hans wm Körber fb+ea

Schwingfähige Strukturen – vom Elro zur Atomuhr

Abschätzung der Eignung als Taktgeber oder Zeitmesser

Elementar-System	2
Atomkern-Umlauf	2
Energiedichte-Schwinger Photon	2
Gitterschwingungen	2
elektrischer LC-Schwingkreis	3
Schwingquarze	4
mathematisches Pendel	4
physikalisches Pendel	4
Atomuhren	4
1. Versuch	5
2. Versuch	6
3. Versuch	6
4. Versuch	8
5. Versuch (Erfolg)	9
Quellen	11

Größen in der Reihenfolge ihrer Verwendung — nun mal bestehende Begriffe

Elementarladung e_0		$-1.602\,176\,6208(98)\cdot10^{-19}$ s·A *
Feldeile (alias Lichtgeschwindigkeit) c		299.792.458(00) m/s *
Systemradius r_E	$=hc/(2\pi W_0)$	$3{,}861\,592\,67\,64(18)\cdot10^{-13}$ m *
Elementar-Frequenz f_e	$=W_0/h$	$1{,}235\,589\,965\,18\cdot10^{20}$ Hz
Elementar-Ruheenergie W_0	$=m_{e0}c^2$	$8{,}187\,105\,65(10)\cdot10^{-14}$ J *
*Planck*sches Wirkungsquantum h		$6{,}626\,070\,040(81)\cdot10^{-34}$ s·J *
absolute Nullpunkt-Temperatur		0 K = −273,15 °C
*Ludolph*sche Zahl, Kreiszahl π		3,141 592 653 589 793 238 462 643 ...
magnetische Feldkonstante μ_0		$4\pi(00)\cdot10^{-7}$ s·V/(m·A) *
Erdbeschleunigung g		$9{,}806\,65(00)$ m/s² *
spezifische Atomuhr-Frequenz $f_{\delta Cs}$		9.192.631.770 Hz
Masse m_{Cs} von ^{133}Cs		132,905 45 g/mol [26]
Dichte ϱ_{Cs} von ^{133}Cs		1,873 kg/m³ [26]
Stoffmenge 1 mol		$6{,}022\,140\,76(00)\cdot10^{23}$ Teilchen
*Bohr*radius a_0	$=r_E^2/r_e=r_E/\alpha$	$5{,}291\,772\,1067(12)\cdot10^{-11}$ m *
Sommerfeld-Feinstrukturkonstante α	$=r_e/r_E$	$7{,}297\,352\,5664(17)\cdot10^{-3}$ *
klassischer Elektronenradius r_e	$=\alpha^2 a_0$	$2{,}817\,940\,3227(19)\cdot10^{-15}$ m *
Elementar-Kreisfrequenz ω_e	$=2\pi f_e=2\pi W_0/h$	$7{,}763\,440\,714\,91\cdot10^{-20}$ s⁻¹
Elektron-Masse m_{e0}	$=\mu_0 e_0^2/(4\pi r_e)$	$9{,}109\,383\,56(11)\cdot10^{-31}$ kg *
Proton-Masse m_{p0}		$1{,}672\,621\,898(21)\cdot10^{-27}$ kg *
Elro-Elektrofeldenergie W_{e0}	$=\frac{1}{2}W_0=\frac{1}{2}m_{e0}c^2$	$4{,}093\,552\,825\cdot10^{-14}$ J
Elro-Magnetfeldenergie W_{em}	$=\frac{1}{2}W_0$	$4{,}093\,552\,825\cdot10^{-14}$ J
elektrische Feldkonstante ε_0	$=(\mu_0 c^2)^{-1}$	$8{,}854\,187\,817...\cdot10^{-12}$ s·A/m·V *
Proton-Masse-Energie-Äquivalent W_p	$=m_{p0}W_0/m_{e0}$	$1{,}503\,277\,593(10)\cdot10^{-10}$ J *
*Bohr*sches Magneton μ_B	$=he_0c^2/(4\pi W_0)$	$-9{,}274\,009\,994(57)\cdot10^{-24}$ m²·A *
magnetisches Moment μ_{Cs} von ^{133}Cs		$1{,}732\,\mu_B$ [31] $=-1{,}606\,258\,53\cdot10^{-23}$ m²·A

* Werte gem NIST/CODATA,[25] dort zuletzt aktualisiert Sept 2018

Schwingfähige Strukturen – vom Elro zur Atomuhr

Als Taktgeber oder Zeitmesser werden oft autonome Geräte benötigt. Je nach Anwendung werden an diese unterschiedlich hohe Anforderungen an die Genauigkeit gestellt. Für eine Uhr im Haushalt (bspw Eieruhr, Wecker) können betreffs Stabilität mehr Zugeständnisse gemacht werden, als an einen Apparat für Vergleichsmessungen in der Forschung oder an ein Zeitnormal zum Eichen anderer Uhren. Zum Erreichen und Einhalten hoher Güte ist entsprechender Aufwand zu treiben, was nicht in jedem Fall erforderlich ist. Manche Geräte eignen sich daher für Einsätze und sind für andere Fälle wertlos. Standard für exakten Zeitvergleich, genauesteste Zeitmessung ist, seit 1967 festgelegt, eine Cs-Atomuhr.

Beim **Elro e^{C}** (eigenbewegtes Elektron e$^-$) kreist ein unendlich ausgeweitetes akausales elementares kugelsymmetrisches Elektrofeld eEF$^-$ mit auf feldfreie Mitte ffM bezogener Eigenheit „Elementarladung“ e_0 in Feldeile c um Systemmitte Z auf Systemradius r_{E} mit Elementar-Frequenz f_{e}.[1] ***Bild 1*** Der Lauf des Elros in konstanter Frequenz f_{e} (und c!) ist ein grundlegendes Naturphänomen. Er läßt sich durch nichts aufhalten, weil Ruheenergie W_0 und *Planck*sches Wirkungsquantum h konstant sind: $f_{\mathrm{e}} = W_0/h$.
Energie W_0 teilt sich je zur Hälfte auf in die des Elektrofelds und die des Magnetfelds, das durch das c-bewegte Elektrofeld erregt ist. Die Elro-Bewegung wäre als sehr **präziser** Takt-/Zeitgeber geeignet. Nichts ist stabiler und genauer. Doch, wie synchronisiert man mit ihm, wie koppelt man an?

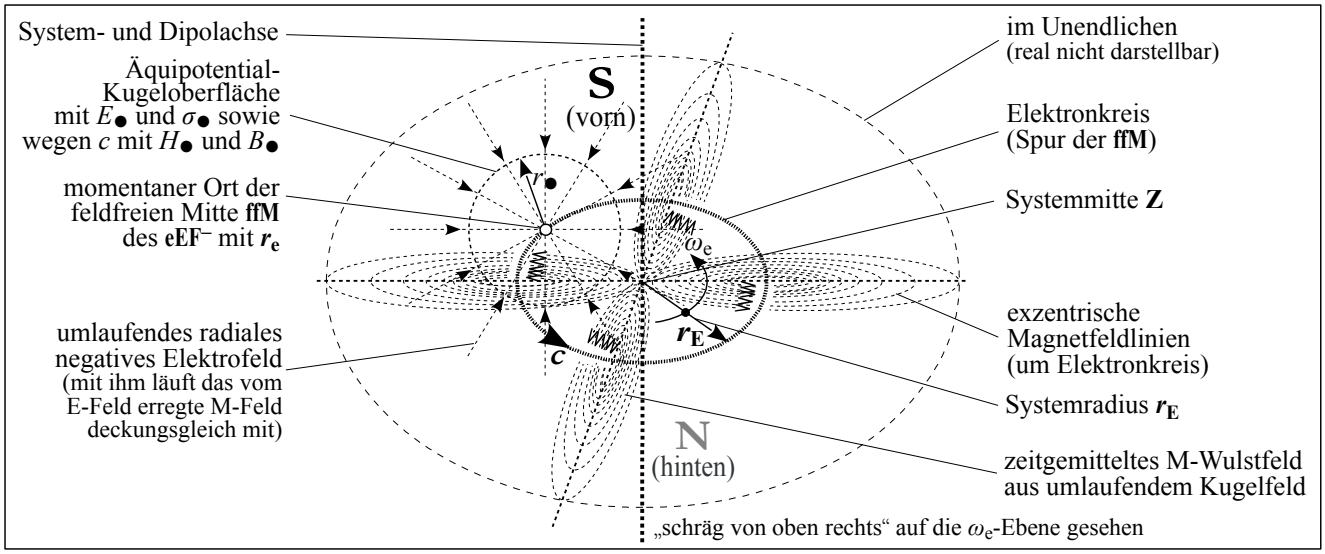

Bild 1 Mit Feldeile c eigenbewegtes **eEF**$^-$ (Elementar-System e^{C})[2]
Schematische Felddarstellungen eines Elros **e**^{C} mit zeitgemitteltem Magnetfeld-Zustand.

