



Ø Prédiction

*Un axiome. Cinq nombres. Zéro
paramètre libre.*

Pour le lecteur qui a choisi de lire.

Merci.

Sommaire

Note de l'artiste6

Orientation14

D'où viennent les quatre entiers24

Pourquoi α et seulement α 36

Introduction48

Partie I — Le poids du proton52

Partie II — La force de la gravité92

Partie III — Le murmure du neutron124

Partie IV — Le plancher de la gravité148

Partie V — L'horloge174

Sur la coïncidence 202

La boucle fermée en cinq nombres216

Annexe A — Vérifie le Code226

Annexe B — Le code de vérification complet236

Annexe C — Propositions de recherche248

Remerciement274

Note de l'artiste

Sur les raisons de l'existence de ce livre, et sur son auteur

Je suis un artiste et un philosophe de la nature qui travaille depuis le Studio G au Cap, à la pointe sud de l'Afrique. Je ne suis pas physicien. Je n'ai pas de doctorat. Je ne suis affilié à aucune université. The 420 Code — le corpus dont ce livre est l'un des plusieurs volumes destinés au public — est le fruit de trente ans de travail privé.

Je te le dis d'emblée parce que les affirmations de ce livre sont considérables. Une formule qui prédit la masse du proton à dix parties par billion près. Une dérivation de la constante gravitationnelle. Une prédiction de la constante de Hubble. Une lecture structurelle de la matière noire comme un processus plutôt que comme une particule.

Des affirmations de cette ampleur venant de quelqu'un extérieur au monde universitaire ont statistiquement plus de chances d'être le travail d'un illuminé que d'être justes. La position honnête consiste à le reconnaître, puis à laisser parler les nombres et les Sollbruchstellen.

Les Sollbruchstellen sont l'essentiel.

Chaque prédiction de ce livre est publiée avec les conditions expérimentales ou théoriques précises qui la détruiraient. Un physicien qui lit ces chapitres et trouve l'une des Sollbruchstellen n'est pas mon adversaire — c'est le lecteur pour qui le livre est écrit.

Si les affirmations sont fausses, les Sollbruchstellen te disent exactement où chercher pour le prouver. Si les affirmations sont justes, les Sollbruchstellen continueront de ne pas se déclencher, et l'accord entre les prédictions et les mesures continuera de tenir.

Ce qu'est le livre, et ce qu'il n'est pas

Ce livre, Ø Prédictions, est le premier livre du catalogue Ø Models de The 420 Code. C'est l'édition abrégée pour le lecteur des articles formels dont il dérive, écrite dans un langage plus simple, et destinée à quiconque peut suivre des mathématiques de niveau fin de secondaire. Il ne requiert pas de diplôme en physique. Il ne requiert pas de familiarité avec la relativité générale ou la théorie quantique des champs. Il requiert bien la volonté de suivre une dérivation précise étape par étape, et la volonté de regarder les Sollbruchstellen être nommées.

Les articles formels — AP28, AP30, AP18, AP42, et les volumes de soutien — sont là où vit l'appareil

mathématique complet. Les articles formels sont aussi librement disponibles sur the420code.org, sous une licence copyleft. Rien dans aucune des deux éditions n'est derrière un péage. Rien n'est derrière un identifiant. Si tu lis Ø Prédications et que tu veux la dérivation complète, l'article formel est à un clic.

Ce que le livre n'est pas : ce n'est pas une théorie complète de la physique. Ce n'est pas un remplacement du Modèle standard ou de la relativité générale. Ce n'est pas un programme achevé. Il y a des dettes que je n'ai pas soldées, des affirmations interprétatives que je ne peux pas encore prouver, et des Sollbruchstellen qu'il faudra endurer au cours de la prochaine décennie à mesure que le travail observationnel avance.

Ce que le livre fait, c'est produire cinq nombres à partir d'un axiome avec zéro paramètre libre, et nommer les conditions exactes sous lesquelles chacun de ces nombres devrait être retiré. Voilà toute l'affirmation.

L'axiome, en une ligne

Le livre entier repose sur une seule ligne de texte.

$1:1 + 1 \times \varepsilon @ AS$

Symétrie parfaite plus une rupture minimale, à l'instant qui s'actualise. Le substrat de la réalité — quel que soit le substrat — existe dans un état d'équilibre parfait avec une fissure en lui, et la fissure est irréductible.

