)، زمان اونیورسال یا خورشیدی (UT)، و زمان افه مریس (ET).** زمان سیدرال و زمان اونیورسال هر دو مبتنی بر دوران زمین می باشند، ولی زمان افه مریس مبتنی است بر حرکت مداری خورشید (وماه) پیرو قانون جاذبه. نگارهٔ (۱۶) نصف النهار آسمانی حقیقی شخص ناظر، اعتدال بهاری حقیقی و اعتدال بهاری متوسط تاریخ (date)، را نشان می دهد. زاویه ساعت اعتدال بهاری حقیقی را **زمان سیدرال ظاهری** (AST)، و زاویه ساعت اعتدال بهاری متوسط را **زمان سیدرال متوسط** (MST)می نامند.

از این قرار، چون زمان سیدرال به نصف النهار آسمانی محل که متصل به زمین است رجوع می شود، از اینرو یک مقیاس زمان دورانی تلقی می گردد. اختلاف کوچک بین ASTو MST را **معادلهٔ اعتدال** (یا Eq.E) می نامند.

این اختلاف نتیجهٔ جنبش های[۲] محور دوران می باشد. نگارهٔ (۱۷) نشان می دهد که:

$$Eq.E = AST - MST \qquad (۱۷)$$

$$= \Delta\Psi \cos(\varepsilon + \Delta\varepsilon)$$

بخش آخری معادلهٔ (۱۷) از عبارتهای مثلثات کروی وقتی که در مورد مثلثهای کوچک به کار برده شده باشند نتیجه می شود. به طور خلاصه، در نگارهٔ (۱۶) زمان سیدرال ظاهری (AST)و در نگارهٔ (۱۷) معادلهٔ اعتدال بهاری (Eq.E)نشان داده شده اند.

زمان سیدرال ظاهری به توسط یادداشت کردن لحظهٔ زمان برای گذرهای یک ستاره از نصف النهار آسمانی تعیین می شود. در آن لحظهٔ گذر، زمان سیدرال ظاهری مساوی صعود راست حقیقی[۳] است. کمیت اخیر از کاتالوگهای ستاره معلوم می باشد. معذالک، این روش تعیین زمان دارای یک ابهام است: به علت حرکت قطبی، نصف النهار آسمانی به طور پیوسته حرکت می کند. یک تعیین زمان که در دو روز متوالی اجرا شده باشد زمانهای متفاوت برای گذر نتیجه خواهد داد. نگارهٔ (۱۸) این وضعیت را برای حالت CEPو CTPنشان می دهد.

(انتخاب دو موضع پی در پی از CEPمعنای عملی فراهم نمی سازد زیرا هدف رجوع دادن تمام مشاهدات به یک نقطهٔ چسبیده به پوستهٔ زمین است، که اتفاق می افتد CTPباشد). برای خاطر تکمیل شدگی، نگارهٔ (۱۸) همچنین کمیتهای نجومی دیگر را که به توسط حرکت قطبی مورد تأثیر قرار می گیرند نشان می دهد. ممکن است این نگاره به عنوان یک کرهٔ توجیه که در توپوسنتر واقع شده است تعبیر شود.

جهت Zجهت خط شاقول در ایستگاه ناظر می باشد. علامت Tیک ایستگاه دور (هدف)را نشان می دهد. طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و آزیموت نجومی مشاهده شده(یعنی $(A, \Phi, \Lambda)$ ) به نصف النهار آسمانی حقیقی CEP- Z- Cرجوع می شوند، در صورتی که طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و آزیموت نجومی تحویل شده(یعنی $(A_{CTP}, \Phi_{CTP}, \Lambda_{CTP})$ به نصف النهار تحویل شدهٔ CTP- Z- Bرجوع می شوند. کمیتهای اخیر، دیگر تابع زمان نیستند. زمان سیدرال ظاهری (AST)متناظر است با زاویه $\gamma - E$ در نگارهٔ (۱۸)، و MSTمساوی زاویه $\gamma_e - E$ می باشد. اگر در نظر بگیریم که فاصلهٔ CEPتا CTPخیلی

کوچکتر از، مثلاً، فاصلهٔ Z یا Z -B CEPباشد، می توان به سهولت محقق ساخت که با یک خطای غیرقابل ملاحظه BC = DEو BD = CEخواهد بود. با به کار بردن مثلثات کروی یا ماتریسهای دورانی می توان بیشتر محقق ساخت که[۴]:

$$\Phi_{CTP} = \Phi + Y_p \sin \Lambda - x_p \quad (18)$$

$$\Lambda_{CTP} = \Lambda - (Y_p \cos \Lambda + x_p \sin \Lambda) \tan \Phi \quad (19)$$

$$A_{CTP} = A - (Y_p \cos \Lambda + x_p \sin \Lambda) \cos \Phi \quad (20)$$

( $\Lambda$ علامت طول جغرافیایی است و حرف Aعلامت آزیموت در نظر گرفته شده است) زیر نویس CTPبه مشاهدات نجومی تحویل یافته در دستگاه CTRSرجوع می شود، یعنی، عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی، و آزیموت نجومی تحویل یافته مشاهده می شد هر گاه محور دوران زمین با جهت CTPدر لحظهٔ مشاهده منطبق می بود.

