CCP ph 2018

1-4) $\vec{F} = -\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\vec{\boldsymbol{u}}_r = m\vec{a} = -m\frac{v^2}{r} \rightarrow v = \frac{e}{\sqrt{4\pi\varepsilon_0 mr}}$ $\quad \vec{F} = -\frac{d\mathcal{E}_p}{dr}\vec{u}_r \rightarrow \mathcal{E}_p = -\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r}$ $\quad L = \boldsymbol{e}\sqrt{\frac{mr}{4\pi\varepsilon_0}}$

5-8) $a_B = \frac{4\pi\varepsilon_0\hbar^2}{me^2} = \mathbf{52,919\ pm}$ C'est le rayon de l'orbite de plus basse énergie $(n = 1 \rightarrow 1s^1)$

$R_y = \frac{me^4}{32\pi^2\varepsilon_0^2\hbar^2} = \mathbf{13,606\ eV}$ Puis $\boldsymbol{v_n} = \frac{1}{n}\sqrt{\frac{2R_y}{m}}$ et $\boldsymbol{v_1 = 2,2.10^6\ m.s^{-1} \ll c}$ **Non relativiste**

9-11) $\Delta\boldsymbol{\kappa} + \frac{2m}{\hbar^2}(\boldsymbol{\mathcal{E} - \mathcal{E}_p})\boldsymbol{\kappa} = \mathbf{0}$ Avec $\mathcal{E} - \mathcal{E}_p = -\frac{\mathcal{E}_p}{2} \rightarrow \frac{d^2\kappa}{d\theta^2} + \frac{mRe^2}{4\pi\varepsilon_0\hbar^2}\kappa(\theta) = 0 \rightarrow \boldsymbol{\kappa(\theta) = Ae^{i\eta\theta} + Be^{-i\eta\theta}}$

12) $\eta\theta + 2\pi\eta = \eta\theta\ [2\pi] \rightarrow \eta = 0\ [1] \rightarrow$ $\boldsymbol{\eta}$ **est entier** $\quad \boldsymbol{R_\eta = \eta^2 a_B}$ $\quad \boldsymbol{\mathcal{E}_\eta = -\frac{R_y}{\eta^2}}$

Le modèle de Bohr est confirmé.

13) $\mathcal{E}_{photon} = \mathcal{E}_{sup} - \mathcal{E}_{inf} \rightarrow \frac{hc}{\lambda_{nn'}} = R_y\left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2}\right) \rightarrow \boldsymbol{R_H = \frac{R_y}{hc} = 1,0974.10^7\ m^{-1}}$

14) $\lambda_{Ritz}(H_\alpha) = \mathbf{656,1\ nm}$ $\lambda_{Ritz}(H_\beta) = \mathbf{486,0\ nm}$ $\lambda_{Ritz}(H_\gamma) = \mathbf{433,9\ nm}$ $\lambda_{Ritz}(H_\delta) = \mathbf{410,0\ nm}$

Les intervalles d'incertitudes expérimentales **englobent** les valeurs de Ritz.

15 & 16) $v_n = \frac{1}{n}\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0\hbar} \rightarrow \boldsymbol{\alpha = \frac{v_1}{c} = 7,2974.10^{-3}} \rightarrow \frac{1}{\alpha} = 137{,}03$

17) Les deux formules sont cohérentes vue la petitesse de α.

Pour $n = 2$, $l \in \{0\,;1\} \rightarrow$ **2** sous-niveaux $\qquad$ Pour $n = 3$, $l \in \{0\,;1\,;2\} \rightarrow$ **3** sous-niveaux

18) On reconnait de bas en haut $\mathcal{E}_{20} < \mathcal{E}_{21} < \mathcal{E}_{30} < \mathcal{E}_{31} < \mathcal{E}_{32} < 0$ $\quad \Delta\mathcal{E}_f = \frac{\alpha^2 R_y}{16} = \mathbf{4,5284.10^{-5}\ eV}$

19) $\Delta\sigma = \frac{1}{hc}(\Delta\mathcal{E}_{fa} - \Delta\mathcal{E}_{fb}) = \frac{1}{hc}(\mathcal{E}_{31} - \mathcal{E}_{20} - \mathcal{E}_{31} + \mathcal{E}_{21}) = \boldsymbol{\frac{\Delta\mathcal{E}_f}{hc} = 0,36525\ cm^{-1}}$

20) $\lambda_m = 656{,}28\ nm \rightarrow$ **Rouge** $\qquad \frac{\Delta\sigma_{exp}}{\sigma_m} = \mathbf{2,36.10^{-5}} \ll 2\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2} = \mathbf{1,02.10^{-3}}$

Le doublet de la raie H_α est beaucoup plus difficile à observer.

21-23) Le groupe L_s est constituée de deux lames parallèles, la **séparatrice** à fort pouvoir de réflexion (50 %) et la **compensatrice de même indice et de même largeur** mais non réfléchissante.
La compensatrice est placée du côté de la face semi-réfléchissante de la séparatrice.
Ainsi, le nombre de traversées de lame (5) est identique pour chacune des ondes qui interfèrent.
On se reportera au cours pour les schémas explicatifs …

24 & 25) Les franges **d'égale inclinaison** sont **circulaires concentriques.** $\qquad \boldsymbol{\delta(C) = 2e}$

26-28) $\boldsymbol{p_1 = \delta\sigma_1}$ et $\boldsymbol{p_2 = \delta\sigma_2}$ Il y a brouillage si $\boldsymbol{p_1 - p_2}$ **est un demi-entier** ($\delta\Delta\sigma$ demi-entier).
Entre deux brouillages, $p_1 - p_2$ varie de 1 (tout comme $\delta\Delta\sigma$) : $\boldsymbol{D_\delta = \frac{1}{\Delta\sigma}}$ On parle alors **d'anti-coïncidence.**

