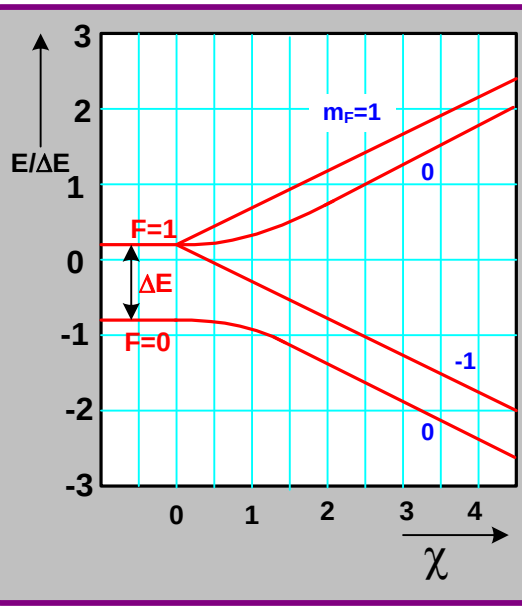
Vodíkový normál frekvence

Vodíkový molekulární generátor byl poprvé sestrojen Ramseyem, Kleppnerem a Goldenbergem. První publikace pochází již z roku 1960 [2]. Počáteční obtíže při stavbě vodíkového normálu byly vesměs technického rázu, neboť princip byl již dříve ověřen na molekulárním generátoru s čpavkem $N^{15}H_3$. Vodíkový standard využívá přechodu F = 1, m_F = 0, m_F =+1 a F = 0, m_F = 0 (obr.1).



$$\nu_0 = \frac{\Delta E}{h} = 1.420,405752\,\mathrm{MHz}$$

Obr.1

Princip činnosti vysvětlíme velmi zjednodušeně podle principiálního schématu na obrázku 2. Vysokofrekvenční výboje (asi 100 MHz) zprostředkují disociaci molekulárního vodíku na atomy vodíku, které jsou zformovány do úzkého paprsku. V nehomogenním magnetickém poli šestipólového magnetu proběhne „rozvrstvení“ atomů v energetické hladině F_1 a aktivní atomy odpovídající hladině F = 1, m_F = 0 a m_F = +1 jsou soustředěny do úzkého svazku a dopadají do prostoru dutinového rezonátoru, ostatní atomy jsou odčerpány. Šestipólový separační magnet separuje asi 80% atomů, z nichž 40% je v hladině F = 1, m_F = 0 a 40% v hladině F = 1, m_F = 1. Ve vnitřním kruhovém prostoru (průměr 1cm) separačního magnetu, jehož délka je asi 10cm, se svazek atomů zformuje do úzkého paprsku, který je nasměrován do vstupního otvoru kruhové baňky, zhotovené z křemene. Křemen je zvolen proto, že je baňka umístěna do dutinového rezonátoru, a vyžadují se minimální vysokofrekvenční ztráty. Atomy vodíku, které směřují mimo baňku a stejně i další nežádoucí plyny, jako např. dusík a argon jsou vyčerpány malou iontovou pumpou. Tlak vyčerpaného prostoru je asi 10^{-8} Torrů. Řez vodíkovým normálem je nakreslen na obrázku 3.