اگر به مسئله تعیین زمان برگردیم، می بینیم که زمان سیدرال ظاهری تصحیح شده برای حرکت قطبی، که با AST1نشان داده می شود، به دست آورده می شد هر گاه محور دوران زمین با جهت CTPدر لحظهٔ مشاهده منطبق می بود، و آن چنین است:

$$AST1 = AST - \Delta\Lambda \quad (21)$$

$$= AST - (Y_p \cos \Lambda + x_p \sin \Lambda) \tan \Phi$$

تصحیح $\Delta\Lambda$ زمان سیدرال بستگی به انحراف[۵] ستاره ندارد؛ وقتی از سیستم CEPبه CTPمی رویم تغییر در صعود راست چه معنی می دهد. می توان همان تصحیح زمان را در مورد زمان سیدرال متوسط به کار برد؛ بدین ترتیب

$$MST1 = AST1 - Eq.E \quad (22)$$

زمان سیدرال متوسط تصحیح شده برای حرکت قطبی، یعنی MST1، در نگارهٔ (۱۸) به توسط زاویه $\gamma_e$ - B روی استوای زمینی تعیین می شود. حال اگر طول جغرافیایی ایستگاه ناظر در CTRSاز MST1کم شود، زمان سیدرال متوسط گرینویچ (یعنی GMST) به دست می آید:

$$GMST = MST1 - \Lambda_{CTP} \quad (23)$$

چون طول جغرافیایی در طرف شرق گرینویچ مثبت شمرده می شود، GMSTدر نگارهٔ (۱۸) به توسط قوس $\gamma_e$ - A روی استوای زمینی نمایش داده می شود. فرض می کنیم که چندین رصد خانه با طولهای جغرافیایی معلوم عبور از نصف النهار یک ستاره را مشاهده کنند و GMSTرا با روشهای بیان شده حساب نمایند.

در این صورت همهٔ آنها برای GMSTیک مقدار عددی با نقطهٔ نهایی (یا آغازی) در Aبه دست خواهند آورد. بدین ترتیب محل نقطهٔ Aبه طولهای جغرافیایی که برای یک دسته از ایستگاههای ناظر پذیرفته شده است بستگی دارد. دایرهٔ بزرگ CTP- A **نصف النهار گرینویچ** نامیده می شود.

زمان سیدرال و زمان اونیورسال به طور ریاضی از طریق مقیاس زمان متوسط به هم مرتبط می باشند. بخصوص **کاپلان** در ۱۹۸۱ چنین داده است:

$$GMST = UT1 + \alpha_m - 12^h \quad (24)$$

$$\alpha_m = 18^h\ 41^m 50^s.54841 + 8640184^s.812866\ T_u + 0^s.093104\ T_u^2 - 6^s.2 \times 10^{-6}\ T_u^3$$

که در آن $T_u$ تعداد قرنهای ژولی36,525 روزی زمان اونیورسال است که از ظهر گرینویچ ۲۰۰۰، اول ژانویه، $12^h$ UT1 منقضی گشته است (JD2 , 451 , 545.0)

UT1علامت زمان اونیورسال نصف النهار گرینویچ، و JDعلامت تاریخ ژولی[۶] می باشند. نمایش ترسیمی آنها در نگارهٔ (۱۹) مشاهده می شود. در این نگاره زمان سیدرال متوسط گرینویچ (GMST)بر حسب UT1نشان داده شده است. دو مقیاس زمان به توسط یک عبارت ریاضی مرتبط می باشند. علامت $\alpha_m$ نشانهٔ صعود راست متوسط خورشید متوسط $S_m$ (فرضی) می باشد. می توان تصور کرد که خورشید متوسط در اکلیپتیک یا در استوای زمینی در حال حرکت است. سرعت زاویه ای خورشید متوسط ثابت می باشد و متناظر است با سرعت زاویه ای میانگین خورشید حقیقی، که همانند سرعت زاویه ای میانگین زمین در اکلیپتیک می باشد.

به علت بیضی بودن مدار زمین، سرعت زاویه ای واقعی حرکت مداری زمین، وقتی که از کانون (خورشید) اندازه گرفته شده باشد، بر طبق قانون دوم کپلر تغییر می کند. برای مقایسه با حرکات ماهواره ای به مقالهٔ چهارم مراجعه فرمایید.

اگر دو رویداد $e_1$ , $e_2$ داده شده باشند، میزان نسبی بین زمان سیدرال و زمان خورشیدی متوسط بین $e_1$ , $e_2$ چنین می باشد(کاپلان در ۱۹۸۱):

$$V = \frac{\text{اندازهٔ UT1 بین } e_1, e_2}{\text{اندازهٔ GMST بین } e_1, e_2} = \quad (26)$$

$$0.997269566329084 - 5.8684 \times 10^{-11}\ T_u + 5.9 \times 10^{-15}\ T_u^2$$

روز خورشیدی متوسط به صورت دوگذر پیاپی خورشید متوسط از نصف النهار تعریف می شود. روز خورشیدی متوسط در گذر پایین تر آغاز می شود به طوری که ظهر کشوری می تواند ساعت ۱۲ نشان شود. طول روز خورشیدی متوسط تابعی از حرکت خورشید متوسط و اعتدال بهاری متوسط می باشد. تاریخ ژولی برای روزهای خورشیدی متوسط یک حساب کننده است. تبدیل هر تاریخ تقویم **گریگوری** (سال= Y، ماه= M، روز= D) به JD برای ظهر گرینویچ به توسط عبارت زیر انجام داده می شود[۷]:

$$JD = 367^{*}Y - 7^{*}[Y + (M + 9)/12]/4 + 275^{*}M/9 + D + 1721014 \quad (۲۷)$$

این عبارت برای تاریخهای از مارس ۱۹۰۰ معتبر است. عبارت می باید به صورت یک بیانیهٔ نوع **فورترن**(Fortran) قرائت شود؛ تقسیم به توسط اعداد صحیح دلالت بر ناقص کردن خارج قسمتها به عددهای صحیح دارد (اعشاریها اجراء نمی شوند).

