Původní princip atomových hodin

Nejpřesnější frekvenci s velmi nízkým wanderem má elektromagnetické záření, které vzniká v elektronovém obalu atomu při přechodu elektronů z vyšších energetických hladin na nižší energetické hladiny. Frekvence elektromagnetického záření (resp. frekvence fotonů), které je emitováno při přechodech elektronů mezi energetickými hladinami, je ve viditelném oboru pro většinu prvků řádově 100 THz. A to je frekvence, která je současnou elektronikou (elektrickými obvody, počítači, ...) nezpracovatelná.

Budeme-li uvažovat střed viditelného oboru elektromagnetického spektra - tj. záření s vlnovou délkou 600 nm - pak jeho frekvence je rovna:

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{600 \cdot 10^{-9}}\ \mathrm{Hz} = 5 \cdot 10^{14}\ \mathrm{Hz} = 500 \cdot 10^{12}\ \mathrm{Hz} = 500\ \mathrm{THz}\ .$$

Detailním studiem spekter jednotlivých prvků periodické soustavy prvků bylo ale zjištěno, že čára, která se při prvním studiu jevila jako jediná, je ve skutečnosti složena z několika čar. Tato tzv. **jemná struktura** vyplývá z rozdílných kvantových čísel, kterými je stav elektronu popsán.

Pokud se ale dva elektrony liší pouze spinem, mají i tehdy (při stejných ostatních kvantových číslech) různou energii. Tento rozdíl energií dvou elektronů s opačným spinem je o několik řádů nižší, než jsou rozdíly energií v rámci jemné struktury. Proto v tomto případě mluvíme o tzv. **hyperjemné struktuře**. Rozdíly energií energetických hladin v hyperjemné struktuře atomu odpovídají interakcím magnetického momentu spinů elektronu s magnetickým momentem jádra atomu - nastává tedy Zeemanův jev. Přitom rozdílům energetických stavů v rámci hyperjemné struktury odpovídají podle kvantové hypotézy frekvence elektromagnetického záření řádově 1 GHz. A toto je frekvence elektromagnetického záření, kterou lze současnou elektronikou zpracovat. Proto se ke konstrukci atomových hodin využívá právě této hyperjemné struktury.

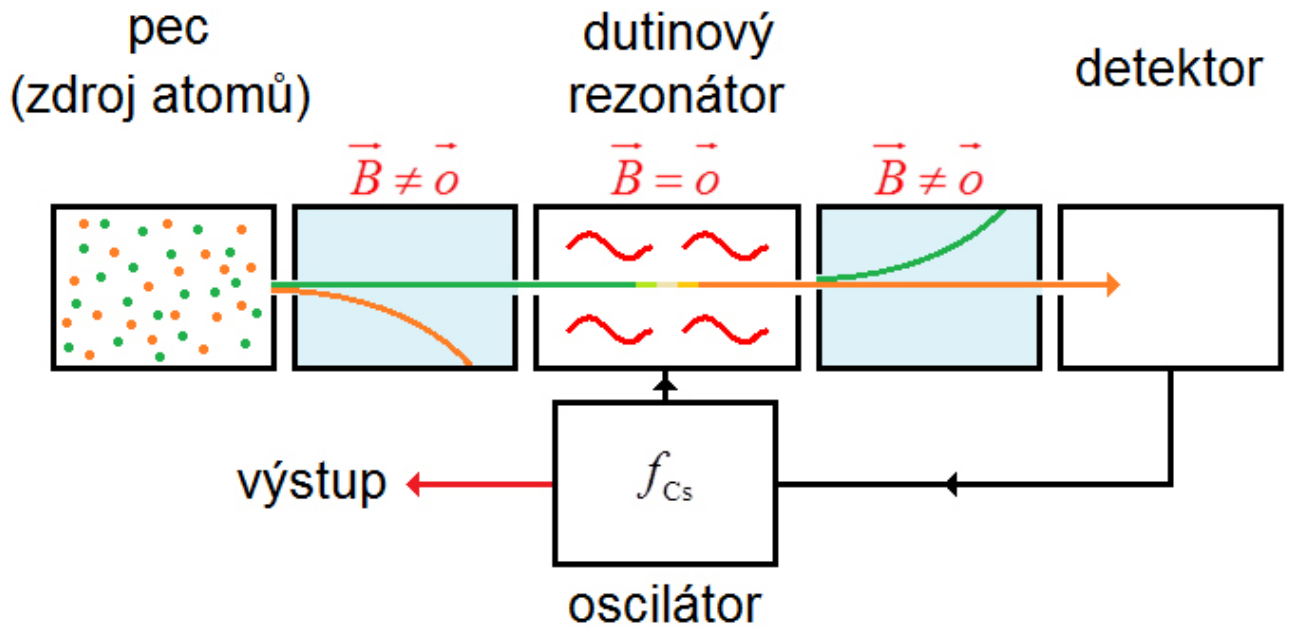
Izotop cesia $^{133}_{55}\mathrm{Cs}$ vyzařuje v rámci této hyperjemné struktury elektromagnetické záření o frekvenci $f_{Cs} = 9192631770\ \mathrm{Hz}$, izotop rubidia $^{87}_{37}\mathrm{Rb}$ vyzařuje elektromagnetické záření s frekvencí 6,835 GHz.