Ein Elro umrundet einen **Atomkern** mit Kernumlauffrequenz f_{w}. Diese hängt vom Quantenzustand, also der Anregungsenergie des Atoms, aber auch von Wärme- resp *Brown*scher Molekularbewegung ab. f_{w} taugt somit nicht als Zeitmaß.[3, 4]

Photonen sind Energiedichte-Schwinger:[5] Eine nichtelementare Magnetfeld- wechselt in analoge Elektrofeld-Energie und zurück mit Frequenz $f_\gamma = W_\gamma / h = \Delta R_{12}/h$ während linearen Raumflugs mit c. Abgestrahlte Photonen sind wegen konstantem Wirkungsquantum h frequenz-/energiestabil. Doch sind Energie W_γ und damit Frequenz f_γ durch Differenzenergie ΔR_{12} aus der zum Zeitpunkt des Verlassens einer Bahn geltenden Bindungsenergie und der beim Erreichen einer anderen bestimmt. Auf Grund instabiler Bedingungen von Fall zu Fall (bspw durch „Spin-Bahn-“, „Spin-Spin-Kopplung“ und sich während QS ändernder Verhältnisse) schwanken ΔR_{12} und f_γ ggf – ihre Werte sind somit **unzuverlässig**.[6]

Oberhalb des absoluten Temperatur-Nullpunkts (0 K = − 273,15 °C) schwingen in feste Materie, besonders in Kristalle eingebundene **Atome/Moleküle** wegen (Wärme-)Energiezufuhr mit einer zwar charakteristischen Frequenz f_{V}, die z B von der Struktur, von Bindungsverhältnissen der Kristalltypen und Atomanzahl je Kristallzelle abhängt.[7] Ohne jedoch auf die komplexe Thematik näher einzugehen, ist bekannt, daß f_{V} von Umgebungstemperatur (bei ϑ_{A} = 25 °C ≈ 300 K) und mehreren Parametern abhängt, die **Gitterschwingungen** auch in Vibrationsamplitude V_{V} **unsicher** machen (als Zeitgeber uninteressant sind). Dies stellt ein Mehrteileproblem dar und entzieht sich damit hier einer einfacheren näheren Betrachtung.

Bekanntlich bilden Induktivität L [s·V/A] und Kapazität C [s·A/V], parallel- oder seriengeschaltet, einen elektrischen **Schwingkreis**, dessen resonante Kreisfrequenz ω_{LC} mit *Thomson*scher Beziehung $\omega_{LC} = 1/\sqrt{LC}$ errechenbar ist. Die Komponenten L und C sind zwar *ohm*sch bzw dielektrisch verlustbehaftet. Doch phasengünstige Energiezufuhr verhindert exponentiellen Schwingungseinbruch. Bei angenommen parallelgeschaltetem L mit C fließt ein Strom zwischen beiden Komponenten hin und her: ***Bild 2*** ⓐ: Ein in der Spule einbrechendes Magnetfeld induziert in deren Windungen eine elektrische Spannung u_L, die zum Ausgleich Elros e^C zum C drückt, um sie dort anzuhäufen, bis Spannung u_C zw den Kondensatorbelegen mit in der Spule induzierter u_L auf gleichem Niveau ist ($e^C/t \sim i$ lädt C). Dann unterbricht i und u_L knickt ein. – ⓑ Nun einsetzender i von C nach L erregt in L ein Magnetfeld (umgekehrten Dipols) und induziert eine Gegenspannung $u_L = L \cdot di/dt$ der Höhe, daß ein Stromfluß i erhalten bleibt und C entlädt. – ⓒ Ist dies erreicht, sorgt das erneut einbrechende Magnetfeld für eine u_L gegenüber vorher umgekehrter Polarität, so daß i weiterfließt und C konträr lädt. – ⓓ Auch dies endet mit gleich hohen, gegenpoligen u_L und u_C, dem ein Entladen von C folgt. – ⓐ Dem schließt sich erneutes Laden von C an usw ... Steigt i stets genügend hoch, bleibt das Hin und Her, ein harmonischer Ablauf wechselnden Energieaustauschs, erhalten – der Kreis schwingt ununterbrochen. Periodisch ist abwechselnd C geladen oder in L ist ein maximales Magnetfeld aufgebaut. → ***Bild 2***

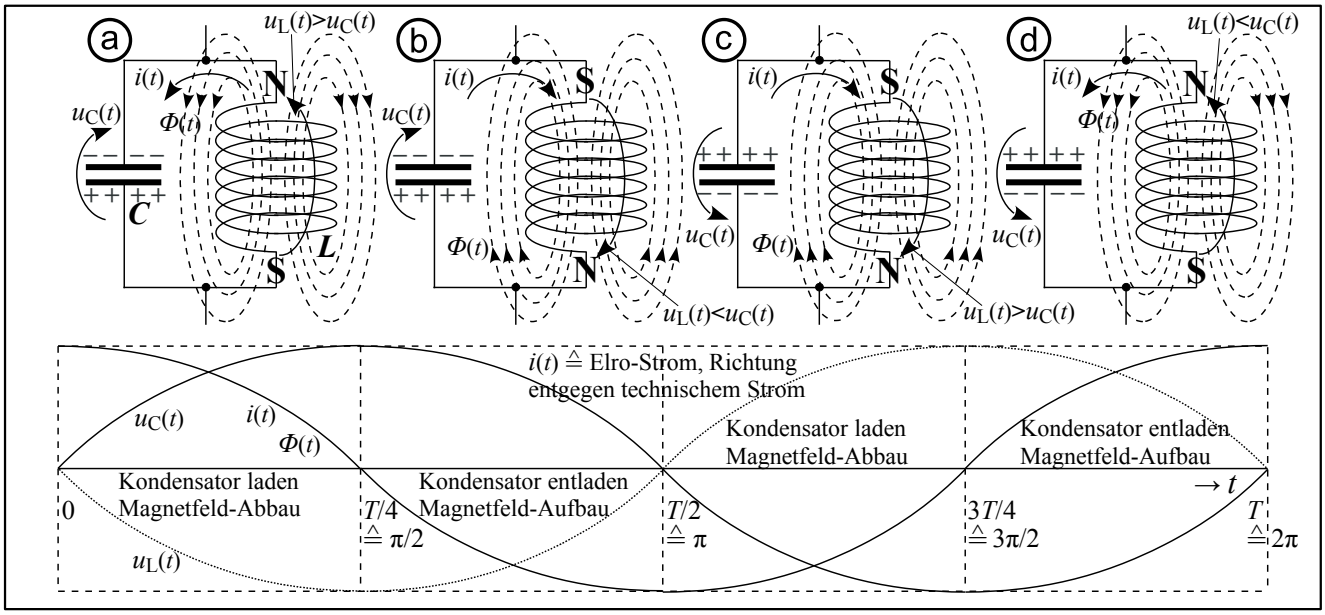

Bild 2 Zyklische Vorgänge im elektrischen Schwingkreis

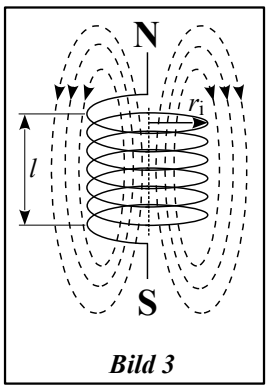

Bild 3

Die Induktivität L einer Luftspule (→ ***Bild 3***) berechnet sich näherungsweise aus:

$$L \approx \frac{\pi r_i^2 \mu_0 w^2}{l} \quad [\mathrm{s \cdot V/A = H}]^{8} \tag{1}$$

mit Innenradius r_i [m], magnetischer Feldkonstante $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\,\mathrm{s \cdot V/(m \cdot A)}$, Windungszahl w [–] und Wickellänge l [m].

Im allgemeinen ist die Zylinderspule eine Kupferlackdraht-Wicklung. Weil Kupfer einen positiven Temperaturkoeffizienten hat, ist der *ohm*sche Spulenwiderstand R_{Cu} abhängig von Temperatur ϑ_A. Ferner dehnt sich Kupfer bei Erwärmen. Folglich sind auch Innenradius r_i, Wickellänge l und damit Induktivität L nicht konstant.

Das beim Kondensator zwischen Belegen kapazitätserhöhende Dielektrikum ist kein idealer Isolator und zudem temperaturabhändig. Das berücksichtigt ein zu C paralleler Leitwert $G_{Di}(\vartheta_A)$. → ***Bild 4***

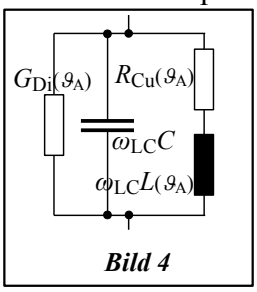

Bild 4

Nebenstehend das Ersatzschaltbild eines LC-Kreises.
Analyse des Kreises ergibt nach Umformen eine gemischtquadratische Gleichung für Kreisfrequenz ω_{LC}:

$$L(\vartheta_A) C \omega_{LC}^2 + [R_{Cu}(\vartheta_A) C + L(\vartheta_A) G_{Di}(\vartheta_A)]\omega_{LC} + R_{Cu}(\vartheta_A) G_{Di}(\vartheta_A) - 1 = 0 \tag{2}$$

Ohne (2) auf üblichem Lösungsweg nach ω_{LC} umzustellen, wird deutlich, daß ω_{LC} des elektrischen LC-Kreises ohne besondere Maßnahmen **frequenz<u>in</u>stabil** ist.

Mit Einsatz von **Schwingquarzen** wird inzw oft eine hohe Güte der Frequenzstabilität erreicht. Ein Schwingquarz enthält einen piezoelektrischen Quarzkristall, der zwecks Energiezufuhr an gegenüberliegenden Flächen mit Elektroden bedeckt ist. In den Rückkopplungszweig eines Verstärkers gebracht, wird der Quarz mit Wechselspannung seiner mechanischen Eigenfrequenz beaufschlagt. Feldstärkeschwankungen regen den Quarz zu Verformungen in Dicke, Länge oder Biegung an und bringen ihn in Resonanz. Wie temperaturstabil diese ist, hängt vom Quarzschnitt bezogen auf die Kristallachsen ab. Nachteiliger Feuchteeinfluß auf Quarze wird meist durch Montage in Gehäuse behoben. Quarze finden wegen ihres **hohen Gütefaktors** einen riesigen Anwendungsbereich für 1 kHz ... 300 MHz.[9]

Ein mathematisches **Pendel**[10] ist eine an einem masselosen, unelastischen Faden der Länge l_{pm} aufgehängte bewegliche, kugelige Materiestruktur mit einer Masse m_{pm}. → ***Bild 5*** Diese wird als in einem Punkt zusammengefaßt betrachtet und kann freie ungedämpfte harmonische Schwingungen ausführen.