برای اقدام با یک عدد کوچکتر، **تاریخ ژولی تغییر یافته** یا (MJD)به کار برده می شود.و آن به صورت زیر تعریف می شود:

$$MJD = JD - 2,400,000.5 \quad (۲۸)$$

قرن ژولی از36,525 روز خورشیدی متوسط تشکیل شده است. سال **منطقوی** یا سال **تروپیکال**[۸] مساوی است با زمان لازم برای خورشید مجازی تا دوگذر متوالی از اعتدال بهاری متوسط انجام دهد. تروپیک[۹] نام دو دایره از کرهٔ آسمانی است که هر یک ۲۷ درجه و ۳۰ دقیقه از استوا فاصله دارد. دایرهٔ شمالی را **مدار رأس السرطان**[۱۰] و دایرهٔ جنوبی را **مدار رأس الجدی**[۱۱] می نامند. نواحی بین این دو مدار (یعنی تروپیک ها) را ناحیهٔ تروپیکال یا منطقوی و یا گرمسیری هم می گویند.

سال تروپیکال مساوی $365^{d}$ . 24219879روز متوسط خورشیدی است. همان طورکه می بینیم سال تروپیکال یک عدد صحیح از روزهای متوسط خورشیدی نیست. برای توجه به این حقیقت در تقویمهای کشوری، سیستم سال جهشی[۱۲] معرفی شده است[۱۳].

به طور خلاصه، UTI دوران زاویه ای حقیقی زمین را وقتی که برای مؤلفهٔ دورانی ناشی از حرکت قطبی تصحیح شده باشد اندازه می گیرد. UTIاندازهٔ دوران را انگارکه زمین به دور CTPدر حال گردش بوده است به دست می دهد. UTIبه طور ریاضی به GMSTمربوط می باشد و GAST(مساوی GAST1 است زیرا نقطهٔ Aروی استوای زمینی قرارگرفته است و زمان گرینویچ همیشه به نصف النهار گرینویچ رجوع می شود).

GASTو مختصات حرکت قطبی سه جزئی هستند که به طور کامل سیستم مختصات آسمانی حقیقی و سیستم مختصات زمینی قراردادی را مرتبط می سازند. تغییرات در دوران زمین و بنابراین غیر خطی بودنها در UTIدلایل زیاد دارد.

مثلاً، تغییر در ممنتوم زاویه ای به علت جزرومدّها تغییرات دورانی با پریودهایی مشابه با پریودهای جنبش محوری نتیجه می دهد، یا ممکن است تغییرات فصلی حاصل از شکل باد کرهٔ زمین رخ دهد. زمان افه مریس که مبتنی بر حرکت مداری خورشید و ماه می باشد، و ربطی به دوران زمین ندارد، نیز بدون مسئله نمی باشد. **اشکال عمده** در مورد ET این است که مواضع زمین و ماه به طورکامل از قانون جاذبه پیروی نمی کنند. **تصور** اتلاف انرژی ناشی از اصطکاک جزر و مدی نیز وجود دارد. همچنین مشکلات خیلی زیاد در مشاهده (یا رصد) مواضع مداری خورشید و ماه با دقت لازم و آماده سازی نتایج بدون تأخیر وجود دارند. **حالا مقیاس زمان اتمی جانشین ETشده است.**

**۷) افه مریس چیست؟**

**الف)** مقیاس زمان افه مریس (ET) به تنهایی مبتنی است بر حرکت مداری خورشید و ماه، به طرزی که به توسط قانون جاذبه بیان شده است.

**ب) افه مریس ماهواره،** یعنی موضع ماهواره در لحظهٔ انتقال سیگنال.

**پ) افه مریس** نشریه ای است که محلهای اجسام آسمانی را در سرتاسر طول سال تعیین می کند و در ضمن اطلاعات دیگر هم راجع به آنها به دست می دهد.

**ت) زمان افه مریس:** مقیاس یکنواختی است از زمان که به توسط حرکات مداری سیارات تعیین شده است.

**ث) افه مریس:** لیست یا فهرستی است از مواضع (دقیق) یک شئ آسمانی به صورت تابعی از زمان.

**۸) زمان اتمی**

**یادآوری:** واحد اساسی زمان ثانیه است. در ابتدا، این واحد بنابر یک عرف عملی به سیستم متری ملحق شد نه به توسط تصمیم قانونی؛ یعنی آن را به صورت $\frac{1}{86400}$ روز متوسط خورشیدی تعریف کردند، که بنوبه،

دوران میانگین زمین حول محورش نسبت به خورشید بود. به علت نیازمندی به دقت بالاتر در تعیین زمان، و همچنین کشف تغییر سرعت دوران زمین، بود که به جای ثانیهٔ **خورشیدی متوسط ثانیه افه مریس** جانشین گردید. ثانیهٔ زمان افه مریس (ET) به توسط **اتحادیه نجومی بین المللی**[14] در سال **۱۹۵۵** به صورت 1/31566925.9747 سال منطقوی (یا تروپیکال) برای 0 ژانویه ۱۹۰۰ (یعنی ۳۱ دسامبر ۱۸۹۹) در ۱۲ ساعت ET تعریف شده است. همان طوری که قبلاً نیز اشاره کرده بودیم، زمان افه مریس به توسط حرکت زمین به دور خورشید تعریف شده، و یک سال تروپیکال عبارت است از زمان لازم برای برگشت خورشید ظاهری به یک نقطهٔ مراجعهٔ معین در آسمان (که معمولاً نقطهٔ اعتدال بهاری متوسط می باشد).

