FR_4 : Einstein-VED : Déduction déterministe du proton et formule R_VED

10.5281/zenodo.17172925

Le proton

1. Introduction

- Nous poursuivons dans le cadre déterministe 3S+T.
- Nous avons défini le contenant (espace-temps) et la fonction f, assurant causalité et déterminisme.
- La mécanique quantique reste en dehors de cette analyse, car elle ne peut expliquer les propriétés des particules de manière déterministe.

2. Particule dotée d'une masse et d'une fréquence intrinsèque

Toute particule de masse m possède une fréquence ν et une longueur d'onde λ associées :

$$E = mc^2 = h\nu \quad \Rightarrow \quad \nu = \frac{mc^2}{h}$$

La longueur d'onde de Compton associée est :

$$\lambda_C = \frac{c}{\nu} = \frac{h}{mc}$$

Cette longueur d'onde est géométrique et déterministe, liée à l'espace-temps 3S+T et à la fonction f.

3. Axiome géométrique de confinement

Pour qu'une onde associée à une particule soit confinée dans un périmètre ou une enceinte, l'espace doit contenir un nombre exact d'ondes complètes :

$$L = n\lambda_C, \qquad n \in \mathbb{Z}^+$$

Sinon, l'enceinte ne sera pas stable. La stabilité exige une régularité structurelle sur la ligne temporelle.

4. Confinement du proton

L'enceinte stable minimale du proton doit fermer l'onde dans les trois dimensions spatiales et le temps, dans le cadre géométrique 3S+T.

Condition de fermeture de phase

Pour qu'une onde confinée se referme exactement sur son propre contour, la longueur du parcours doit contenir un nombre entier de cycles complets :

$$L = n\lambda_C, \qquad n \in \mathbb{Z}^+$$

Chaque cycle complet correspond à une variation de phase de 2π radians. Donc :

$$\Delta\phi = \frac{2\pi L}{\lambda_C} = 2\pi n$$

La fermeture exacte exige :

$$\Delta\phi = 2\pi n, \qquad n \in \mathbb{Z}^{+}$$

Si n n'est pas entier, la fin de l'onde ne coïncide pas en phase avec son début, d'où un déphasage résiduel :

$$\Delta\phi_{\text{res}} = 2\pi(n - \lfloor n \rfloor)$$

Le confinement stable exige donc un nombre entier de cycles sur le contour.

Fermeture géométrique en 3S+T

Dans Einstein–VED, le confinement minimal du proton comprend quatre plans de fermeture :

1. Plan XT : relation entre X et T.
2. Plan YT : relation entre Y et T.
3. Plan ZT : relation entre Z et T.
4. Plan XYZ : fermeture spatiale conjointe.

La condition géométrique impose un cycle complet pour chacune de ces quatre fermetures.

Le **nombre minimal de cycles pour le confinement stable de l'onde du proton** est donc :

$$n_{\text{min}} = 4$$

Cette valeur ne résulte pas d'un ajustement au rayon expérimental, mais de la fermeture complète dans les quatre plans de la construction géométrique Einstein–VED.

Le périmètre minimal est :

$$L_p = 4\lambda_p$$

Les trois fermetures XT, YT et ZT engendrent les trois structures internes qui, dans ce cadre, expliquent géométriquement la propriété de couleur.

La condition de confinement utilisée dans la section suivante pour déduire le rayon du proton de sa masse est ainsi établie.

5. Déduction de la masse et du rayon du proton

La longueur d'onde de Compton intrinsèque du proton est :

$$\lambda_p = \frac{h}{m_p c}$$

Le périmètre minimal de confinement stable est :

$$L_p = n_{\min} \lambda_p = 4\lambda_p$$

La relation géométrique entre le périmètre et le rayon du confinement sphérique donne :

$$2\pi r_p = L_p$$

Donc :

$$r_p = \frac{L_p}{2\pi} = \frac{4\lambda_p}{2\pi} = \frac{2}{\pi}\lambda_p$$

En substituant la longueur d'onde :

$$r_p = \frac{2h}{\pi m_p c}$$

Calcul numérique avec CODATA 2022

- Constante de Planck :

$$h = 6.62607015 \times 10^{-34}\ \text{J s}$$

- Masse du proton :

$$m_p = 1.67262192595(52) \times 10^{-27}\ \text{kg}$$

- Vitesse de la lumière :

$$c = 2.99792458 \times 10^{8}\ \text{m / s}$$

La longueur d'onde obtenue est :