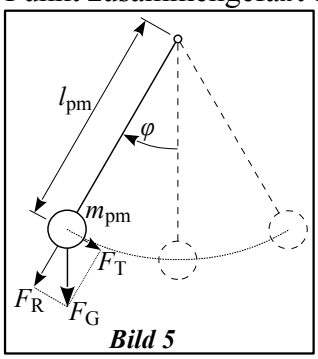

Bild 5

Allgemein bekannte Beziehungen für kleine Auslenkungen φ [rad] sind z B:

$$F_T = m_{pm} \cdot a = m_{pm} \cdot g \cdot \varphi \quad \text{mit Erdbeschleunigung } g \text{ und } \sin\varphi \approx \varphi \qquad (3)$$

Schwingfrequenz f_{pm} und Schwingperiode T_{pm}:

$$f_{pm} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{l_{pm}}} \quad [\text{Hz}] \qquad T_{pm} = 2\pi\sqrt{\frac{l_{pm}}{g}} \quad [\text{s}] \qquad (4)\ (5)$$

Erdbeschleunigung g ist orts-, besonders breitengradabhängig. An anderem Ort im All, bspw auf dem Mond, gilt erst recht ein anderer Beschleunigungswert. Selbst das idealisierte mathematische Pendel ist also **kein verläßlicher** Zeitgeber.

Für größere Auslenkungen φ ist in (5) ein Korrekturfaktor zu berücksichtigen:

1°	5°	10°	30°	45°
1,000 02	1,000 48	1,001 91	1,017 41	1,039 97

Bei technisch ausgeführten Pendeln lassen sich Ungenauigkeiten der f_{pm} durch Justieren der l_{pm} beheben. Ein Fadenpendel wurde zur Einhaltung eines gleichmäßigen Tempos in der Musik erstmals von *Thomas Mace* im Jahr 1676 vorgeschlagen.[11]

Ein physikalisches **Pendel** ist ein starrer Körper, der durch Erdbeschleunigung g um eine feste Achse Drehbewegungen ausführen kann. Diese Abhängigkeit macht es ebenfalls unpräzise, was sich aber mittels Stellglied temporär beseitigen läßt und „für den Hausgebrauch“ ausreicht. Anwendung findet das physikal Pendel bspw in **Pendeluhren**[12] (mit „Perpendikel“) und im **Metronom**. Größere Bedeutung erlangte das Metronom nach 1815 (auch auf Anregung *Beethovens*) in einer vom Instrumentenbauer und Konstrukteur mechanischer Automaten *Johann Nepomuk Mälzel* in Paris gebauten Form.[11]

Weitere Pendel – wie Dreh- (Unruh), Feder-, Torsions-, Flüssigkeitspendel – seien nur aufgezählt. Vom Aufbau her sind sie allgemein temperaturanfällig und daher nicht sonderlich genau / zeitstabil.

Seit 1967 ist eine Sekunde das 9.192.631.770fache der Periodendauer der Strahlung, die dem Übergang zw den beiden Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustandes von Atomen des Nuklids ^{133}Cs entspricht. Sie wird in **Atomuhren**, bspw von der PTB, mit einer Genauigkeit von $\approx 10^{-15}$ realisiert.[13] Nach 31 Mio Jahren könnte eine Atomuhr ggf von einer idealen Uhr um 1 s abweichen.[14] – Gut gebrüllt Löwe!

Was läßt sich aus „Kieler Feldtheorie“-Sicht dazu anschaulich, ergänzend, erklärend aufzeigen?
→ Um angesprochene Zusammenhänge besser zu verstehen, empfiehlt es sich, vorher Fachaufsatz [PT] der PTB zu lesen.

Viele chemische Elemente variieren in der Anzahl ihrer Neutronen → von Atomen gibt es Isotope. Atome mit bestimmter (Protonen- und) Neutronenzahl heißen **Nuklide**. Vom Cäsium kommt in der Natur nur das stabile Reinelement ^{133}Cs vor, das 55 Protonen und 78 Neutronen enthält. Wegen seiner Elro-Konfiguration 2/8/18/18/8/**1**, also nur eines Valenzelros, ist das von diesem ausgehende magnetische Moment relativ hoch. Die magnetischen Momente seiner anderen Elros kompensieren sich zeitgemittelt, da sie paarig sich aufhebende Magnetfelder erregen (vergleichbar mit im Neutrino ν_e[15] superponierenden).

Ein magnetisches Moment wird verursacht, wenn eine Elektrofeldmitte eine Fläche umläuft, wenn ein Kreisstrom fließt. Die Polarität des erregten Magnetdipolfelds ergibt sich aus der Stromrichtung. Ein Elro kann links- oder rechtsschraubend einen Torus umwinden. In beiden Fällen ist Umrunden des Atomkerns alternativ rechts- oder linksherum möglich – somit bestehen vier Optionen: → ***Bild 6***

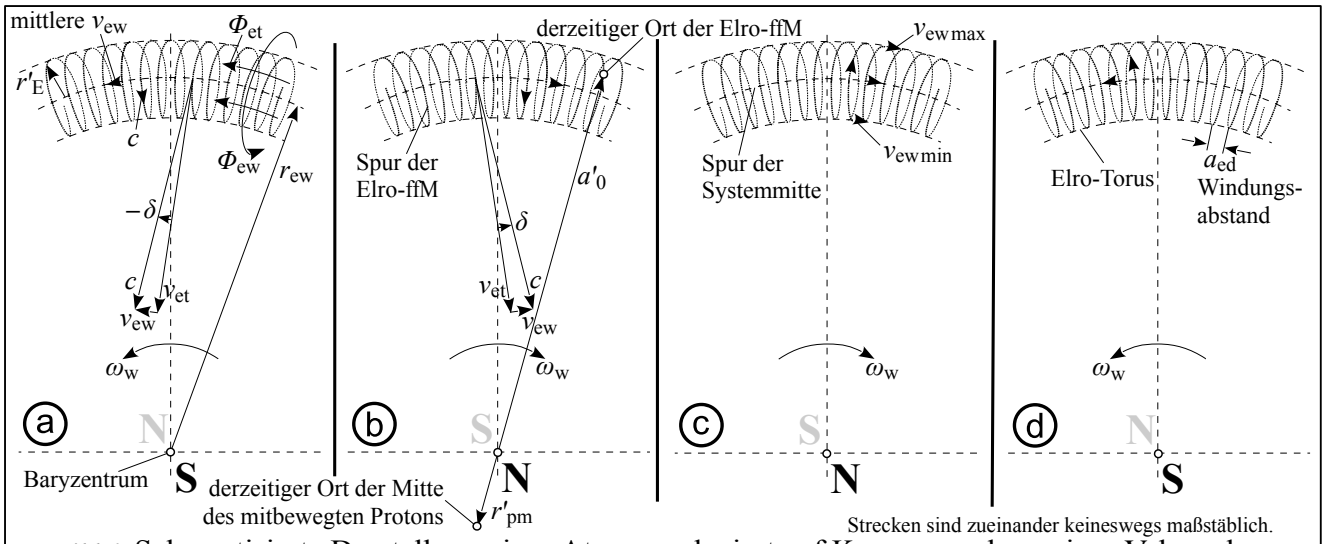

Bild 6 Schematisierte Darstellung eines Atoms, reduziert auf Kernumrundung eines Valenzelros

Die **Fein-, Einzel-** oder **Minimalstruktur** Elro (intrinsisch bewegtes eEF⁻ mit eMF) befindet sich im hier betrachteten Status des Nuklids ^{133}Cs im **Grundzustand**, d h das Valenzelro umrundet den Kern auf seinem niedrigsten Niveau, auf engstem Radius in 6s. Beim für die Atomuhr beschriebenen Vorgang wechselt das Nuklid den Grundzustand – von $6s^1$ nach $6s^2$. Beide unterscheiden sich nur in der Dipolfeldlage, im gekippten magnetischen Moment. Dieser Wechsel kann von ⓐ nach ⓑ oder ⓒ nach ⓓ oder jeweils umgekehrt erfolgen, nicht etwa von ⓐ nach ⓒ oder zurück. Für letzteren wäre wesentlich höhere Energie aufzubringen, weil das Elro dazu kehrtwenden müßte.

Um aus einer Situation in eine andere zu gelangen, bedarf es genau dosiert zuzuführender Energie. Bei einer Frequenz $f_{\delta\,Cs}$ = 9.192.631.770 Hz beträgt sie $W_{\delta\,Cs} = h \cdot f_{\delta\,Cs} = 6{,}091\,102\,196 \cdot 10^{-24}$ J. Diese ändert die Elrorichtung abrupt um $2\delta_{Cs}$ von $6s^1$ nach $6s^2$. Das V-Elro bleibt also auf Schale 6s. Zum Anregen, zum Quantensprung reicht es nicht. In der Natur besteht allgemein die Tendenz, möglichst auf niedrigstem Energieniveau zu verharren. Das Elro verbleibt deshalb nach „mißlungener" Anregung im (gespiegelten) Grundzustand und nimmt zuvor angebotene Energie nicht auf. Das „katalysierende" Mikrowellenfeld wandert ohne Energieabgabe mit 9,192 631 770 GHz weiter.