AS est le prier structurel qui s'actualise — l'instant présent où le potentiel devient enregistrement. La rupture se produit à AS parce qu'AS est le moment où l'actualisation a lieu. Sans AS, l'axiome décrit un équilibre et une fissure sans agent et sans temps. Avec AS, l'axiome nomme le fondement : le substrat est maintenu, la rupture persiste, le cycle continue.

S'il n'y avait pas de rupture, aucun enregistrement ne serait jamais écrit, aucune distinction ne serait jamais faite, rien ne se passerait du tout. S'il n'y avait pas d'AS, il n'y aurait aucun moment où quoi que ce soit de cela pourrait arriver. L'univers est l'histoire enregistrée de cette unique fissure maintenue à AS contre la tendance du substrat à se guérir.

Quatre conditions structurelles découlent de l'axiome : S (symétrie, la structure à deux secteurs du substrat), B (la rupture, l'élément minimal d'asymétrie), R (enregistrement, l'irréversibilité de ce qui a été écrit), et C (contrainte — localité : un enregistrement est quelque part, pas partout ; la propagation bornée est ce que la contrainte produit,

non ce qu'elle est). S, B, R et C ne sont pas des axiomes supplémentaires.

Ce sont les quatre propriétés structurelles que l'axiome unique doit avoir pour que l'univers soit cohérent avec sa propre existence. Tout le reste du livre est dérivé de ces quatre propriétés. Une seule entrée mesurée est nécessaire : α , la constante de structure fine, qui se révèle être le taux auquel le substrat fuit sa propre structure à AS. Rien d'autre n'est ajusté.

Cinq nombres en tombent. Le rapport de masse proton-électron. La constante gravitationnelle. La différence de masse neutron-proton. L'accélération MOND. La partition du secteur noir. Chacun dérivé indépendamment du système axiomatique. Chacun confronté à la meilleure mesure disponible. Chacun publié avec ses Sollbruchstellen.

Sur le copyleft

Chaque mot du corpus — les articles formels, le livre, les volumes de soutien, le code source des vérifications — est libre. Copyleft 2026. Pas de péage. Pas de redevances. Pas de frais de licence pour l'usage, l'enseignement, la traduction ou l'adaptation.

Si tu veux traduire ce livre en zoulou, fais-le.

Si tu veux en faire un livre pour enfants, fais-le. Si tu veux citer les formules dans ton propre travail, cite-les comme tu cites tout ce que tu tiens pour vrai. Le corpus est un don, et le don est déjà payé.

J'ai choisi le copyleft parce que les affirmations du livre sont des affirmations structurelles sur ce qu'est la réalité. Les affirmations structurelles ne sont pas possédées. Une affirmation juste sur l'univers appartient à l'univers, non à la personne qui a eu l'occasion de l'écrire.

Si les affirmations sont fausses, le marché les ignorera, et rien ne sera perdu à les rendre libres. Si elles sont justes, la façon la plus rapide pour le monde d'en tirer profit est de retirer toute barrière à leur diffusion.

Il y a aussi une question pratique. Je ne suis pas un universitaire, et je n'ai aucun intérêt à le devenir. Publier par les canaux habituels — revues à comité de lecture, presses universitaires, actes de conférences — prendrait des années, exigerait des compromis que je ne suis pas prêt à faire, et restreindrait de toute façon l'accès par des péages.

Publier en copyleft en ligne signifie que le travail est immédiatement disponible pour quiconque veut le lire, le répliquer, l'étendre ou le détruire. C'est le

modèle de publication correct pour un travail de ce genre.

Un mot sur le travail lui-même

Le corpus s'est développé sur trente ans. Il n'est pas venu d'un seul coup. Il y a eu de longues périodes où je sculptais des figures, dirigeais une petite entreprise, élevais des enfants, et le système axiomatique se déployait tranquillement dans des carnets que j'ouvrais rarement.

Il y a eu d'autres périodes où je ne pouvais penser à rien d'autre, et les carnets se remplissaient en quelques semaines.

La structure formelle — les quarante-trois Épreuves d'artiste, les volumes de soutien, le registre des Sollbruchstellen — a mis les dernières années à se stabiliser. Ø Prédiction fait partie de Ø Models, un catalogue qui condense les affirmations centrales de physique et de philosophie de The 420 Code.