این تعریف در سال ۱۹۵۶ به توسط کمیتهٔ بین المللی وزنها و اندازه ها[15] پذیرفته شد، و تصمیم حاصله در ۱۹۶۰ به توسط کنفرانس عمومی وزنها و اندازه ها مورد تصویب قرار گرفت. بدون تغییر دادن ثانیه ای که هم اکنون داده شد، در سال ۱۹۶۴ کنفرانس عمومی وزنها و اندازه ها **ثانیهٔ زمان اتمی** را به صورت زیر که متناظر با ثانیهٔET باشد تعریف کرد:

ثانیهٔ زمان اتمی عبارت است از طول مدت 9'192'631'770 پریود تابش متناظر با تحول بین دو تراز انرژی فوق العاده نزدیک به هم (به نام ترازهای هیپرفاین) حالت زمینهٔ اتم سزیوم ۱۳۳. این تعریف در سال ۱۹۶۷ به عنوان تعریف استاندارد ثانیه در سیستم بین المللی آحاد (SI) پذیرفته شد.

ساعت وقت نمای استاندارد یک ساعت اتمی با بازوی سزیوم می باشد که دقت آن در حدود ۲ بخش در $10^{12}$ است. ثانیه اتمی کوتاه تراز ثانیه خورشیدی متوسط است، و یک ساعت اتمی در هر سال حدود یک ثانیه روی یک ساعت نشان دهندهٔ زمان خورشیدی متوسط جلو می رود.

**الف) زمان اتمی**

گفتیم طول ثانیهٔ اتمی در تناظر با ثانیهٔ ETتعریف شده است. در سیزدهمین کنفرانس عمومی وزنها و اندازه ها در سال ۱۹۶۷ در پاریس، تعریف ثانیهٔ اتمی، که آن را ثانیهٔ سیستم بین المللی آحاد (SI) نیز می گویند، به صورت طول مدت 9'192'631'770 پریود تابش (یارادیاسیون) متناظر با تحول بین دو تراز انرژی فوق العاده نزدیک به هم[16] حالت زمینهٔ اتم سزیوم ۱۳۳ تعریف شد.

**توضیح**: در طیف خطی یک عنصر، دو یا چند خط فوق العاده نزدیک به یکدیگر را که در وهلهٔ اول به صورت یک خط منفرد به نظر آیند، دارای ساختمان هیپرفاین می گویند. نزدیکی این خط ها به حدی است که یک انترفرومتر با قدرت تفکیک خیلی زیاد برای مشاهدهٔ آنها لازم می باشد. فاصلهٔ بین آنها معمولاً در حدود چند صدم آنگستروم در طول موج است.

لحظهٔ زمان اتمی بین المللی[17] جدید طوری معین شده است که در ۱ ژانویهٔ ۱۹۷۷ اختلاف (ET- TAI) مساوی ۳۲ ثانیه و ۱۸۴ هزارم ثانیه (یا 32. 184) باشد. از آن موقع به بعد، به جای ETزمان اتمی بین المللی (TAI) به کار برده شده است. برای دقیقترین محاسبات افه مریس لازم است اثرات نسبیتی نیز در نظر گرفته شود. اگر معادلات حرکت به باری سنتر[18] رجوع شوند، مقیاس زمان مقتضی، زمان دینامیکی باری سنتریک[19] خواهد بود. در چهارچوب مراجعهٔ **ژئوسنتریک** (که مبداء آن در مرکز زمین است) باید زمان دینامیکی زمینی[20] به کار برده شود. TDT و TDBفقط به توسط جمل **پریودیکی** کوچک اختلاف دارند. در اصطلاح نسبیت عمومی، TDT با زمان صحیح[21] متناظر می باشد، ولی TDBبا زمان همپایه[22] متناظر است. زمان دینامیکی زمینی در اصل با ETمساوی می باشد. روابط کامل به قرار زیر هستند(کاپلان در 1981):

$$TDT = TAI + 32^{s}.184 \qquad (۲۹)$$

$$TDB = TDT + 0^{s}.001658 \sin(g + 0.0167 \sin g) \qquad (۳۰)$$

که در آن $g = (357^{\circ}.528 + 35999^{\circ}.050\ T)(2\pi / 360^{\circ})$ (۳۱)

علامت Tعبارت است از فاصلهٔ اندازه گرفته شده بر حسب قرنهای ژولی TDBبین 2000.0و لحظهٔ حاضر.

لابوراتوارهاو آژانسهای مختلف در اطراف جهان ساعتهای اتمی خود را به کار انداخته، مقیاسهای اتمی مستقلی به وجود آورده اند.