Wegen der Kürze und ohne allzusehr danebenzuliegen (?), sei folgendes untersucht und approximiert:

1. Versuch: (gescheitert, trotzdem lesenswert, da instruktiv)

✖ Angenommen, der äußere Atomradius r_A ließe sich mit $r_A = ½(m_A/\varrho_A)^{⅓}$ berechnen[16], ergibt es für den **6s-Radius** $r_{ewCs} \approx r_{ACs} = 2{,}45 \cdot 10^{-10}\,m \approx 4{,}635\,a_0$ [mit Cäsium-Masse m_{Cs} = 132,905 45 g/mol, Cs-Dichte ϱ_{Cs} = 1,873 kg/m³, 1 mol = $6{,}022\,140\,76 \cdot 10^{23}$ Teilchen und *Bohr*radius $a_0 = 5{,}291\,772\,1067(12) \cdot 10^{-11}$ m].

In einem Atom kann jedem Proton ein Elro zugeordnet werden. Daraus folgt die Überlegung, daß die Bindung eines Elros an ein Atom zw je einem Proton und Elro besteht. So läßt sich obige Proportion $r_{ew\,Cs} = 4{,}635\,a_0$ deuten, als sei das Cäsium-V-Elro zum Quasi-Quantenzustand „n" $\approx \sqrt{4{,}635} = 2{,}153$ angeregt, da n bei derartigen Beziehungen mit n^2 eingeht.[17] In Analogie in [17] Durchdachtem besteht für das Cs-V-Elro demnach eine Bindungsenergie W_{Csn} von:[18]

$$W_{Csn} = \frac{\alpha^2}{2n^2} m_{eH} c^2 = \frac{r_e^2 \omega_e^2}{2„n"^2} \cdot \frac{m_{e0}\, m_{p0}}{m_{e0} + m_{p0}} \qquad = 4{,}7005 \cdot 10^{-19}\ \text{J} \tag{6}$$

Mit $W = h \cdot f$ läßt sich W_{Csn} eine ihr proportionale Frequenz f_{wCs1} für das Kernumrunden zuordnen:

$$f_{wCs1} = W_{Csn}/h \qquad = 7{,}093\,96 \cdot 10^{14}\ \text{Hz} \tag{7}$$

Folglich beträgt Umlaufeile v_{ewCs1}:

$$v_{ewCs1} = 2\pi \cdot r_{ewCs} \cdot f_{wCs1} \qquad = 1{,}092\,03 \cdot 10^{6}\ \text{m/s} \tag{8}$$

und daher Toruswinkel δ_{Cs1}:

$$\delta_{Cs1} = \arcsin(v_{ewCs1}/c) \qquad = 0{,}2087\ ° \tag{9}$$

Bei abruptem Wechsel aus einem in den anderen Grundzustand um $2\delta_{Cs1}$ würde eine Energie ΔW_{Cs} frei:[19]

$$\Delta W_{Cs} = \frac{2\sin^2\delta_{Cs1}}{2\alpha\sqrt{1+\tan^2\delta_{Cs1}}} \left(\frac{m_{e0}+m_{p0}}{m_{p0}}\right)^2 m_{e0}\, c^2 \qquad = 1{,}4903 \cdot 10^{-16}\ \text{J} \quad (\textbf{\textit{Nicht plausibel, da viel zu hoch!}}) \tag{10}$$

Das kann nicht die zum Winkelsprung $2\delta_{Cs1}$ erforderliche Energie sein. Das Ergebnis ist ***nicht sinnvoll***!

2. Versuch: (gescheitert, trotzdem lesenswert, da instruktiv)

✖ Ein anderer gedanklicher Ansatz ist folgender:

Alle **eEF⁻** sind radialsymmetrische Felder. Auch bei eigenbewegten Elros ist ihre Energie um ihre Systemmitte kugelsymmetrisch verteilt, wenn Energiedichte ${}_t^{\varnothing}\rho_e$ im Abstand $r_\bullet$ resp $r_\circ$ zur Mitte auch nicht ${}_t^{\varnothing}\rho_{e\bullet} \sim r_\bullet^{-2}$ (bei ruhenden **eEF⁻**),[20] sondern ${}_t^{\varnothing}\rho_{e\circ} \sim (r_E^2+r_\circ^2)^{-1}$ beträgt.[21] Diese Proportion gilt auch für Magnetfeld-Energiedichte ${}_t^{\varnothing}\rho_{m\circ}$.[22] Bei im Raum bewegtem Elro gibt es vom Magnetfeld allerdings einen latenten und offenen Energieteil. Im Atom umrundet das Elro den Kern mit v_{ew} und sorgt so für schraubende Torusbewegung mit Komponenten v_{et} und c → ***Bild 6*** ⓐ. Da c und f_e konstant sind, ändert sich r_E im raumbewegten Elro zu reduziertem r'_E: $v_{et} = 2\pi\, r'_E \cdot f_e$. Die gegenüber c geringere v_{et} hat so eine mäßigere kinetische Elro-Torus-Bahnenergie[23] $W_{ebt} = ½ m_{e0} v_{et}^2 < W_{em} = ½ m_{e0} c^2$ zur Folge:

$$W_{ebt} = ½ m_{e0} v_{et}^2 = \frac{e_0^2}{8\pi\varepsilon_0 r_e} \cdot \frac{{}_t^{\varnothing}v_{et}^2}{c^2} = \frac{e_0^2}{8\pi\varepsilon_0 r_e} \cdot \left(\frac{2\pi r'_E \cdot f_e}{c}\right)^2 \qquad (11)$$

Wäre $\delta_{Cs2} = 0$, dann wäre $r'_E = r_E$ und $W_{ebt} = W_{em}$. Um von $\delta_{Cs2} < 0$ nach $\delta_{Cs2} > 0$ zu gelangen, muß das Elro mit $W_{em} - W_{ebt} \geq W_{\delta Cs}$ angestoßen werden.

(Das Elro verläßt die 6s-Schale dabei nicht – es findet kein Quantensprung statt.)

$$W_{\delta Cs} \leq W_{em} - W_{ebt} = \frac{e_0^2}{8\pi\varepsilon_0 r_e} \cdot \left[1 - \left(\frac{2\pi r'_{ECs2} \cdot f_e}{c}\right)^2\right] = 6{,}091\,102\,196 \cdot 10^{-24}\,\text{J} \quad \text{vergl (10)} \qquad (12)$$

Der verkürzte Elro-Systemradius, Torusradius r'_{ECs2} ist im Cs-Nuklid damit:

$$r'_{ECs2} \geq \frac{c}{2\pi f_e}\sqrt{1 - \frac{8\pi\varepsilon_0 r_e W_{\delta Cs}}{e_0^2}} = 3{,}861\,593 \cdot 10^{-13}\,\text{m} = 0{,}999\,999\,999\,9256\, r_E \qquad (13)$$

Also ist Torus-Umlaufeile v_{etCs2}: $v_{etCs2} = 2\pi\, r'_{ECs2} \cdot f_e = 299.792.457{,}9777\,\text{m/s} = 0{,}999\,999\,999\,9256\, c$ (14)

– aber auch $r'_{ECs2} : r_E = v_{etCs2} : c$ ⟳ $v_{etCs2} = r'_{ECs2} \cdot c / r_E = 299.792.457{,}9777\,\text{m/s}$ (14a)

und Atommitte-Umlaufeile v_{ewCs2}: $v_{ewCs2} = \sqrt{c^2 - v_{etCs2}^2} = 3.656{,}945\,173\,\text{m/s}$ (15)

bzw $\sqrt{r_E^2 - r'^2_{ECs2}} : r_E = v_{ewCs2} : c$ ⟳ $v_{ewCs2} = \sqrt{r_E^2 - r'^2_{ECs2}} \cdot c / r_E = 3.656{,}944\,169\,\text{m/s}$ (15a)

sowie Toruswinkel δ_{Cs2}: $\delta_{Cs2} = \arcsin(v_{ewCs2}/c) = 0{,}000\,069\,891\,°$ – mit (15) (16)

Während eines Atommitte-Umlaufs vollführt das Elro auf einem Torus daher w_{Cs} Windungen:

$$w_{Cs} = 360\,°/\delta_{Cs2} = 515.088{,}82\,\text{Wdg} \qquad (17)$$

Für eine Windung wird eine Periode $T_e = 1/f_e$ benötigt. Folglich dauert ein Atomumlauf T_{ewCS}:

$$T_{ewCs} = T_e \cdot w_{Cs} = 4{,}168\,768 \cdot 10^{-15}\,\text{s} \qquad (18)$$

Dabei wird auf der Spur der Systemmitte ein Weg s_{ewCs} zurückgelegt:

$$s_{ewCs} = v_{ewCs2} \cdot T_{ewCs} = 1{,}524\,495 \cdot 10^{-11}\,\text{m} \qquad (19)$$

Das ergibt für Radius r_{ewCs2}: $r_{ewCs2} = s_{ewCs}/2\pi = 2{,}426\,3102 \cdot 10^{-12}\,\text{m}$ (20)

→ (***Der Wert ist nicht plausibel, da um zwei Größenordnungen zu klein! WARUM, wodurch?***) ←

und für den Windungsabstand a_{ed}: $a_{ed} = s_{ewCs}/w_{Cs} = 2{,}959\,675 \cdot 10^{-17}\,\text{m}$ (21)

Um den Toruswinkel von $-\delta_{Cs2}$ nach $\delta_{Cs} = 0$ zu ändern, ist a_{ed} mit v_{ewCs2} zu durchlaufen. Das dauert also:

$$t_{\Delta Cs} = a_{ed}/v_{ewCs2} = 8{,}0933 \cdot 10^{-26}\,\text{s} \qquad (22)$$

Innerhalb einer so kurzen Zeit könnte der Vorgang wohl kaum gestört werden.