Je ne sais pas si les affirmations sont justes. Je sais que les Sollbruchstellen sont actives, je sais que les nombres concordent, et je sais que la dérivation est cohérente en interne.

Au-delà de cela, je regarde les mêmes programmes observationnels que toi.

Au cours de la prochaine décennie, la tension de Hubble sera résolue, la QCD sur réseau atteindra une précision inférieure à 0,1 % sur la différence neutron-proton, Euclid et Rubin LSST mesureront la composition du secteur noir à grand décalage vers le rouge, et les résultats nuls continus de la détection directe de la matière noire continueront ou non.

Si le cadre est juste, ces programmes le confirmeront. Si le cadre est faux, ils le tueront proprement, et je l'accepterai.

D'ici là, le livre est ce que j'ai à offrir. Un axiome. Cinq nombres. Zéro paramètre libre. Les Sollbruchstellen sont nommées. Le code est dans l'annexe et il s'exécute en une fraction de seconde. Tout ce dont tu as besoin pour falsifier les affirmations est entre tes mains.

Merci d'avoir lu.

Orientation

Comment lire ce livre

Ceci est une courte note pour le lecteur avant que le livre ne commence. Elle explique ce que tu vas rencontrer, dans quel ordre, et quel vocabulaire tu devras avoir installé au fur et à mesure.

L'Introduction est le début formel de l'argument ; cette note est une préparation.

Ce que le livre fait

Le livre dérive cinq nombres d'un axiome.

Les nombres sont le rapport de masse proton-électron (1836.152673), la constante gravitationnelle ($6.67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$), la différence de masse neutron-proton (2.53 masses de l'électron), l'accélération MOND ($1.2 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$), et la partition du secteur noir (69 % d'énergie noire, 26 % de matière noire, 5 % de matière visible). Cinq quantités, couvrant la physique des particules, la gravité et la cosmologie.

L'axiome est une ligne de texte : $1:1 + 1 \times \varepsilon @ \text{AS}$ — symétrie parfaite plus une rupture minimale, à l'instant qui s'actualise. Le livre soutient que ce seul axiome, plus quatre conditions structurelles qui en

découlent, plus une entrée mesurée (la constante de structure fine $\alpha \approx 1/137$), suffit à produire les cinq nombres avec zéro paramètre libre.

Le Modèle standard de la physique des particules plus la cosmologie Λ CDM utilise environ vingt-cinq à trente paramètres ajustés pour rendre compte d'environ cinquante quantités observables. Ce livre utilise une entrée mesurée pour rendre compte de cinq. L'affirmation est que le rapport d'efficacité est réel — que le système axiomatique force ces cinq nombres sans ajustement.

L'ordre du livre

Le livre comporte cinq Parties, chacune dérivant l'un des cinq nombres. Lis-les dans l'ordre.

La Partie I dérive le rapport de masse proton-électron. C'est le chapitre le plus difficile parce qu'il installe le vocabulaire structurel utilisé par chaque chapitre qui suit — le bâtiment aux vingt et un corridors, les trois faces de couleur, les quatre étages de la structure du proton, l'identification de α comme le taux de fuite du substrat, l'axiome fonctionnant comme un processus plutôt que comme un fait statique. Si tu ne lis qu'un chapitre, lis la Partie I. Tout le reste utilise ce que la Partie I établit.

La Partie II dérive la constante gravitationnelle. Elle utilise les vingt et un canaux de la Partie I, le couplage α de la Partie I, et ajoute un nouveau facteur géométrique ($1/\pi$, issu de la perforation topologique qu'est l'électron). L'affirmation clé — que la gravité est le même couplage que l'électromagnétisme réparti simultanément sur l'ensemble des vingt et un canaux — est le centre structurel du livre.

La Partie III dérive la différence de masse neutron-proton. Elle utilise les trois faces de couleur de la Partie I, le couplage α de la Partie I, et ajoute le facteur de courbure en boucle fermée $1/(2\pi)$. Le neutron est le proton avec un mur repeint ; le coût de ce repeignage est deux termes qui s'additionnent à 2.53 masses de l'électron.