مثلاً، زمان اتمی که به توسط رصدخانه دریایی ایالات متحده[23] تولید شده است مبتنی است بر 20تا 25استاندارد فرکانس بازوی سزیوم تجارتی. زمانی که از این ساعتهای اتمی ترکیب می شود به A.1موسوم می باشد. انستیتوی ملی استانداردها و تکنولوژی[24]، که سابقاً به دفتر ملی

استانداردها معروف بود، همچنین چندین ساعت اتمی به کار انداخته، و مقیاس زمان TAرا تولید کرده است. این آژانسها و خیلی از آژانسهای دیگر در اطراف جهان با دفتر بین المللی وزنها و اندازه ها همکاری کرده اند. که به تنهایی مسؤل برای ترکیب زمانهای اتمی مختلف و برای محاسبهٔ زمان اتمی بین المللی می باشد. سابقاً، زمان اتمی بین المللی به توسط دفتر بین المللی ساعت[۲۵] محاسبه می شد.

از اول ژانویهٔ۱۹۸۸ ، خدمات BIHبه توسط BIPMو به توسط دفتر مرکزی سرویس بین المللی جدید دوران زمین (IERS/CB) تهیه می شوند. مقایسه های زمان به طور منظم به وسیلهٔ بندهای ارتباطی LORAN- C، ماهواره ها و بازدیدهای ساعت انجام داده می شوند. GPSهم اکنون ستون فقرات برای انتقال جهانی زمان است. GPSوسیلهٔ مناسبی برای انتقال زمان می باشد زیرا ماهواره ها می توانند از ایستگاه هایی که خیلی زیاد از یکدیگر فاصله دارند دیده شوند. هدف برای همزمان سازی جهانی برای تمام لابوراتوارهای زمان یک میکرو ثانیه است.

**ب)** زمان اتمی به دوران زمین ربط داده نیست بلکه به قوانین طبیعت که تحول ترازهای انرژی در اتمها را اداره می کنند مربوط می باشد. با وجود این، برای ناوبری و نقشه برداری لازم است زمان را به دوران زمین ربط دهند، بالاخره، مایل هستیم موضع توپوسنتریکی ماهواره ها را به صورت تابعی از زمان حساب کنیم. حرکت ماهواره ها در مدارهاشان بستگی به سرعت دورانی زمین ندارد، عیناً همان طوری که حرکت مداری زمین به دور خورشید مربوط به دورانات روزانهٔ زمین نیست. زمان اتمی با معرفی مقیاس زمان UTCبا دوران زمین ربط پیدا می کند. این یک مقیاس زمان **هایبرید** (یا نامتجانس) می باشد بدین معنا که ثانیهٔ UTCعبارت است از ثانیهٔ SIبه طرزی که تعریف شده و از طریق زمان اتمی خیلی پایدار TAIدر دسترس قرار گرفته است، و لحظهٔ زمان UTCطوری است که:

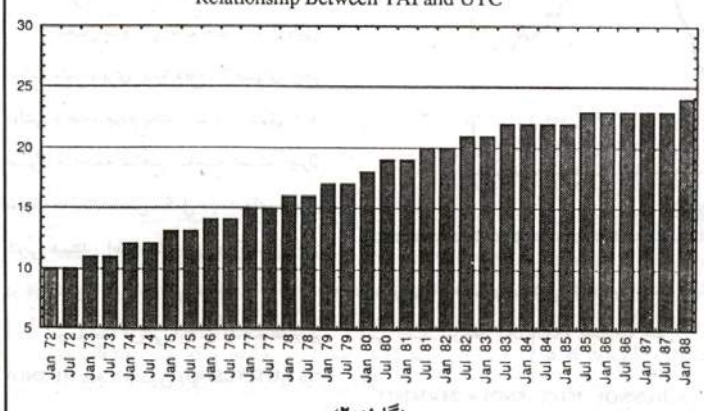
$$|UT1 - UTC| < 0.9 \qquad (۳۲)$$

می باشد. این تعریف از زمان اتمی پایدار بهره می گیرد و هنوز از زمان دورانی UTIپیروی می نماید. UTCدر گامهای یک ثانیهٔ کامل (ثانیهٔ جهشی) تغییر داده می شود هر گاه اختلاف آن با UTIاز حد معین شده تجاوز نماید. اصلاحات (تعدیلها) در ۳۰ ژوئن یا ۳۱ دسامبر انجام داده می شوند. سرویس بین المللی دوران زمین مسؤل تعیین نیاز به اضافه کردن یک ثانیهٔ جهشی و اعلام آن می باشد (سابقاً این عمل در مسؤلیت BIHبوده است). اختلافهای دقیق از قبیل:

$$\Delta UT1 = UT1 - UTC \qquad (۳۳)$$

$$\Delta AT = TA1 - UTC \qquad (۳۴)$$

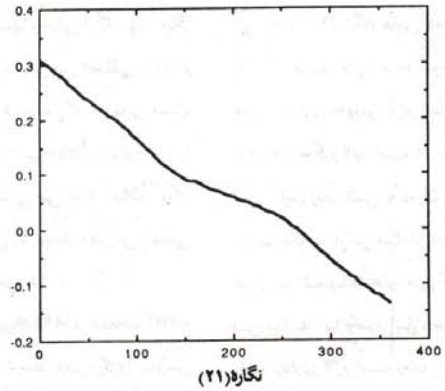
در صورت تقاضا از سرویسهای زمان به دست می آید. در ۱۹۷۲ سیستم UTCفقط یک بار یک گام مورد اصلاح قرار گرفت به طوری که $\Delta AT$ یک تعداد صحیح دقیق از ثانیه ها می باشد. قبل از۱۹۷۲ از روش متفاوتی برای برقراری رابطه بین TAIو UTCپیروی می شد. نگارهٔ (۲۰) تاریخ اصلاحات ثانیهٔ جهشی UTCرا نشان می‌دهد. در این نگاره تصحیحات ثانیه جهشی[۲۶]UTC برای زمان از ۱۹۷۲ تا ۱۹۸۸ نشان داده شده اند.