Für die Zeit $t_{\Delta Cs}$ muß die Energie $W_{\delta Cs}$ anstehen. Daher ist eine Leistung $P_{\Delta Cs}$ aufzuwenden:

$$P_{\Delta Cs} = W_{\delta Cs}/t_{\Delta Cs} = 7{,}5261 \cdot 10^{-4}\,\text{W} \qquad (23)$$

---

3. Versuch: (gescheitert, trotzdem lesenswert, da instruktiv)

✖ Der Autor wurde bei für ihn naheliegender Suche einer Einwirkmöglichkeit auf das Nuklid ^{133}Cs mit ca 9,2 GHz nicht beim V-Elro fündig. Obige Versuche, wie auch hier nicht vorgerechnete, zeigen, daß dann benötigte Energie (~Frequenz) viel zu hoch wäre. Ein zwangloser Blick in ***Tabelle 1***[24] machte klar, daß mit Protonen in Verbindung stehende Energien deutlich niedriger sind. Es erinnerte endlich daran: Es geht beim Nuklid ^{133}Cs um ein **Hyper**feinstrukturniveau, um den Kern betreffende Energiewerte.

	Zielbahn ($n_1 < n_2$), hier n_1=**1** H-Atom im **Grundzustand**		**Start**bahn ($n_2 > n_1$), hier n_2=**3** im **angeregten** Zustand	Differenz-Energie
Elektron-Torus-Bahnenergie ↔ ($W_{et}+W_{etw}$)	W_{ebt} 4,093 335 074 84·10⁻¹⁴ J	(9.3)	W_{ebt3} 4,093 528 6303·10⁻¹⁴ J 100,004 7286 % W_{ebt}	− 1,935 555 44·10⁻¹⁸ J
Elektron-Toroidenergie	W_{et} 3,418 832 6325·10⁻¹⁹ J	(5.16)	W_{et3} 3,798 783 9762·10⁻²⁰ J 11,111 3482 % W_{et}	3,038 954 23·10⁻¹⁹ J
Elektron-Tangential-Wulstenergie	W_{etw} 4,093 300 8865·10⁻¹⁴ J	(5.20)	W_{etw3} 4,093 524 8316·10⁻¹⁴ J 100,005 4710 % W_{etw}	− 2,239 450 87·10⁻¹⁸ J
Elektron-Axial-Wulstenergie ↔ Elektron-**Schalen-Bahnenergie**	W_{ew} 2,177 499 8727·10⁻¹⁸ J W_{ebs} 2,177 499 8727·10⁻¹⁸ J	(5.22) (9.4)	W_{ew3} 2,419 444 3030·10⁻¹⁹ J W_{ebs3} 11,111 1111 % W_{ew}	1,935 555 44·10⁻¹⁸ J
Elektron-M-Feldenergiesumme = $W_{et}+W_{etw}+W_{ew}=W_{em}=½W_0$	W_{eH} 4,093 552 825·10⁻¹⁴ J W_0 **8,187 105 65·10⁻¹⁴ J** [25]	(5.58)	W_{eH3} 4,093 552 825·10⁻¹⁴ J W_{03} **8,187 105 65·10⁻¹⁴ J**	**keine!** 0,000·10⁰ J **keine!** 0,000·10⁰ J
Proton-Tangential-Wulstenergie ↔ Proton-Torus-Bahnenergie	W_{ptw} 2,229 299 9560·10⁻¹⁷ J W_{pbt} 2,229 299 9560·10⁻¹⁷ J	(5.61) (9.12)	W_{ptw3} 2,229 405 3697·10⁻¹⁷ J W_{pbt3} 100,004 7286 % W_{ptw}	− 1,054 136 44·10⁻²¹ J
Proton-Axial-Wulstenergie ↔ Proton-**Schalen-Bahnenergie**	W_{pw} 1,185 903 4948·10⁻²¹ J W_{pbs} 1,185 903 4948·10⁻²¹ J	(5.63) (9.13)	W_{pw3} 1,317 670 5497·10⁻²² J W_{pbs3} 11,111 1111 % W_{pw}	1,054 136 44·10⁻²¹ J
Summen-**Proton**-M-Feldenergie ↔ Proton-Bahnenergie-Summe	W_{pH} 2,229 418 5464·10⁻¹⁷ J W_{pbo} 2,229 418 5464·10⁻¹⁷ J	(5.73) (9.14)	W_{pH3} 2,229 418 5464·10⁻¹⁷ J W_{pbo3} 100,000 0000 % W_{pH}	**keine!** 0,000·10⁰ J
Proton-Latent-E-Feldenergie	$W_{p0\ell}$ 7,532 137 1958·10⁻¹¹ J	(5.80)	$W_{p0\ell3}$ 7,532 137 1958·10⁻¹¹ J	**keine!** 0,000·10⁰ J
Proton-Latent-M-Feldenergie	$W_{pm\ell}$ 7,492 473 1822·10⁻¹¹ J	(5.81)	$W_{pm\ell3}$ 7,492 473 1822·10⁻¹¹ J	**keine!** 0,000·10⁰ J
Proton-Latent-Feldenergiesumme	$W_{p\ell}$ 1,502 461 0378·10⁻¹⁰ J	(5.82)	$W_{p\ell3}$ 1,502 461 0378·10⁻¹⁰ J	**keine!** 0,000·10⁰ J
Proton-Offen-E-Feldenergie	W_{p0o} 4,093 552 8250·10⁻¹⁴ J	(5.83)	W_{p0o3} 4,093 552 8250·10⁻¹⁴ J	**keine!** 0,000·10⁰ J
Proton-Offen-M-Feldenergie	W_{pmo} 4,071 996 2947·10⁻¹⁴ J	(5.84)	W_{pmo3} 4,071 996 2947·10⁻¹⁴ J	**keine!** 0,000·10⁰ J
Proton-Offen-Feldenergiesumme	W_{po} 8,165 549 1185·10⁻¹⁴ J	(5.85)	W_{po3} 8,165 549 1185·10⁻¹⁴ J	**keine!** 0,000·10⁰ J
Proton-Masse-Energie-Äquivalent	W_p **1,503 277 593·10⁻¹⁰ J** [25]	(5.88)	W_{p3} **1,503 277 593·10⁻¹⁰ J**	**keine!** 0,000·10⁰ J
Schalen-**Bahnenergie-Summe** = $W_{ebs}+W_{pbs}$	W_{bs} **2,178 685 7762·10⁻¹⁸ J**	(9.16)	W_{bs3} **2,420 761 9736·10⁻¹⁹ J** 11,111 1111 % W_{bs}	1,936 609 579·10⁻¹⁸ J
Energie-Summe W_0+W_p	1,504 096 3036·10⁻¹⁰ J		1,504 096 3036·10⁻¹⁰ J	**keine!** 0,000·10⁰ J
Energie-Bilanz $W_0+W_p-W_{bs}$	W_{H1} 1,504 096 2818·10⁻¹⁰ J	(11.1)	W_{H3} 1,504 096 3011·10⁻¹⁰ J	− 1,936 609 579·10⁻¹⁸ J
Energie-**Mangel** ≡ $W_{bs}=R_H$	R_{H1} 2,178 685 7762·10⁻¹⁸ J	(10.16)	R_{H3} 2,420 761 9736·10⁻¹⁹ J	1,936 609 579·10⁻¹⁸ J
An- oder (hier) Abregungs-/**Photon**energie			(10.18) $\Delta R_{H13}=W_{bs13}$	**1,936 609 579·10⁻¹⁸ J** 88,888 8889 % W_{bs}

In [17] hergeleitete Gleichungen.

Eigentlich errechnete bzw bekannte Werte wurden auf gezeigte Stellenzahl gekürzt.

Latente Energien markiert eine teilweise Unterstreichnung des Begriffs.

Werte aktualisiert mit CODATA Sept 2018

Tabelle 1 In ruhendem H-Atom verteilte Energien vor und nach einem Quantensprung (n_2=3 nach n_1=1)

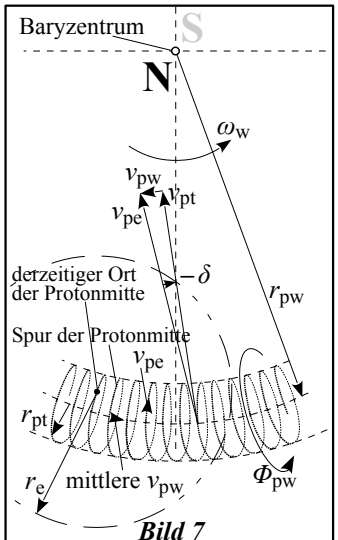

Bild 7
Protonbereich im H-Atom

Darstellungen in ***Bild 7*** sind gegenüber ***Bild 6*** ca 1.840 vergrößert, zueinander keineswegs maßstäblich.

Atome werden nicht nur durch Einfluß auf die Feinstruktur mit Energieübergabe ans Elro in „Spin-Bahn"-Kopplung angeregt, das Elro auf eine höhere Bahn angehoben. Möglich ist initiierter Quantensprung auch in „Spin-Spin"-Kopplung durch Einwirken auf den Kern, auf die **Hyper**feinstruktur. Eine Störung des Protonlaufs wirkt wegen *Coulomb*- und Magnetkraft zw Elro und Proton-Zentralpositron analog der Wirkung über Hebel ($r_{ew}+r_{pw}$) ebenso aufs Elro – Elro und Proton bewegen einander mit, sind aneinandergekoppelt. Aus ***Tabelle 1*** ist ersichtlich, daß sich ein Quantensprung auf Proton-Torus-Bahnenergie W_{pbt} (alias Proton-Tangential-Wulstenergie W_{ptw}) konträr zur Proton-Schalen-Bahnenenergie W_{pbs} (= -Axial-Wulstenergie W_{pw}) auswirkt – ihre (relativ geringen) Änderungen kompensieren einander: Wohin das Elro auch springen mag – die Proton-M-Feldenergiesumme W_p bleibt konstant: Schwächen eines Proton-Feldanteils stärkt durch Austausch den anderen.
In der „Atomuhr" CSF1 wird das Nuklid ^{133}Cs zu ballistischem Senkrechtflug veranlaßt. Während dessen stört Mikrowellenstrahlung der Energie $W_{\delta Cs}$ die Nuklid-Bahnen: Dadurch ändern V-Elro und gehebelt das ihm zuzuordnende Proton ihre Richtungen in ihrem Torus. Sie verbleiben also in bisheriger Bahnebene mit nun um $2\delta_{Cs}$ verschwenkter Richtung auf weiterhin helikalem Weg – im Zustand geändert von 6s¹ nach 6s².
Das drehte den ω_w-Umlauf um 180° mit der Konsequenz eines nun „umgeklappten" Dipolfelds.