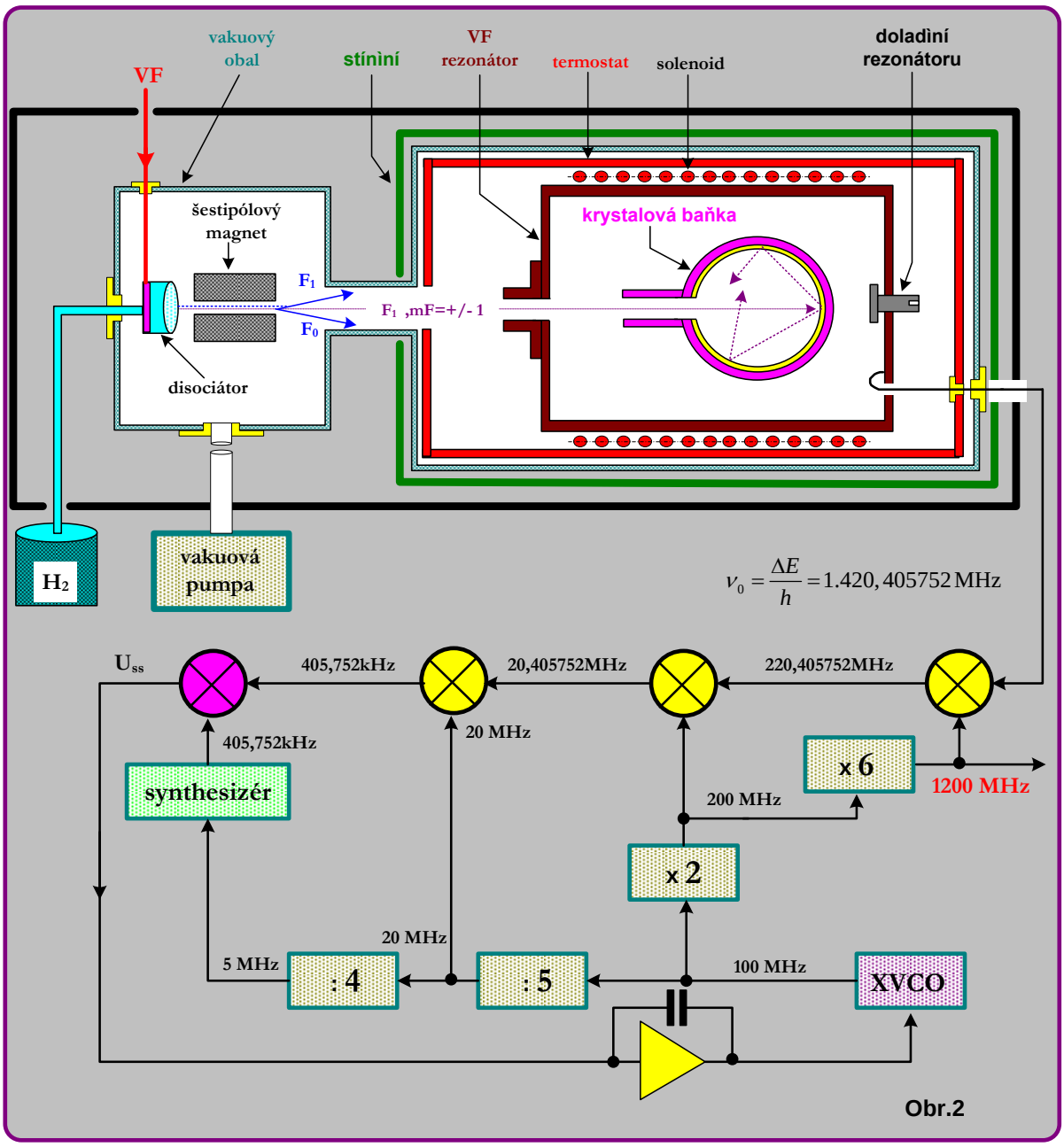
Svazek atomů uvnitř krystalové kulové baňky v důsledku svého pohybu ztrácí energii, která se vyzáří podle známého vztahu. Platí, že pokud elektron z nějakého důvodu opustí energetickou hladinu svého *základního stavu*, tím, že přejde na nižší energetickou hladinu energie se vyzáří.

$$E_{počáteční} - E_{konečná} = h.\nu \ ,$$

kde h je Planckova konstanta

ν je frekvence emitovaného fotonu.