$$\lambda_p = \frac{6.62607015 \times 10^{-34}}{1.67262192595 \times 10^{-27} \cdot 2.99792458 \times 10^{8}}$$

$$\lambda_p \approx 1.32140985 \times 10^{-15}\ m$$

Et le rayon :

$$r_p = \frac{2}{\pi}\lambda_p$$

$$r_p^{\text{VED}} \approx 0.84123564\ \text{fm}$$

Formulation alternative équivalente

$$r_p = n_{\min} \frac{h / (2\pi)}{m_p c} = 4\frac{h / (2\pi)}{m_p c}$$

Le facteur $h / (2\pi)$ provient de la relation géométrique entre périmètre et rayon.

La formulation conserve la constante de Planck h sans introduire de constante supplémentaire.

5.1. Comparaison expérimentale et résultats de QCD

Date de référence : 27 octobre 2026

Einstein–VED obtient directement le rayon du proton à partir de sa masse connue, des relations d'Einstein et de Planck et du nombre minimal de cycles assurant le confinement stable de l'onde :

$$n_{\min} = 4$$

$$R_p = \frac{2h}{\pi m_p c} = \frac{2hc}{\pi E_p}$$

Le rayon expérimental n'intervient pas comme paramètre d'entrée et ne sert pas à ajuster le résultat.

Comparaison des résultats

Provenance	Rayon ± incertitude (fm)	Écart absolu (fm)	Écart relatif
Einstein–VED, FR_4	**0.84123564021 ± 0.00000000026**	**0.00048564**	**0.0578%**
CODATA 2022	0.84075 ± 0.00064	0	0%
QCD sur réseau, 2024	0.820 ± 0.014	0.02075	2.47%
QCD sur réseau, 2026	0.860 ± 0.038 ± 0.023	0.01925	2.29%

Les écarts absolus et en pourcentage sont calculés par rapport à la valeur centrale expérimentale CODATA 2022.

L'incertitude indiquée pour Einstein–VED provient de la propagation de l'incertitude expérimentale sur la masse du proton. Pour la QCD, les incertitudes publiées dans les travaux respectifs sont reproduites.

Einstein–VED obtient un rayon dont l'écart avec la valeur centrale expérimentale CODATA 2022 n'est que de 0.0578%, sans ajuster la formule au rayon observé.

Pour les deux résultats de QCD sur réseau cités, les écarts avec la valeur centrale CODATA sont respectivement de 2.47% et 2.29%.

La comparaison montre directement la proximité numérique obtenue par Einstein–VED au moyen d'une déduction géométrique fermée.

L'objectif est de présenter un résultat théorique reproductible et son accord avec les données expérimentales disponibles.

5.2. Précision du calcul et mesures futures

La formulation Einstein–VED permet de calculer le rayon du proton à partir de sa masse ou, de manière équivalente, de son énergie au repos :

$$R_p = \frac{2h}{\pi m_p c} = \frac{2hc}{\pi E_p}$$

Dans le Système international, la constante de Planck h et la vitesse de la lumière c ont des valeurs exactes.

Le nombre minimal de confinement $n = 4$ est fixé par la condition géométrique de fermeture stable de l'onde du proton.

L'incertitude numérique propagée du rayon calculé provient donc exclusivement de notre connaissance expérimentale de la masse du proton :

$$\frac{\sigma_{R_p}}{R_p} = \frac{\sigma_{m_p}}{m_p}$$

L'incertitude absolue s'obtient par :

$$\sigma_{R_p} = \left|\frac{\partial R_p}{\partial m_p}\right| \sigma_{m_p}$$

Puisque :

$$\frac{\partial R_p}{\partial m_p} = -\frac{2h}{\pi c m_p^2} = -\frac{R_p}{m_p}$$

Il vient :

$$\sigma_{R_p} = R_p \frac{\sigma_{m_p}}{m_p}$$

Avec l'incertitude de masse recommandée par CODATA 2022 :

$$\sigma_{m_p} = 0.00000000052 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

On obtient approximativement :

$$\sigma_{R_p} = 2.6 \times 10^{-10} \text{ fm}$$

Et le résultat complet :

$$R_p^{\text{VED}} = (0.84123564021 \pm 0.00000000026) \text{ fm}$$

Conséquence de la relation masse–rayon

Chaque amélioration expérimentale de notre connaissance de la masse du proton, ou de son énergie au repos via $E_p = m_p c^2$, permettra d'actualiser le rayon calculé par Einstein–VED avec une incertitude propagée moindre.