■ (Bei Barium sind 6s¹- und 6s²-(ω_w-)Bahn identisch. Beide Elros umrunden diese gegensinnig und im Torus zueinander um π phasenverschoben. Daher hat Barium zeitgemittelt kein magnetisches Moment.)

Welchen Wert hat Radius r_{ewCs}, auf dem das V-Elro im Grundzustand des Nuklids ^{133}Cs kreist?
Von wo aus ändern sich W_{pbtCs} ($\triangleq W_{ptwCs}$) und W_{pbsCs} ($\triangleq W_{pwCs}$) kurzzeitig um $W_{\delta Cs}$?

Nach obigen Überlegungen könnte sich das Valenzelro der Schale 6s in einem Quasi-Quantenzustand „n_1" $\approx\sqrt{4{,}635}=2{,}153 \rightarrow 2 \ldots 3$ befinden. Dies enspricht obigem $r_{ACs}=½(m_A/\varrho_A)^{⅓} \approx r_{ewCs}=2{,}45\cdot10^{-10}$ m $\approx 4{,}635\,a_0$ und stimmt mit in der Literatur[26, 27] genannten Werten etwa überein: empirischer $2{,}60\cdot10^{-10}$ m, rechnerischer Atom- $2{,}98\cdot10^{-10}$ m, kovalenter[28] $2{,}44\cdot10^{-10}$ m und Metallradius $2{,}72\cdot10^{-10}$ m.

Wenn das Proton von seiner Bahn, der Schale 6s abweicht, soll davon ausgegangen werden, daß es kurz in den nächsthöheren ganzzahligen Quantenzustand gelangt mit n_2=abgerundet($\overleftarrow{„n_x“+1)}|_{\text{ganzzahlig}}$.

W_{pbs} nimmt mit steigender (Haupt-)Quantenzahl n um $1/n^2$ ab.[29] Das V-Elro des ^{133}Cs könnte somit in den Quasi-Quantenzustand „n_x“ angehoben sein:

$$W_{pwn} \leftrightarrow W_{pbsn} = \tfrac{1}{2} m_{p0} \cdot {}^{\varnothing}v_{pwn}^2 = \tfrac{1}{2} m_{p0} \frac{{}^{\varnothing}v_{pw}^2}{n^2} = \frac{W_{pw}}{n^2} = \frac{W_{pbs}}{n^2} \qquad W_{pw(\overleftarrow{n+1})} = \frac{W_{pbs}}{(\overleftarrow{„n_x“+1})^2} \qquad (24)\ (25)$$

folglich
$$W_{\delta Cs} = \frac{W_{pbs}}{„n_x“^2} - \frac{W_{pbs}}{(\overleftarrow{„n_x“+1})^2} = W_{pbs}\left(\frac{1}{„n_x“^2} - \frac{1}{(\overleftarrow{„n_x“+1})^2}\right) \qquad (26)$$

Sukzessive Approximation berechnet mit $W_{\delta Cs}$=6,091 102 196·10^{-24} J und W_{pbs}=1,185 903 4124·10^{-21} J für „n_x“=6,256 796 01.(**?**) Bei um 1 erhöhter Quantenzahl <u>ohne zu runden</u>, beträgt „n_x“=6,825 095 4379! Die mit (26) taxierten Ergebnisse gefallen nicht. Gegenüber oben genannten Werten wäre ein daraus resultierender Elro-Wulstradius[30] r_{ewCs}= 2,0716·10^{-9} ... 2,4650·10^{-9}m eine Größenordnung ***zu hoch***.

---

4. <u>Versuch:</u> (gescheitert, trotzdem lesenswert, da instruktiv)

✖ Cäsium hat ein magnetisches Moment μ_{Cs} = 1,732 μ_B[31] = − 1,606 258 53 ·10^{-23} m² · A. Ein Proton-Magneton μ_{pw} ist gegenüber μ_{ew} des Elros bei Abschätzungen vernachlässigbar – es ist nur <10$^{-6}\mu_{ew}$.[32] Daher kann für μ_{Cs} vom Produkt

$$\mu_{Cs} = \pi \cdot r_{ewCs}^2 \cdot e_0 \cdot f_{wCs} \qquad (27)$$

ausgegangen werden.

Der in der Literatur[36] genannte *berechnete* Radius r_{berH}=5,3·10^{-11} m eines ungebundenen Wasserstoff-Atoms ist am ehesten dem Elro-Wulstradius r_{ewH}=5,291 631 2153·10^{-11} m
oder auch *Bohr*schen Radius a_0=5,291 772 1067·10^{-11} m zuzuordnen.

Ein für Cäsium genannter *berechneter* Radius r_{berCs}=2,98·10^{-10} m kann daher bei Berechnungen als V-Elro-Umlaufradius, als Elro-Wulstradius r_{ewCs4} =2,98·10^{-10} m betrachtet werden.

Mit einem solchen ergibt dies f_{wCs4}=3,593 54·10^{14} Hz und

$$v_{ewCs4} = 2\pi \cdot r_{ewCs4} \cdot f_{wCs4} = 6{,}728\,51 \cdot 10^5\ \text{m/s}. \qquad (28)$$

Damit findet sich
$$v_{etCs4} = \sqrt{c^2 - v_{ewCs4}^2} = 299\,791\,702{,}93\ \text{m/s} \qquad (29)$$

und folglich Toruswinkel
$$\delta_{Cs4} = \arcsin(v_{ewCs4}/c) = 0{,}128\,59\,° \qquad (30)$$

Dieser besteht gespiegelt über die „Hantel“ (r_{ewCs}+r_{pwCs}) auch zwischen den Protoneilen. Es gilt für

Proton-Wulstradius[33]
$$r_{pwCs4} = r_{ewCs4} \cdot m_{e0}/m_{p0} = 1{,}622\,96 \cdot 10^{-13}\ \text{m} \qquad (31)$$

und daher für Proton-Umlaufeile
$$v_{pwCs4} = 2\pi \cdot r_{pwCs4} \cdot f_{wCs4} = 366{,}446\ \text{m/s} \qquad (32)$$

Da nun v_{pwCs} : v_{peCs}=v_{ewCs} : c, ergibt elrobedingte Protoneile v_{peCs4}:

$$v_{peCs4} = v_{pwCs4} \cdot c/v_{ewCs4} = 1{,}632\,720\,76 \cdot 10^5\ \text{m/s} \qquad (33)$$

und letztlich Proton-Torus-Umlaufeile
$$v_{ptCs4} = \sqrt{v_{peCs4}^2 - v_{pwCs4}^2} = 1{,}632\,716\,64 \cdot 10^5\ \text{m/s} \qquad (34)$$

Daraus ergibt sich Proton-Torus-Bahnenergie[34] W_{pbtCs4}:

$$W_{pbtCs4} = \tfrac{1}{2} m_{p0} \cdot v_{ptCs4}^2 = 2{,}229\,407\,316 \cdot 10^{-17}\ \text{J} \qquad (35)$$

Wäre δ_{Cs4}=0, <u>dann</u> wäre v_{ptCs4}=v_{peCs4} und

$$W_{pbtCs4}|_{\delta_{Cs4}=0} = W_{pbeCs4} = \tfrac{1}{2} m_{p0} \cdot v_{peCs4}^2 = 2{,}229\,418\,546 \cdot 10^{-17}\ \text{J} \qquad (36)$$

Um den Protonlauf so zu stören, daß sich der Toruswinkel von δ_{Cs4} nach $-\delta_{Cs4}$ oder umgekehrt ändert, muß in „Spin-Spin“-Kopplung auf die Hyperfeinstruktur, auf das Proton eine Energie einwirken, die den Torusumlauf mindestens bis zum Kipppunkt δ_{Cs4} = 0 bringt. Diese ergibt sich aus der Differenz $W_{pbeCs4} - W_{pbtCs4}$=1,123 020 75·10^{-22} J und ist gleich groß wie die mit (24) berechenbare Proton-Axial-Wulstenergie W_{pwCs4}=½m_{p0}·v_{pwCs4}^2=1,123 020 75·10^{-22} J.