Dans le cas du doublet H_α , $\boldsymbol{D_e = \frac{1}{2\Delta\sigma_{exp}} = 1,39\ cm}$ et $\frac{L_0}{160} = 5D_e \rightarrow \boldsymbol{L_0 = 11,1\ m}$

29) La longueur d'un bras est la moitié de la distance à parcourir entre deux passages à travers la lame séparatrice. Ici, entre deux passages à travers la lame séparatrice, la lumière parcourt 15 fois la diagonale.
La longueur d'un bras est donc 7,5 fois plus grande que la diagonale : $\boldsymbol{L_0 \sim 7,5 * \sqrt{2} * 1 = 11\ m}$

30 & 31) $\vec{\boldsymbol{L}} = \boldsymbol{mrv\vec{u}_z}$ Le proton tourne dans le même sens : $\vec{B} = \frac{\mu_0}{2r}\frac{e}{T}\vec{u}_z = \frac{\mu_0 e}{2r}\frac{v}{2\pi r}\vec{u}_z = \boldsymbol{\frac{\mu_0 ev}{4\pi r^2}\vec{u}_z} = \boldsymbol{\frac{\mu_0 e}{4\pi m r^3}\vec{L}}$

32) $\mathcal{E}_{so} = -g_e\gamma_e \frac{\mu_0 e}{4\pi m r^3}\vec{L}.\vec{S} = g_e\gamma_e\left(-\frac{e}{2m}\right)\frac{\mu_0}{2\pi r^3}\vec{L}.\vec{S} = g_e\gamma_e^2\frac{\mu_0}{2\pi r^3}\vec{L}.\vec{S} = \boldsymbol{g_e\alpha^2 R_y \frac{a_B^3}{\hbar^2 r^3}\vec{L}.\vec{S}}$

33) L'expérience de **Stern & Gerlach** a mis en évidence l'existence du moment magnétique de spin et sa quantification. Par la suite, elle prouva également la quantification du moment magnétique orbital. Un jet **d'atome d'argent** était envoyé dans l'entrefer d'un électro-aimant où régnait un champ magnétique **non uniforme**. La force de Laplace $(\vec{\mu}.\overrightarrow{grad})\vec{B}$ déviait le faisceau, il en résultait des **impacts distincts** sur l'écran, preuve de la quantification de $\vec{\mu}$.

34) Le rayon r n'est pas certain, l'intégrale représente la valeur **moyenne de** $\boldsymbol{\frac{a_B^3}{r^3}}$. Voici son expression pour $n = 2$ et $l = 1$: $\int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\pi} \sin^3\theta\, d\theta \int_0^{\infty} \frac{r}{64\pi a_B^2}\exp\left(-\frac{r}{a_B}\right) dr = 2\pi * \frac{4}{3} * \frac{1}{64\pi} = \boldsymbol{\frac{1}{24}}$

35) Etat $\left(\boldsymbol{2,0,\frac{1}{2}}\right)$: $\boldsymbol{\mathcal{E}_{so} = 0}$ Etat $\left(\boldsymbol{2,1,\frac{1}{2}}\right)$: $\boldsymbol{\mathcal{E}_{so} = -\frac{1}{24}g_e\alpha^2 R_y}$ Etat $\left(\boldsymbol{2,1,\frac{3}{2}}\right)$: $\boldsymbol{\mathcal{E}_{so} = \frac{1}{48}g_e\alpha^2 R_y}$
$\Delta\mathcal{E}_{so,n=2} = \boldsymbol{\frac{1}{16}g_e\alpha^2 R_y} \rightarrow \Delta\mathcal{E}_{so,n=2}^{Thomas} = \boldsymbol{\frac{1}{16}\alpha^2 R_y}$ Expression compatible avec la formule de Sommerfeld
L'écart entre les valeurs extrêmes est le même mais l'introduction du spin engendre un troisième niveau.

36) La fréquence de 1420 MHz correspond bien à la longueur d'onde de 21,1 cm $\left(\boldsymbol{\lambda = \frac{c}{f}}\right)$.
Les nuages se comportent vis-à-vis des ondes électromagnétiques comme un **passe-haut** (plasma).
A cette fréquence trop faible, les ondes ne se propagent pas (évanescence) et sont donc réfléchies sans grande atténuation. $\Delta\mathcal{E}_{hf\ exp} = \boldsymbol{5,9.10^{-6}\ eV}$

37) L'unité du moment magnétique est $\boldsymbol{A.m^2}$ $(J.T^{-1})$ $\mu_B = \boldsymbol{9,3.10^{-24}\,A.m^2}$ $\mu_N = \boldsymbol{1,4.10^{-26}\,A.m^2}$

38) L'énergie d'un dipôle $\vec{\mu}$ dans un champ extérieur $\vec{B}$ est $\mathcal{E} = -\vec{\mu}.\vec{B}$
Selon la disposition, $\mathcal{E} = \pm\frac{\mu_0\mu_B\mu_N}{4\pi a_B^3}$ $\left(\theta = \frac{\pi}{2}\right)$ donc $\Delta\mathcal{E}_{hf\ classique} = \boldsymbol{\frac{\mu_0\mu_B\mu_N}{2\pi a_B^3}} = 1{,}1.10^{-6}\ eV$

39) $\Delta\mathcal{E}_{hf} = \boldsymbol{5,9.10^{-6}\ eV}$ Valeur tout à fait cohérente avec $\Delta\mathcal{E}_{hf\ exp}$

40) La transition entre deux niveaux hyperfins de l'atome de **césium** sert à la définition de la **seconde**.