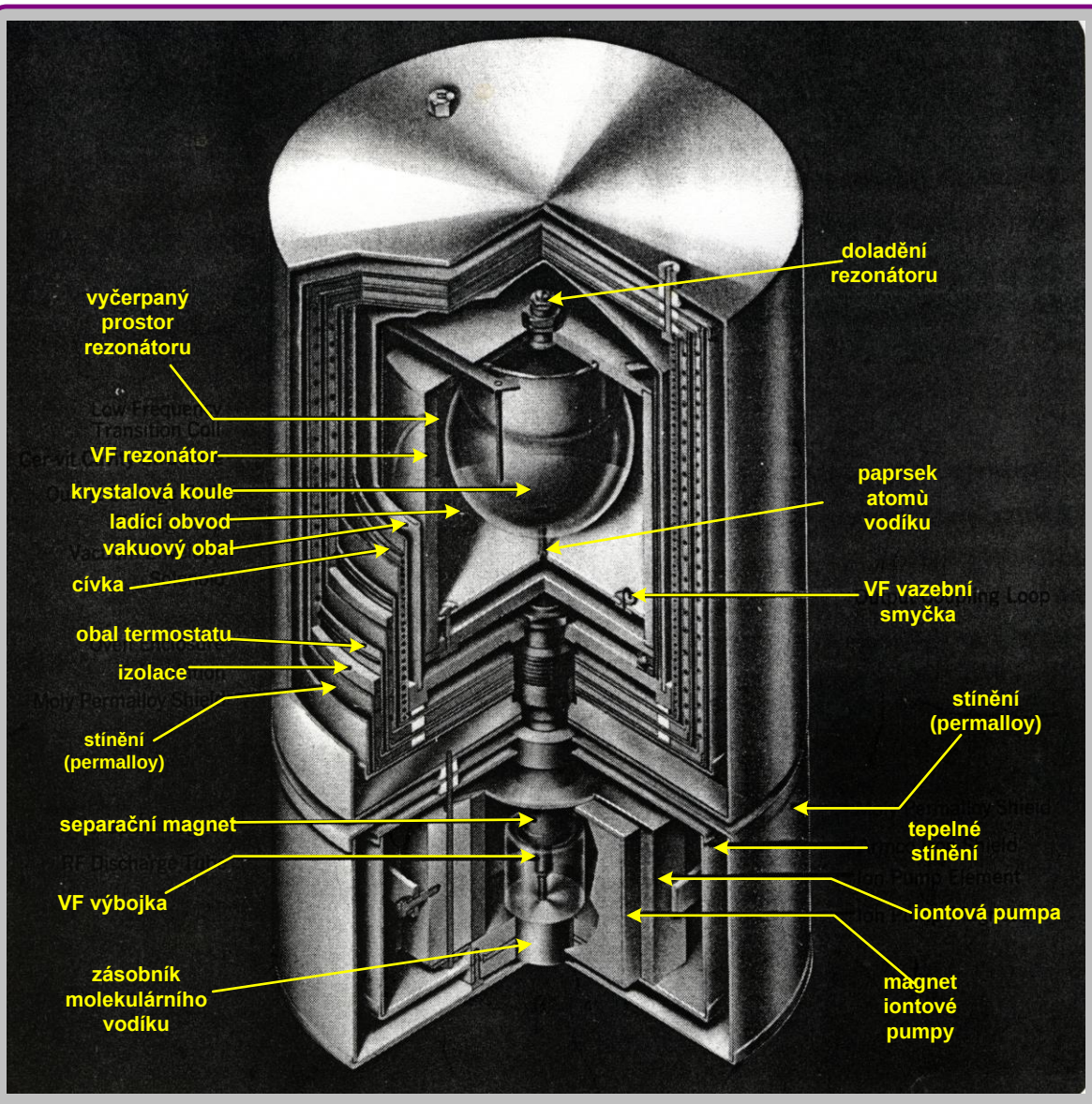
Jelikož tento děj probíhá v dutinovém rezonátoru, který je naladěn na frekvenci přechodu, to je 1.420,405752 MHz a za předpokladu, že vyzářená energie je větší než ztráty rezonátoru, udržují se trvalé oscilace. Do baňky o průměru 21cm vniká za sekundu asi 10^{13} atomů, hustota uvnitř baňky je 10^{9} atomů/cm^3 a při rychlosti pohybu 3.10^5 cm/s dojde asi ke 10^4 srážek se stěnou baňky.