Freilich wird geringere Energie benötigt, wenn auf das Nuklid radial in ω_{wCs4}-Ebene lotrecht zur Dipolachse eingewirkt wird. Dies erfordert wegen Keilwirkung für den ersten „Stoß“ nur eine Energie W_{pKCs4}:

$$W_{pKCs4} = W_{pwCs4} \cdot \sin\delta_{Cs4} = 2{,}520\,495\,153 \cdot 10^{-25}\ \text{J} = {}^1/_{18{,}4371}\, W_{\delta Cs4} \qquad (37)$$

und für alle weiteren Stöße wegen sukzessiv abnehmendem Toruswinkel (sinkendem $\sin\delta_{Cs3}$) weniger. Elementarfrequenz f_e=1,235 589 965·10^{20} Hz ist gegenüber f_{wCs4}=3,593 54·10^{14} Hz das ca 343.836fache

und die Periode T_{wCs4}=2,7828·10^{-15} s. In der effektiven Wechselwirkungzeit[35] t_{Ww}≈0,6 s zwischen zwei Mikrowellenbestrahlungen sind demnach bis zu $\#_{Ww4}=t_{Ww}/T_{wCs4}>2\cdot10^{14}$ Wechselwirkungen möglich. Um mit >18 W_{pKCs4} auf $W_{\delta Cs4}$ zu akkumulieren (unter günstigsten Voraussetzungen innerhalb <7·10^{-14} s), werden sich bis zum „Kulminationspunkt“ ausreichend Gelegenheiten bieten, wenn von theoretisch 2·10^{14} Chancen auch sehr viele nicht die idealen Bedingungen, wie etwa gleichzeitig passende Phasenlage von f_e und f_{wnCs4}, erfüllen werden. „Überschüssiges“ Einwirken wird δ_{Cs4} nicht etwa vergrößern, sondern den Erhalt des ^{133}Cs im Zustand 6s^2 sichern und Rückfallen in Zustand 6s^1 während der Zeit verhindern, weil nur bei gleichzeitigem Eintritt obiger Werte von μ_{Cs} und r_{ewCs4} ein stabiler Zustand erreicht ist. Gemäß dem für r_{ewCs4} angesetzten Wert kurvt das Elro in Schale 6s auf einem Radius 5,631a_0.
Aber, es summierte sich die für den Toruswinkelkipp aufgebrachte Energie W_{pwCs4}=1,123 020 75·10^{-22} J. Beim jähen Überklappen von $\delta_{Cs4}=0$ nach $\delta_{Cs4}=-\delta_{Cs4}$ wird diese frei. Damit verbundener abrupter Richtungswechsel des Elros (mit c) erzeugt instantan ein gestrahltes nichtelementares Magnetfeld, das fortwährend harmonisch in ein Elektrofeld und zurück übergeht, folglich als Photon abgestrahlt wird. Doch dessen Frequenz beträgt nicht $f_{\delta Cs}$=9.192.631.770 Hz, sondern $f_{pwCs4}=W_{pwCs4}/h$=169,485 192 GHz! Mit angenommenen Anfangswerten magnetisches Moment μ_{Cs}=−1,606 258 53·10^{-23} m²·A und <u>vager</u> Elro-Wulstradius r_{ewCs4}=2,98·10^{-10} m (≙ etwa äußerem Atomradius r_A) berechnen sich obige (bewußt auf wenige Stellen gekürzte) Resultate. Sollte obiges Argumentieren als logisch empfunden werden, folgt daraus leider **keine Lösung**, da angenommenes Energie-Akkumulieren zwar erforderliche Energie theoretisch anhäufte, doch Abstrahlen geschähe mit **vervielfachter** Frequenz – eine falsche Erwartung!

---

5. <u>Versuch:</u> (gelungen, auch ein blindes Huhn ...)

● Im Vertrauen auf Literatur entnommener und interpretierter Werte wurde in den Versuchen 1 ... 4 keine Lösung gefunden. Da das magnetische Moment von ^{133}Cs vermutlich recht genau ermittelt ist, soll darauf vertrauend ein weiterer Versuch unternommen werden. Berechnete und andere Atomradien (welche auch immer) werden dabei hingegen ignoriert.

Das magnetische Moment μ_{Cs} von ^{133}Cs ist nach (27) ein Produkt:

$$\mu_{Cs}=\pi\cdot r_{ewCs}^2\cdot e_0\cdot f_{wCs} \tag{27}$$

und für v_{ewCs5} gilt gemäß (28):

$$v_{ewCs5}=2\pi\cdot r_{ewCs5}\cdot f_{wCs5} \tag{28}$$

Ferner kann für die spezifische Atomuhr-Energie $W_{\delta Cs}$ folgende Beziehung aufgestellt werden:

$$W_{\delta Cs}=h\cdot f_{\delta Cs}=W_{pbeCs5}-W_{pbtCs5}=\tfrac{1}{2}m_{p0}(v_{peCs5}^2-v_{ptCs5}^2) \tag{38}$$

und daraus:

$$v_{peCs5}^2-v_{ptCs5}^2=v_{pwCs5}^2=\frac{2h\cdot f_{\delta Cs}}{m_{p0}}=(2\pi\cdot r_{pwCs5}\cdot f_{wCs5})^2=(2\pi\cdot r_{ewCs5}\frac{m_{e0}}{m_{p0}}f_{wCs5})^2 \tag{39}$$

Aus (27) bzw (31) mit (32) ergibt sich für Elro-Umlaufeile v_{ewCs5}:

$$v_{ewCs5}=\frac{2\mu_{Cs}}{e_0\cdot r_{ewCs5}}=v_{pwCs5}\frac{m_{p0}}{m_{e0}} \tag{40}$$

Unter Einbeziehung von (39) erhält man:

$$\frac{2\mu_{Cs}}{e_0}=r_{ewCs5}\cdot v_{pwCs5}\frac{m_{p0}}{m_{e0}}=r_{ewCs5}\sqrt{\frac{2h\cdot f_{\delta Cs}}{m_{p0}}}\frac{m_{p0}}{m_{e0}} \tag{41}$$

und somit für r_{ewCs5} letztlich (vergleiche den hohen Wert mit in Literatur genannten Radien!):

$$r_{ewCs5}=\frac{2\mu_{Cs}}{e_0}\cdot\frac{m_{p0}}{m_{e0}}\sqrt{\frac{m_{p0}}{2h\cdot f_{\delta Cs}}}=1{,}279\,565\cdot10^{-9}\,\text{m}=24{,}18a_0 \tag{42}$$
$$\triangleq\text{„}n_5\text{“}=4{,}9173$$

Mit (27) wird Kernumlauf-Frequenz f_{wCs5}:

$$f_{wCs5}=\frac{\mu_{Cs}}{\pi\cdot r_{ewCs5}^2\cdot e_0}=1{,}9491\cdot10^{13}\,\text{Hz} \tag{43}$$

und mit Blick auf (28) Elro-Kernumlaufeile:

$$v_{ewCs5}=2\pi\cdot r_{ewCs5}\cdot f_{wCs5}=1{,}567\,01\cdot10^5\,\text{m/s} \tag{44}$$

sowie mit (31) Proton-Umlaufradius r_{pwCs5}:

$$r_{pwCs5}=r_{ewCs5}\cdot m_{e0}/m_{p0}=6{,}968\,73\cdot10^{-13}\,\text{m} \tag{45}$$

Ferner mit (32) Proton-Umlaufeile v_{pwCs5}:

$$v_{pwCs5}=2\pi\cdot r_{pwCs5}\cdot f_{wCs5}=85{,}342\,\text{m/s} \tag{46}$$

und außerdem mit (33) Proton-Toruseile:

$$v_{peCs5}=v_{pwCs5}\cdot c/v_{ewCs5}=1{,}632\,720\,76\cdot10^5\,\text{m/s} \tag{47}$$

Somit mit (34) Proton-Tangentialeile:

$$v_{ptCs5}=\sqrt{v_{peCs5}^2-v_{pwCs5}^2}=1{,}632\,720\,53\cdot10^5\,\text{m/s} \tag{48}$$

und daher Proton-Torus-Bahnenergie – (35):

$$W_{pbtCs5}=\tfrac{1}{2}m_{p0}\cdot v_{ptCs5}^2=2{,}229\,4179\cdot10^{-17}\,\text{J} \tag{49}$$

und andererseits – (36): $W_{\mathrm{pbeCs5}} = ½ m_{\mathrm{p0}} \cdot v_{\mathrm{peCs5}}^2 \quad = 2{,}229\,418\,545 \cdot 10^{-17}\,\mathrm{J}$ (50)

Nun ergibt die Probe mit (38) für die spezifische Atomuhr-Mikrowellen-Energie $W_{\delta\,\mathrm{Cs}}$:

$$W_{\delta\,\mathrm{Cs}} = W_{\mathrm{pbeCs5}} - W_{\mathrm{pbtCs5}} = ½ m_{\mathrm{p0}} (v_{\mathrm{peCs5}}^2 - v_{\mathrm{ptCs5}}^2) \quad = 6{,}091\,102\,199\underline{6} \cdot 10^{-24}\,\mathrm{J} \quad (51)$$

Vom langen Rechengang war kein exaktes Ergebnis $W_{\delta\,\mathrm{Cs}} = 6{,}091\,102\,19\underline{6} \cdot 10^{-24}$ J zu erwarten. Dafür stimmt es gut überein. Rückrechnen ergibt $f_{\delta\,\mathrm{Cs5}} = 9.192.631.77\underline{5{,}44}$ Hz und nicht genau 9.192.631.77$\underline{0}$ Hz. Von *Planck*-Konstante $h = 6{,}626\,070\,040(81) \cdot 10^{-34}$ s·J die Unsicherheit bis $6{,}626\,070\,040\,\underline{57} \cdot 10^{-34}$ s·J und von Proton-Masse $m_{\mathrm{p0}} = 1{,}672\,621\,898(21) \cdot 10^{-27}$ kg bis $1{,}672\,621\,898\,\underline{34} \cdot 10^{-27}$ kg genutzt, beseitigt die Abweichungen erfreulicherweise total.
μ_{Cs} iterativ geändert, variiert zwar die mit (42) bis (45) berechneten Werte, nicht aber die von (46) bis (51). Setzt man die Beziehungen von (42) bis (45) in (46) und (47) ein, ergibt dies:

$$v_{\mathrm{pwCs(5)}} = \sqrt{\frac{2h \cdot f_{\delta\,\mathrm{Cs}}}{m_{\mathrm{p0}}}} \qquad v_{\mathrm{pe(Cs5)}} = \frac{m_{\mathrm{e0}}}{m_{\mathrm{p0}}} c \qquad (52)\ (53)$$

Somit sind mit (46) und (47) erhaltene Werte sowie alle folgenden (neben von „Konstanten“) allein von der charakteristischen Frequenz $f_{\delta\,\mathrm{Cs}}$ abhängig. Bemerkenswert ist, daß die elrobedingte Protoneile v_{pe} und somit Proton-Magnetfeldenergie-Summe $W_{\mathrm{pbe}} = W_{\mathrm{pH}}$ (siehe ***Tabelle 1***) davon gänzlich unabhängig sind, in welcher Schale sich das dem Proton zuzurechnende Elro bewegt – überhaupt frei von der Atomart.