Frekvence elektromagnetického záření vznikající v hyperjemné struktuře cesia byla použita také v definici sekundy, která patří mezi základní jednotky soustavy SI.

Atomy cesia, ve kterých mají elektrony různé spiny dané hyperjemnou strukturou, mají různé momenty hybnosti a tedy i různé magnetické momenty. Proto mají tyto dva druhy atomů také nepatrně odlišné energie.

Na tyto dva druhy atomů tak můžeme nahlížet jako na dva typy různě silných magnetů.

Schematický obrázek atomových hodin dokumentující princip činnosti používaný od vynálezu těchto hodin je zobrazen na obr. 180. Atomové hodiny obsahují elektronický oscilátor, který v dutinovém rezonátoru budí elektromagnetické pole s danou frekvencí f_{Cs}. Tato frekvence spadá do mikrovlnné oblasti. Oscilátor je tvořen temperovaným krystalem se stříbrnými elektrodami (s příměsí dalších chemických prvků). Přesnou frekvenci oscilátoru je možné nastavit právě přidáním vhodných chemikálií. Ty se navážou na stříbro a změní se magnetický moment materiálu, čímž se změní i frekvence oscilátoru. Frekvenci f_{Cs} (tj. frekvenci přibližně 9 GHz) lze elektronicky (tj. pomocí např. děliče napětí a dalších elektrotechnických součástek) ladit s přesností 0,1 Hz.



Obr. 180

Pro nastavení a kontrolu frekvence tohoto oscilátoru se využívá právě nuklidů $^{133}_{55}Cs$ nebo $^{78}_{37}Rb$. U nuklidu $^{133}_{55}Cs$ se používá přechod elektronů, který je vyvolán elektromagnetickým zářením o frekvenci f_{Cs}. Další součástí hodin je proto i zdroj par cesia. Atomy cesia ze zdroje procházejí magnetickým polem, které oddělí atomy podle jejich nepatrně rozdílné energie. Do dutiny rezonátoru, která je vyplněná elektromagnetickým zářením s frekvencí f_{Cs}, tak projdou jen ty atomy, ve kterých je elektron ve stavu s nižší energií. Pokud má frekvence oscilátoru, který elektromagnetické záření v dutině rezonátoru budí, správnou hodnotu f_{Cs}, nastane absorpce fotonů tohoto elektromagnetického záření a elektrony v atomech přejdou do stavu s vyšší energií.

V rezonanční dutině jsou jen ty atomy, jejichž elektrony mají nižší energii. Atomy, jejichž elektrony mají vyšší energii, do dutiny nebyly vůbec vpuštěny. Proto atomy v dutině mohou absorbovat fotony.

Dutina rezonátoru je tvořena kavitou, jejíž délka ovlivňuje přesnost celých atomových hodin. Pro přesnost 10^{-14} s je přitom nutná kavita s délkou 2 m až 3 m. V tak dlouhé kavitě je ale obtížné docílit rezonance v celém objemu kavity. Proto se využívá rezonance jen na začátku a na konci kavity; ve výsledku se kavita chová tak, jako by rezonovala v celém objemu.

Z dutiny rezonátoru pak atomy pokračují dále dalším magnetickým polem. Na základě Zeemanova jevu se opět oddělí atomy s vyšší energií od těch s nižší energií. Do detektoru, který je tvořen žhaveným drátkem, pak dopadají pouze atomy s vyšší energií. Z detektoru je pak vysílán kontrolní signál do oscilátoru. Rezonuje-li tedy rezonanční dutina na frekvenci f_{Cs}, dopadá na detektor intenzivní tok atomů cesia. V případě, že se frekvence v rezonanční dutině od přesné frekvence f_{Cs} odchýlí, na detektoru není zaznamenán žádný signál a je nutné upravit frekvenci oscilátoru.

Atomové hodiny jsou tedy založeny na přesném chodu oscilátoru, jehož frekvence je kontrolována pomocí atomů cesia.

© Encyklopedie Fyziky (http://fyzika.jreichl.com); Jaroslav Reichl, Martin Všetička
Licence http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/ zakazuje úpravy a komerční distribuci.