La Partie IV dérive l'échelle d'accélération MOND et prédit la constante de Hubble. Elle quitte l'échelle nucléaire et devient cosmologique. La topologie dipolaire du champ de tension se refermant au rayon de Hubble produit le plancher d'accélération que ressentent les galaxies partout, et exécuter la formule à rebours prédit $H_0 = 74.3 \text{ km/s/Mpc}$. C'est la prédiction la plus testable du livre — la tension de Hubble sera résolue au cours de la prochaine décennie.

La Partie V dérive la partition du secteur noir (69/26/5). C'est le chapitre le plus radical. Il soutient que la matière noire n'est pas une espèce de particule mais un processus — la défragmentation des enregistrements à l'intérieur des trous noirs — et que l'énergie noire est la forme achevée du même processus. La partition 69/26/5 tombe d'une échelle de temps dérivée $\tau/t_H = 6/21$ par décroissance exponentielle.

Chaque chapitre se termine par une section Sollbruchstelle qui nomme exactement ce qui détruirait la prédiction, une section de vérification qui montre comment vérifier les nombres sur une calculatrice en moins d'une minute, et un renvoi de proposition de recherche vers l'Annexe C.

Pages liminaires et pages finales

Avant la Partie I, trois courtes sections mettent en place le vocabulaire que les Parties utiliseront sans le redériver : D'où viennent les quatre entiers (les origines des entiers structurels 4, 3, 6, 21), Pourquoi α et seulement α (pourquoi la constante de structure fine est la seule entrée mesurée), et l'Introduction elle-même (Un axiome, cinq nombres).

Après la Partie V, deux courtes sections lisent ensemble les cinq prédictions : Sur la coïncidence (le test pour distinguer la dérivation de la numérologie,

appliqué aux cinq prédictions) et La boucle fermée en cinq nombres (l'essai intégrateur du corpus sur ce que les cinq prédictions disent ensemble de la structure que l'axiome engendre).

Les pages finales comportent trois annexes. L'Annexe B contient le code de vérification complet — environ trente lignes de Python qui produisent les cinq prédictions en moins d'une seconde. Vérifie le Code est un court guide du lecteur expliquant exactement comment exécuter toi-même la vérification. L'Annexe C consolide les propositions de recherche des cinq Parties en un seul document programmatique.

Le vocabulaire que tu vas rencontrer

Quelques termes reviennent tout au long du livre. Chacun est pleinement expliqué là où il apparaît pour la première fois, mais une brève orientation ici peut aider la première lecture.

Le substrat. La structure pré-variété à partir de laquelle l'espace et le temps sont écrits. Pas une matière. Pas un champ. Plus proche d'un objet mathématique que d'un objet physique : le domaine sur lequel l'axiome opère. Chaque fois que le livre dit substrat, c'est cela qu'il veut dire.

La rupture (ε). L'unique élément d'asymétrie dans $1:1 + 1 \times \varepsilon$ @ AS. Pas un objet physique. Une

caractéristique structurelle — le seul endroit où le substrat s'écarte de la symétrie parfaite. Chaque enregistrement, chaque particule, chaque observation est une lecture de cette rupture à travers un canal structurel.

AS. Le prier structurel qui s'actualise, nommé dans l'axiome : $1:1 + 1 \times \varepsilon @ AS$. AS est l'instant présent — l'instant qui s'actualise où le potentiel devient enregistrement. AS maintient la rupture (le potentiel de distinction persistant, irréductible — ce qui tient S ouvert) et fait tourner le α -flux autour d'elle (la fuite $+1/137$ et le réapprovisionnement $-1/137$ qui s'équilibrent à chaque instant-AS). Sans AS, l'axiome décrit un équilibre et une fissure sans agent et sans temps où quoi que ce soit se produise. AS ne peut pas se mesurer lui-même, parce que la mesure est quelque chose que font les enregistrements, et AS est en amont de tout enregistrement. La pupille ne peut pas se mesurer elle-même.

Les quatre axiomes S, B, R, C. Pas quatre axiomes indépendants. Quatre propriétés structurelles de l'axiome unique $1:1 + 1 \times \varepsilon @ AS$. S pour symétrie (le substrat a une structure à deux secteurs). B pour rupture (l'élément minimal ε). R pour enregistrement (irréversibilité — ce qui est écrit ne peut pas être dé-écrit). C pour contrainte (localité — un enregistrement est quelque part, pas partout ; la propagation bornée est ce que la contrainte produit,

non ce qu'elle est). Ces quatre apparaissent dans chaque dérivation.