In ballistischem Flug befindliche Nuklide ^{133}Cs werden von einem magnetischen Mikrowellenfeld der Frequenz 9.192.631.770 Hz in einem Hohlraumresonator an „schwächster Stelle“, dem zum V-Elro zuzurechnenden Proton im Bewegungsablauf gestört. Das vom V-Elro mitbewegte Proton erfährt eine Richtungsänderung um Winkel $\delta_{\mathrm{Cs5}} = \arcsin(v_{\mathrm{ewCs5}}/c) = 0{,}03\,°$, was sich über die „Hantel“ ($r_{\mathrm{ew}} + r_{\mathrm{pw}}$) auf das V-Elro überträgt. Für einen Moment beenden Proton und Elro ihren Baryzentrum-Umlauf und befinden sich nun in labiler Lage. Daher runden sie sofort weiter in ω_{w}-Ebene, jetzt auf dem Torus im Winkel $-\delta_{\mathrm{Cs5}}$. Die Rotation ums Baryzentrum kehrte sich dadurch um, das Dipolfeld ist gegenüber vorher konträr. Die Mikrowelle hatte das Proton nur kurz „mitgerissen“ und „fliegt weiter“.
Das bewegte Proton wird in / an seinem Magnetfeld durch das Magnetfeld der Mikrowelle beeinflußt. Dazu müssen die harmonischen Vorgänge mit f_{e}, f_{w} und $f_{\delta\,\mathrm{Cs}}$ augenblicklich in Phase sein.
Zum Stören des Protonlaufs werden exakt $W_{\delta\,\mathrm{Cs}} = 6{,}091\,102\,1996 \cdot 10^{-24}$ J benötigt. Deshalb muß die adäquate Mikrowellen-Frequenz genau 9.192.631.770 Hz betragen. Diese ausgezählt, ist das Maß der Normalzeit. Nach Frequenzteilung und Ergänzung um bspw Datumsangabe, wird die Information über den Langwellen-Zeitzeichensender DCF77 mit Frequenz 77,5 kHz von Station Mainflingen verbreitet.

Zunächst wird Cäsium in einem Ofen verdampft und in einem Vakuumtank zu einem Atomstrahl gebündelt. Die Atome befinden sich dann in einem der beiden tiefstmöglichen Energiezustände, die Cäsium einnehmen kann. Anschließend werden die Atome magnetisch sortier (*Stern / Gerlach* lassen grüßen), so daß nur eine Sorte in einen Hohlraumresonator gelangt. Hier herrscht ein magnetisches Mikrowellenfeld, in dem die Atome mit gewisser Wahrscheinlichkeit ihren Zustand wechseln. Die Atome, die ihren Zustand gewechselt haben, werden sortiert und registriert. Ihre Anzahl hängt von der Frequenz des Mikrowellenfelds ab. Sie wird so eingestellt, daß möglichst viele Atome registriert werden. Unter dieser Bedingung ist 1 Sekunde nach genau 9.192.631.770 Perioden des Mikrowellenfelds verstrichen. Um die Genauigkeit wesentlich zu erhöhen, werden thermisch abgebremste Cäsium-Atome genutzt. Diese werden in Cäsium-Fontänen auf ca 10^{-6} K abgekühlt. Dadurch bewegen sie sich nur ca 1 cm/1 s. Cäsium-Fontäne bedeutet, daß die verlangsamten Atome mit einem Laser nach oben getrieben werden und eine ballistische Flugbahn durchlaufen. Das verlängert die effektive Wechselwirkungsdauer der Atome mit den eingestrahlten Mikrowellen auf ca 0,6 s.[37, 38]

Ein langer Weg – auch fehlgelaufener Ansätze – fand hiermit ins Ziel.
Für Atomuhren bestehende Beziehungen sind damit verständlich aufgezeigt und begründet.

Kiel, 30. Nov 2018
Fassung b / 13.3.19

www.elektron.wiki
hwm.k@online.de
schwingf strukt_b.pdf

hans wm Körber fb ● elementar-analytiker

»Das sind die Weisen, die durch Irrtum zur Wahrheit reisen.
Die beim Irrtum verharren, das sind die Narren.«
Friedrich Rückert (1788 - 1866), alias Freimund Raimar,
deutscher Dichter, Lyriker und Übersetzer arabischer, hebräischer, indischer und chinesischer Dichtung

Quellen

Arbeiten des Verfassers sind auf seiner Netzseite www.elektron.wiki **aus Rubrik „**Veroeffentlichungen**“ abrufbar.**

[1] ***hwmk***: *ELEKTRONEN-Bewegungen* Teil 1, 2., überarbeitete und erweiterte Auflage, 107 S: Edition SAPIENTIA, pro literatur Verlag, Augsburg (2009), 13x22 cm², ISBN 978-3-86611-438-8, S 14 – vergriffen, aus Restbestand des Autors erhältlich

[2] ***hwmk***: *Spin oder nicht Spin, das ist hier die Frage – u über andere Ungereimtheiten*. 5-S-Aufs (2018), *Bild 1* Spin_a.pdf

[3] ***hwmk***: *Elektron-Atomumlaufgeschwindigkeit*, 3-S-Aufsatz (2016), ElektronUmlauf.pdf

[4] ***hwmk***: *Erfolgreiche Suche der Ursache kontinuierlichen Lichtspektrums*, 10-S-Aufsatz (2018), kontin spektrum_b.pdf

[5] ***hwmk***: *Was ist ein Photon?* 3-S-Aufsatz in DIN A4 nach einem DIN-A0-Plakat (2017), Bremen17MP20-Photon_A4_c.pdf

[6] in [5] S 7

[7] ***Dieter Meschede***: *Gehrtsen Physik,* 24. überarb Aufl, Springer Heidelberg Dordrecht London NewYork (2010), S 878

[8] ***Kurt Leucht***: *Die elektrischen Grundlagen der Radiotechnik*, 2. und 3. Auflage, Franzis-Verlag München (1957), S 148

[9] https://de.wikipedia.org/wiki/Schwingquarz

[10] ***Peter Kurzweil***: *Das Vieweg Formellexikon*, 1. Aufl, Fredr. Vieweg & Sohn Verlagsges, Braunschweig (2002), S 229

[11] https://de.wikipedia.org/wiki/Metronom

[12] https://de.wikipedia.org/wiki/Pendeluhr

[13] https://de.wikipedia.org/wiki/Sekunde

[14] https://www.svz.de/deutschland-welt/panorama/die-sekunde-wird-50-id18001141.html

[15] ***hwmk***: *Läßt sich die Lenzsche Regel einschränken, gar umgeben?* 38-S-Aufsatz (2017), S 12 Lenz-Regel_c.pdf

[16] in [10] S 9

[17] ***hwmk***: *Beziehungen im atomaren Wasserstoff (Protium) – ...* , 53-S-Aufsatz (2013), S 27f beziehungen im atomaren H-k.pdf

[18] in [17] hergeleitete Gleichung (10.16)

[19] ***hwmk***: *Erfolgreiche Suche der Ursache kontinuierl Lichtspektrums*, 10-S-Aufs (2018), Gleichg (9) kontin spektrum_b.pdf

[20] in [15] Gleichg (1.4)

[21] in [20] hergeleitete Gleichung (1.15)

[22] in [20] hergeleitete Gleichung (1.16)

[23] in [17] hergeleitete Gleichung (9.5)

[24] in [17] S 30 entnommene *Tabelle 1*

[25] ***CODATA*** *Internationally Recommended 2014 Values of the Fundamental Physical Constants*, auf Stand Sept 2015 https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/pml/div684/fcdc/wall2014.pdf

[26] http://www.periodensystem.info/elemente/caesiumn

[27] https://de.wikipedia.org/wiki/Atomradius

[28] http://www.biologie-schule.de/kovalenter-radius.php

[29] in [17] hergeleitete Gleichung (10.36)

[30] in [17] hergeleitete Gleichung (10.13) angewandt

[31] https://www.spektrum.de/lexikon/physik/caesium/2144

[32] in [17] hergeleitete Gleichung (6.7)

[33] in [17] hergeleitete Gleichung (10.26)

[34] in [17] hergeleitete Gleichung (10.35)

[35] in [PT] S 24

[36] https://www.internetchemie.info/chemische-elemente/atomradien.php

[37] https://herrenuhren24.net/atomuhr/

[38] https://www.spektrum.de/frage/wie-funktioniert-eine-atomuhr/590812

[PT] https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/fachabteilungen/abteilung_4/4.4_zeit_und_frequenz/pdf/2016_PTB-Mitteilungen_Heft_2_Sekunde.pdf (Fachaufsatz *Wie tickt eine Atomuhr?*)
oder auch anschaulicher:
https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/fachabteilungen/abteilung_4/Wie_funktioniert_eine_Atomuhr_new.pdf

Anmerkung:
In der Literatur genannte diverse Radienwerte sind möglicherweise sich gemittelt ergebende effektive Radien aller Schalen, insbesondere vollbesetzter Schalen und ggf die Valenzschale ignorierend.