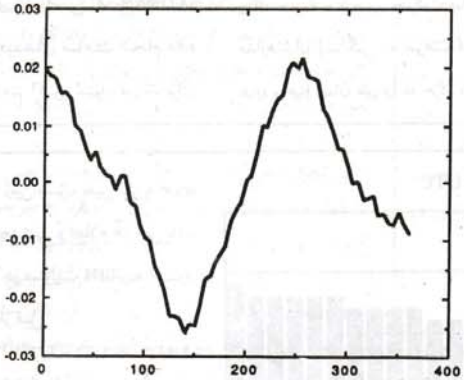

نگارهٔ(۲۰)

UTCهمچنین به عنوان زمان پخش به کار برده می شود و اساس برای تعیین زمان روزانهٔ کشوری است. زمانی که از رادیو و تلویزیون اعلام می شودUTCمی باشد. دور شدن (یا نزدیک شدن) UTCو TAIدور از انتظار نیست.

سرانجام، ثانیه TAIمساوی ثانیهٔ ETمی شود، که بنوبه مبتنی بر حرکت مداری جاذبه ای می شود نه مبتنی بر دوران زمین (چنانکه برای UTIوجود دارد). انحراف دوران زمین از یک سرعت ثابت برای سال ۱۹۸۶ در نگارهٔ (۲۱) نشان داده شده است. در این نگاره اختلاف UTI- UTCبر حسب روزهای سال ۱۹۸۶ مشاهده می شود (ازگزارش سالیانهٔ BIHدر سال ۱۹۸۶). این نگاره دارای یک شیب تند می باشد، که نشان می دهد بزودی یک اصلاح ثانیهٔ جهشی دیگر مورد احتیاج خواهد بود. در سال ۱۹۸۶ اصلاح ثانیهٔ جهشی وجود نداشت. در نگارهٔ (۲۲) روند خطی برای نشان دادن تغییرات فصلی برداشته شده است. این نگاره همچنین تغییرات روزانه دوران در تراز یک هزارم ثانیه نشان می دهد.



نگارهٔ(۲۱)



نگارهٔ (۲۲)

### ۹) سرویس های توجیه زمان و زمین

بخش سرویس زمان رصدخانهٔ دریایی ایالات متحده برای ادارهٔ دفاع، آژانسهای دیگر دولتی و عامه مردم یک استاندارد دقیق را به عنوان مراجعه فراهم ساخته است. چون ماهواره ها یک بخش مکمل سیستمهای ناوبری کنونی هستند، اطلاعات زمانی و فرکانسی را نیز در بارهٔ ماهواره ها فراهم می سازد.

. رصدخانهٔ دریایی ایالات متحده علاوه بر A.1(USNO)همچنین UTC(USNO)را نیز فراهم می نماید. این دو مقیاس زمان به توسط یک مقدار عدد غیر صحیح به هم مرتبط می باشند و این مقدار با ثانیه های کامل تغییر می کند وقتی که ثانیه های جهشی به UTCاضافه یا از آن کم می شوند. مقیاس زمان A.1برای ثانیه های جهشی تصحیح شده نمی باشند. در آغاز سال ۱۹۸۸ اختلاف چنین بود:

$$A.1(USNO) - UTC(USNO) = 24.0343817 \text{ sec}$$

تجسم فیزیکی زمان اونیورسال موزون شـــده در USNO را UTC (USNO, MC) می نامند؛ این یک ساعت فیزیکی است که در داخل چند میکرو ثانیهٔ UTCرانده می شود.

USNOیک پایه بزرگ مفروضات از کمیتهای وابسته به زمان نگاهداری می کند. اینها شامل مختصات حرکت قطبی و اختلافهای UT1- UTCمورد نیاز در نقشه برداری می باشند.[۲۷] پایه مفروضات[۲۸] کامپیوتر USNOو تکنیکهای ارتباطات مورد نیاز برای دسترسی به آن را تعبیر نمودند. در این پایهٔ مفروضات اطلاعات زیادی راجع به ماهواره GPSنیز مشمول شده است.

بخش زمان و فرکانس انستیتوی ملی استانداردها و تکنولوژی (NIST) واقع شده در بولدر، کلورادو مسؤل برای کار تعیین زمان (NIST) می باشد. سرویسهای زمان از ایستگاههای WWV و WWVB در Collins، و از ایستگاه WWVH واقع در هاوایی آماده می باشند.

بعلاوه، سرویسهایی که تلویزیون شبکه و ماهواره ها را به کار می برند نیز آماده هستند مثلاً، NISTزمان را از طریق ماهواره های GOES[۲۱] منتشر می سازد. زمان NIST مبتنی است بر یک تعداد از ساعتهای بازوی سزیوم تجارتی. مقیاس زمان عمده، TA(NIST)می باشد. زمان UTC(NIST)به توسط افزودن ثانیه های جهشی و تصحیح های کوچک به TA(NIST)تولید می شود به صورت مورد نیاز برای همزمان نگاهداری UTC(NIST)با زمان موزون شدهٔ بین المللی UTC که به توسط BIPMحساب شده است.