L'expression géométrique reste inchangée :

$$R_p = \frac{2hc}{\pi E_p}$$

Elle n'exige ni nouveaux paramètres ni réétalonnage de la formule à partir du rayon expérimental.

La précision numérique du rayon calculé peut ainsi s'améliorer avec les progrès de notre connaissance expérimentale de la masse ou de l'énergie au repos du proton.

6. Généralisation : rayon et masse associés au confinement géométrique

La déduction du rayon du proton permet d'établir une expression générale pour toute matière constituée d'ondes confinées.

La longueur d'onde intrinsèque associée à une masse M est donnée par :

$$\lambda = \frac{h}{Mc}$$

Où :

- h = constante de Planck.
- M = masse de la matière confinée.
- c = vitesse de la lumière.
- n = nombre d'ondes du confinement.

La condition géométrique de fermeture donne :

$$L = n\lambda$$

Pour un confinement circulaire :

$$2\pi R_{\mathrm{VED}} = L$$

Donc :

$$R_{\mathrm{VED}} = \frac{n\lambda}{2\pi}$$

En substituant la longueur d'onde :

$$R_{\mathrm{VED}} = \frac{nh}{2\pi Mc}$$

C'est la formule générale du rayon géométrique Einstein–VED.

Déduction de la masse

En isolant la masse :

$$M_{\mathrm{VED}} = \frac{nh}{2\pi cR_{\mathrm{VED}}}$$

Et, par conséquent :

$$M_{\mathrm{VED}}\, R_{\mathrm{VED}} = \frac{nh}{2\pi c}$$

Pour un nombre de confinement n donné, le rayon géométrique est inversement proportionnel à la masse :

$$R_{\mathrm{VED}} \propto \frac{1}{M}$$

Cette expression est proposée dans le cadre Einstein–VED pour toute matière, des particules aux corps macroscopiques, en utilisant le nombre de confinement propre à chaque système.

R_{VED} caractérise la géométrie intrinsèque du confinement ondulatoire et ne doit pas nécessairement être confondu avec les rayons observables des corps ni avec le rayon gravitationnel de Schwarzschild.

Cas particulier du proton

Pour le proton :

$$n_{\text{min}} = 4$$

$$R_{\text{VED}} = \frac{4h}{2\pi m_p c}$$

En simplifiant :

$$R_{\text{VED}} = \frac{2h}{\pi m_p c}$$

Avec les valeurs CODATA 2022 utilisées dans la déduction :

$$R_{\text{VED}} \approx 0.84123564 \text{ fm}$$

On retrouve ainsi le résultat de la déduction géométrique du rayon du proton, sans nouvelles constantes ni facteurs d'ajustement.

La formulation utilise exclusivement la constante de Planck h, en conservant explicitement le nombre de confinement n et le facteur géométrique 2π.

7. Conclusion

1. Masse = onde confinée en 3S+T.
2. Le rayon et la masse associés au confinement géométrique (R_{VED}, M_{VED}) sont exacts et déterministes.
3. La formule $R_{\text{VED}} = \frac{nh}{2\pi Mc}$ constituera un outil fondamental des développements ultérieurs.
4. Pour le proton, avec $n = 4$, on obtient $r_p \approx 0.84123564$ fm par une déduction géométrique directe sans ajuster le rayon expérimental.

5. Le résultat présente un écart relatif de 0.0578% avec la valeur centrale expérimentale CODATA 2022, inférieur aux écarts des deux calculs de QCD sur réseau considérés.

6. L'incertitude numérique propagée du rayon Einstein–VED dépend de l'incertitude expérimentale sur la masse du proton. De futures améliorations de la détermination de sa masse ou de son énergie au repos augmenteront la précision du calcul sans modifier la formule géométrique.

Références

CODATA 2022 — Constantes fondamentales

https://physics.nist.gov/cuu/Constants/

Djukanovic et al. (2024)

Precision Calculation of the Electromagnetic Radii of the Proton and Neutron from Lattice QCD.

Physical Review Letters 132, 211901.

https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.132.211901

Alexandrou et al. (2026)

Proton and neutron electromagnetic form factors in the continuum limit using lattice QCD ensembles with physical pion masses.

Physical Review D 113, 114524.

https://doi.org/10.1103/tt39-n1df

Einstein–VED / UNIHOLOG — Víctor Estrada Díaz

https://doi.org/10.5281/zenodo.17172925

10.5281/zenodo.17172925

Fin de FR_4