Aby se omezil vliv nežádoucích srážek atomů vodíku se stěnou baňky a k redukci rekombinací, je stěna baňky zevnitř pokryta vrstvičkou teflonu.

Stárnutí tohoto povlaku je jedením z omezujících faktorů dlouhodobé stálosti etalonu.

Dutinový rezonátor válcového tvaru je zhotoven z keramického materiálu, kvůli mechanické stabilitě, malé teplotní roztažnosti a nemagnetickým vlastnostem. Zevnitř je opatřeného stříbrným povlakem, který zaručuje vysoký činitel jakosti Q=40.000. Pracuje s videm TE_{011} a na jmenovitou frekvenci jej lze doladit dvěma způsoby. Mechanicky, terčíkem v horním víku rezonátoru a elektronicky, pomocí varaktorové diody, která je induktívně navázána na dutinový rezonátor pomoci VF vazební smyčky. Doladění je možné v rozsahu



Obr.3

10kHz s krokem 0,1Hz.

Teplotní stabilitu etalonu zajišťuje několik izolačních vrstev termostatu, ve kterém se udržuje teplota s vysokou přesností.

Od zemského magnetismu (0,5G) je rezonátor odstíněn třívrstvým permalloyovým stíněním, které redukuje pole na hodnotu 0,1μG (stínicí útlum je H_{ext}/H_{int}=30.000.

Na obrázku 2 je nakresleno zjednodušené schéma elektronické částí přijímače vodíkového etalonu. Pracuje na heterodynním principu se smyčkou automatické fázové synchronizace, která zajišťuje vysokou přesnost a stabilitu oscilátoru pro tři směšovače. Řídícím oscilátorem je napětím řízený oscilátor o frekvenci 100 MHz. Násobením a dělením této frekvence dostáváme frekvence 1200, 200 a 20 MHz pro směšovače. Postupnou konverzí frekvence dostaneme frekvenci 405,752 kHz, kterou srovnáváme ve fázovém detektoru s frekvencí rovněž 405,752 kHz, odvozenou z napětím řízeného oscilátoru a získanou v syntezátoru, laditelném v rozsahu 405,750 až 405,760 s přírůstkem 10^{-8} Hz. Signál odebíraný smyčkou z rezonátoru je velmi slabý 10^{-13} W a proto jak přijímač, tak i spojovací obvody mezi přijímačem a rezonátorem musí mít vysokou imunitu vůči vnějšímu rušení.

[1] Goldenberg, H. - Kleppner, D. - Ramsey, N.: Phys. Rev. Lett. **5**, 361 (1960).
[2] Kleppner, D. - Goldenberg, H. - Ramsey, N. Phys. Rev. **126**, 603 (1962).
[3] Audion, C.- Guinod, B.: The Measurement of Time. Cambridge University Press, 2001, ISBN 0 521 80080 3.
[4] Wessot, R. F. C.: Atomic Hydrogen Masers. HP Journal, Vol. 20, 1968, č.2.
[5] Eichler, J. a kol.: Elektronická měření. SNTL/ALFA, Praha 1977. Str. 342.
[6] Braser, A.: Úvod do moderní fyziky. ACADEMIA, Praha 1978, str. 115.
[7] Humphrey, M. A.: Precision measuremants vith atomic hydrogen masers. Dis. dokt. práce, Harvard University, May 2003.
[8] Ramsey, N, F.: The Atomic Hydrogen Maser. Metrologia. Vol. 1, No.1,str.8 až 15