دفتر بین المللی وزنها و اندازه ها، و سرویس بین المللی دوران زمین، متصدی UTC,TAIو پارامترهای حرکت قطبی می باشند. IERSدارای اختیار انحصاری برای تعیین احتیاج و اعلام ثانیه های جهشی می باشد. نتایجی که به توسط این ادارات موزون کننده حاصل شده اند از طریق یک سری بولتنها در دسترس می باشند. بعضی از این بولتنها با وسایل الکترونیکی انتشار می یابند یا می توانند به طور الکترونیکی از پایه مفروضات مورد دسترسی قرار بگیرند. IRESمتکی است بر سه طریقهٔ مشاهده که عبارت اند از: تعیین بردلیزری قمری، تعیین بردلیزری ماهواره، و اینترفرومتری با خط مبنای خیلی طویل.

## ۱۰) شرح بعضی از علامتهای اختصاری

1) CIO: Conventional International Origin

مبداء بین المللی قراردادی

2) CTRS: Convestional Terrestrial Reference System

سیستم مراجعهٔ زمینی قراردادی

3) CTP: Conventional Terrestrial Pole

قطب زمینی قراردادی

4) NCP: North Celestial Pole

قطب شمال آسمانی

5) CEP: Celestial Ephemeris Pole

قطب افه مریس آسمانی

6) NEP: North Ecliptic Pole

قطب شمالی اکلیپتیک

7) LLR: Lunar Laser Ranging

تعیین بردلیزری قمری

8) SLR: Satellite Laser Ranging

تعیین بردلیزری ماهواره

9)IAU: International Astronomic Union

اتحادیه نجومی بین المللی

10) ST: Sideral Time

زمان سیدرال (یا نجومی)

11) UT: Universal Time (Solar Time)

زمان اونیورسال (یا زمان خورشیدی)

12): AST: Apparent Sideral Time

زمان سیدرال ظاهری

13) VLBI: Very Long Baseline Interferometry

14) ET: Ephemeris Time

زمان افه مریس

15) MST: Mean Sideral Time

زمان سیدرال متوسط

16) AST1: Apparent Sideral Time Corrected for polar motion

زمان سیدرال ظاهری تصحیح شده برای حرکت قطبی

17) MST1: Mean Sideral Time Corrected for Polar motion

زمان سیدرال متوسط تصحیح شده برای حرکت قطبی

18) GMST: Greenwich Mean Sideral Time

زمان سیدرال متوسط گرینویچ

19) UTC: Universal Time Coordinated

زمان اونیورسال (یا خورشیدی) موزون شده

۲۰) UTOعلامت اختصاری زمان اونیورسال (یا خورشیدی) می باشد وقتی که به طور مستقیم از مشاهدهٔ ستاره ها و رابطهٔ عددی ثابت بین زمان اونیورسال و زمان سیدرال نتیجه شده باشد؛ این رابطه عددی ثابت عبارت است از:

۵۶/۵۵۵ ثانیه و۳دقیقه = روز سیدرال ـ روز خورشیدی

۲۱) UT1علامت اختصاری UTOدر موقعی است که برای حرکت قطبی تصحیح شده باشد.

۲۲) UT2 عبارت است از UT1 وقتی که برای

تغییرات فصلی در میزان دوران زمین تصحیح شده باشد.

می دانیم که موسسات مختلف مربوط به زمان در تمام جهان، دارای ساعتهای اتمی هستند. متوسط تمام این زمانهای اتمی را زمان اتمی بین المللی یا TAIمی گویند.

23) USNO: US Naval Observatory

رصدخانهٔ دریایی ایالات متحده

۲۴) UTC (USNO)علامت اختصاری مقیاس زمان تعیین شده در رصدخانهٔ دریایی ایالات متحده می باشد.

از ژانویه سال ۱۹۸۳، مبنای مراجعهٔ زمان برای سیستم GPSهمین مقیاسUTC (USNO)می باشد. این مقیاس زمان مبتنی است بر انجام حدود ۲۵ استاندارد فرکانس بازوی تابش سزیوم که از راه تجارتی ساخته و انتخاب شده اند.این مقیاس یکی از پایدارترین مقیاسهای زمان در جهان می باشد که در حدود ۲۵ درصد اعتبار را در تشکیل زمان اتمی بین المللی (TAI)به توسط دفتر بین المللی ساعات در پاریس کسب کرده است.

۲۵) زمانی که به توسط GPSانتقال داده می شود به زمان سیستم GPSمعروف است. این زمان به طور فیزیکی در داخل یک میکروثانیه UTC(USNO)نگاه داشته می شود. تصحیحها، به شکل ضرایب یک کثیرالجمله، در پیغام ناوبری انتقال داده می شوند تا استفاده کننده بتواند UTC(USNO)را در داخل ۱۰۰ نانو ثانیه تعیین کند. حالا زمان سیستم GPSبه توسط ثانیه های جهشی مورد تأثیر قرار نمی گیرد. پس، وقتی گفته می شود که زمان GPSدر داخل یک میکروثانیه UTC(USNO)می باشد، منظور این است که بعد از عدد صحیح ثانیه ها (۲ بعلاوهٔ تعداد ثانیه های جهشی از ۱۹۸۳) در حساب آورده می شود.

