

天文学 定数最前線 (4)

秒

時の過ぎ去るのが早すぎると感じるのは私だけではないでしょう。特に年取ってくると、若い頃の1年と比べると現在の方が短いと感じるようになる。これは心理的な理由によるが、生物は、自然界(地球とか月の運動)の影響による生活のリズムともいべき時計をもっている。精密機械の操作ミスが週末とか夜に多いのはそれが狂うためといわれる。一方、我々は機械を正しく操作するためとかに精密な時計を必要とする。これの一番正確な(絶対値が)時計は、特に「一次周波数標準器」と呼んでいる。これは各国の標準機関で維持されていて、又これの高精度化への研究が精力的になされている。ここでは「一次周波数標準器」の原理、現状及び今後の可能性について述べる。

一次周波数標準器はセシウム原子のエネルギーレベルを高精度に利用する。セシウム原子は原子番号55、原子量133で電子の数も多く複雑であるが、最も外側の軌道は電子が1個だけである。それによって生じる磁気に関係する原子の状態を表わすエネルギーレベル(基底レベル)は二つに分かれる。この二つのレベルは外から磁場を掛けると上のレベルが9本、下が7本に分離する。上下のグループの中で磁場の大きさに対する依存性が最も小さく二次曲線になるものが、その中央に1つずつ存在する。この二つのレベルの移り変わりをクロック遷移と呼びエネルギー差を E とすると、量子力学から $E=h\nu$ の関係がある。ここで ν は遷移に関する周波数で、 h はその係数である。この ν は原子固有の性質を示し一定不変とされる。特にこの ν の磁場零での値を $\nu_0=9,192,631,770$ Hz

として、この振動数だけの周期の継続時間を1秒と定義することが1967年の国際度量衡総会で決められた。

量子力学の対応関係によって、 $E=h\nu$ の E は力学量、 ν は波動量である。波動量はある時刻の一つの状態だけでは表わされなくて、二つの間の相対的關係が意味をも

つ。従って、 ν を正確に把握するには時間を掛けて、この関係を測定する必要がある。その測定内容から一定の結果が導かれる。測定時間を Δt 、周波数の不確かさを $\Delta\nu$ とすると $\Delta t \Delta\nu \geq 1$ が成立し、この限界を越えることはできない(不確定性原理)。 $\Delta\nu$ を小さくするためには、測定時間 Δt を長くとることが必要となる。

図はセシウムビーム一次周波数標準器の動作原理を示す。セシウム原子のエネルギーレベルで上、下のグループは磁場を強くしたときの依存性が違い、上の方は上がり、下の方は下がる。この特性があるため中心の境界の強さが零で径方向に強くなる六極磁石の中をビームを通して上のレベルの原子だけを集束させる。次の共振器でマイクロ波を照射してクロック遷移を起こし(磁気共鳴吸収と呼ばれる)、もう一度六極マグネットの中を通して原子が、上、下どちらのグループにあるかチェックする。効率よく正確に遷移が起るようにセシウムビーム管と制御系を設計する。

マイクロ波共振器はU字形の導波管の中央にマイクロ波を供給して両端から定在波の半波長離れたところにビームが通る穴を開け、中のマイクロ波境界をビームに作用させる。この方式はラムゼイの発明によるのでラムゼイ共振器と呼ばれ分解能と正確さを上げる点で重要な役割を果たしている。しかし、両端のマイクロ波の位相を 10^{-4} ラジアン(機械長0.1mm位と周波数で 10^{-12} に相当)以下で合わせねばならない等の問題がある。この位相の影響を評価するには、ビームの進行方向を反転することによって、それによる周波数シフトの符号が反転することを利用する。その他にも、正確な周波数を決定するには、磁場の大きさと分布、照射するマイクロ波純度、ビームの速度分布による二次ドップラー、隣接遷移の裾野、制御系の変復調、黒体ふく射、重力場などによる周波数シフトの量を評価する。

「一次周波数標準器」は定義された秒を実現するから、各国の原子時(原子時計で作られる基準時系)に寄与するとともに、データをパリの国際度量衡局に送って、各国にある原子時計約200台の重みづけによって合成された国際原子時(TAI)の校正に貢献する。この国際原子時に、日常生活の便宜を考慮しての地球自転の遅速の影響を入れるために1秒単位でステップ調整(正または負のうるう秒の導入)したのが協定世界時である。各国の標準時はこれになっている。国際原子時の校正に参加しているのは現在のところ、米国、カナダ、西ドイツ、日本、ソビエト連邦の「一次周波数標準器」10台で正確さは $0.3 \sim 1.0 \times 10^{-13}$ である。これを上まわる正確さは、原子のエネルギー選別、検出に半導体レーザを利用する「光励起セシウムビーム周波数標準器」が有望とされ各国で精力的に開発研究が進められている。

中桐総治(郵政省電波研究所)

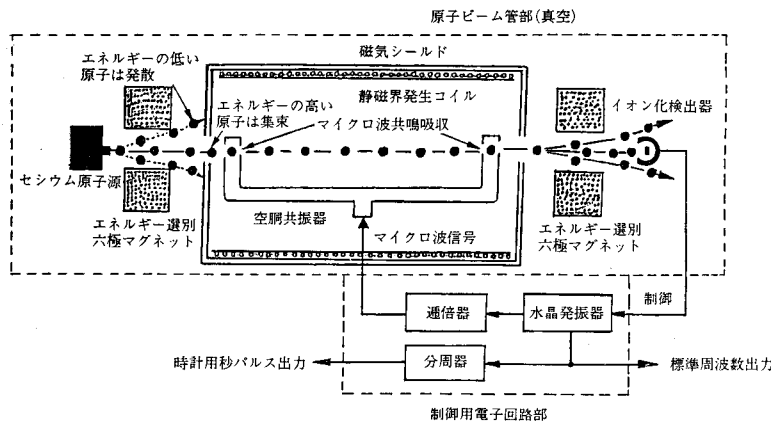


図: セシウムビーム一次周波数標準器の原理

昭和62年3月20日 発行人 〒181 東京都三鷹市東京天文台内
 印刷発行 印刷所 〒162 東京都新宿区早稲田鶴巻町505-12
 定価 450円 発行所 〒181 東京都三鷹市東京天文台内
 電話 三鷹 31局 (0422-31) 1359

社団法人 日本天文学会
 啓文堂 松本印刷
 社団法人 日本天文学会
 振替口座 東京 6-13595