در نگارهٔ (۲۳) زمان سیستم پیوستهٔ GPS، زمان اونیورسال یا خورشیدی UT، و زمان اونیورسال موزون شده (توسط مؤسسات مختلف) نشان داده شده است.

۲۶) زمان اونیورسال مساوی است با زمان متوسط خورشیدی محلی در نصف النهار گرینویچ.

27) TAI: International Atomic Time

زمان اتمی بین المللی (متوسط تمام مؤسسات)

28) TDT: Terrestrial Dynamic Time

زمان دینامیکی زمینی

29) TDB:Barycentric Dynamic Time

زمان دینامیکی باری سنتریک

30) GAST: Greenwich Apparent Sideral Time

زمان سیدرال ظاهری گرینویچ

31) NIST: National Institute of Standards and Technology

انستیتوی ملی استانداردها و تکنولوژی

32) NBS:National Bureau of Standards

دفتر ملی استانداردها

33) BIPM: International Bureau of Weights and Measures

دفتر بین المللی وزنها و اندازه ها

34) BIU: Bureau International de l'heure

دفتر بین المللی ساعت

35) IERSC/CB: International Earth Rotation Service, Central Bureau

سرویس بین المللی دوران زمین، دفتر مرکزی

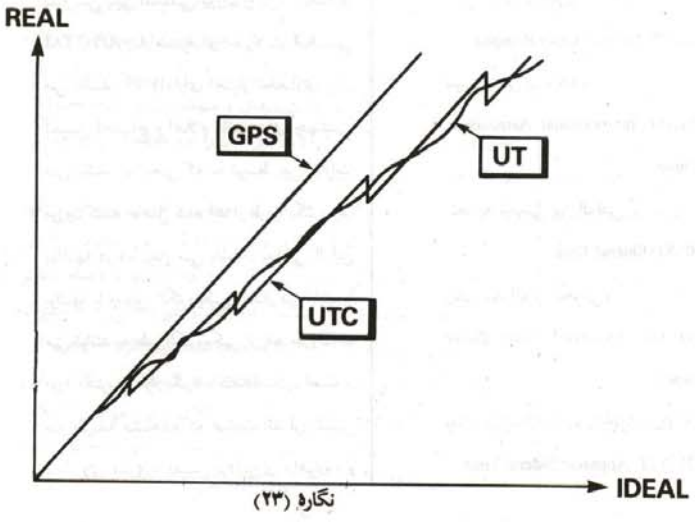
36) UT1: Universal Time of Greenwich Meridian

زمان خورشیدی نصف النهار گرینویچ

37) IERS: International Earth Rotation Service

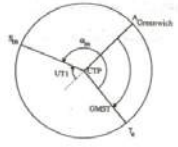
سرویس بین المللی دوران زمین

زمان GPSاز طریق ساعت اتمی در ایستگاه کنترل اصلی (MCG)فهمیده میشود. این ایستگاه در پایگاه نیروی هوایی فالکن در



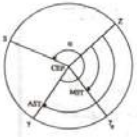

نگارهٔ (۲۳)

نزدیکی شهر **کلورادو اسپرنیگ** واقع در ایالت Coloradoقرار دارد. زمان GPSدر داخل یک میلیونیم ثانیهٔ UTCنگاهداشته می‌شود. با وجود این، زمان GPSبرای ثانیه های جهشی تنظیم نشده است (رجوع به نگارهٔ ۲۳) ولی زمان UTCدارای ثانیه های جهشی است. بدین ترتیب، برای تبدیل زمان GPSبه زمان UTCباید اختلافUTC – GPSمعلوم باشد؛ این تصحیح از نشریات مربوط به اعلان زمان USNOبه دست می آید. آخرین لحظهٔ زمان مشترک UTCو زمان GPSدر ژانویهٔ ۱۹۸۰ بوده است.

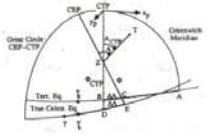



نگارهٔ ۱۹

نصف النهار آسمانی ناظر




نگارهٔ (۱۶)



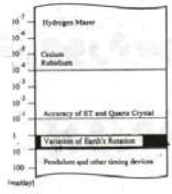

Great Circle CEP· CTP

True Celest.Eq استوای آسمانی حقیقی

نگاره (۱۸)

Accuracy of ET and Quartz Crystal

دقت ET و کریستال کوارتز

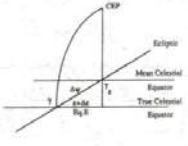



نگاره (۱۵)

تغییر دوران زمین

پاندول و وسائل دیگر تعیین زمان

Pendulum and other timing devices




Mean Celestial Equator استوای آسمانی متوسط

True Celestial Equator استوای آسمانی حقیقی

نگاره (۱۷)

1) Ephemeris
2) Nutations
3) True right ascension
4) Leick(1980)& Maritz & mueller (1987)
5) Declination
6) Julian date
7) Pulkkinen & Van Flandern (1979)
8) Tropical year
9) Tropic
10) Tropic of Cancer
11) Tropic Capricorn
12) Leap year
13) Muller (1969)
14) IAU
15) CGPM
16) Hyperfine levels
17) TAI
18) Barycenter
19) TDB
20) TDT
21) Proper time
22) Coordinate time
23) USNO
24) NIST
25) BIH
26) Leap secend
27) Wilhington (1985) & winkler (1986)