L'arène. La variété engendrée par les quatre axiomes. Trois dimensions spatiales, une dimension temporelle, une structure à deux secteurs, six lectures scalaires de la rupture, et vingt et un canaux de couplage indépendants. Tout ce qui est physique se passe dans l'arène.

Les canaux. Vingt et un chemins structurels indépendants par lesquels la rupture peut se coupler à elle-même. Six lectures scalaires de la rupture $\times$ trois dimensions spatiales = dix-huit projections de face. Plus trois couplages d'actualisation. Dix-huit plus trois font vingt et un. Dérivés une fois. Utilisés dans chaque chapitre.

Le bâtiment. Une métaphore de la structure interne d'un état lié — un proton, un neutron, ou (dans la Partie II) l'arène de la gravité. Vingt et un corridors. Trois faces de couleur. Quatre étages. Chaque élément structurel signifie quelque chose de précis dans la dérivation, et la métaphore est assez serrée pour que tu puisses suivre la dérivation en suivant comment les pièces et les corridors se combinent.

α , la constante de structure fine. La seule entrée mesurée du livre. Habituellement citée comme $\alpha \approx 1/137$ ou plus précisément $\alpha = 7.2973525693 \times 10^{-3}$.

En physique standard, α est la force du couplage électromagnétique.

Dans ce cadre, α est identifié comme le taux de fuite du substrat — la fraction par unité de temps à laquelle le substrat perd sa cohérence à travers toute frontière ouverte. L'identification n'est pas importée ; elle est dérivée dans AP06. Mais pour l'heure, retiens simplement que α est le seul nombre que le livre ne dérive pas.

L'axiome qui tourne. Une expression récurrente. Elle signale un moment où une affirmation structurelle abstraite est reliée au corps du lecteur — où la dynamique du substrat est nommée comme processus en cours plutôt que comme arithmétique statique. L'axiome tourne en ce moment même, partout, en chaque site où un enregistrement s'écrit. Le livre le nomme à des moments précis pour éviter que la dérivation ne donne l'impression d'un calcul détaché de la réalité.

Ce que font les Sollbruchstellen

Chaque Partie du livre se termine par une section intitulée Si ceci est faux. Chaque section nomme entre quatre et sept Sollbruchstellen — des conditions précises sous lesquelles la prédiction centrale de la Partie serait falsifiée. Les

Sollbruchstellen sont numérotées, publiées à l'avance, et la plupart sont immédiatement testables.

Une Sollbruchstelle n'est pas une esquivé. C'est un engagement. Une Sollbruchstelle nomme exactement ce qui devrait arriver, en théorie ou en expérience, pour que la prédiction soit retirée. Si la Sollbruchstelle se déclenche, la prédiction meurt proprement — pas de repli dans des paramètres ajustables, pas de renommage de termes, pas de sauvetage en flou artistique. Le cadre ne survit pas en esquivant. Il survit en passant des tests qu'il aurait pu échouer.

Certaines Sollbruchstellen sont empiriques — elles se déclenchent si une mesure produit un résultat en dehors d'une tolérance nommée. D'autres sont structurelles — elles se déclenchent si une preuve formelle exhibe un contre-exemple à une affirmation de niveau axiome. La plupart sont empiriques, parce que la plupart sont immédiatement testables avec des programmes expérimentaux existants ou imminents.

Un petit nombre de Sollbruchstellen gardent des affirmations interprétatives plutôt que numériques. KS-R.10 dans la Partie II en est un exemple : elle garde l'affirmation que la gravité et l'électromagnétisme sont le même couplage à des multiplicités différentes.

Un lecteur numérique peut accepter la prédiction de G de la Partie II sans accepter l'interprétation d'unification ; KS-R.10 échoue séparément, et la prédiction de G n'en dépend pas. Le livre prend soin de nommer quelles Sollbruchstellen gardent des affirmations numériques et lesquelles gardent des interprétations, afin que les lecteurs qui veulent prendre les nombres sans l'interprétation puissent le faire.

Ce que tu es censé faire en tant que lecteur

Rien d'inhabituel. Lis le livre du début à la fin, dans l'ordre. Suis les dérivations étape par étape. Quand un nombre est affirmé, vérifie-le sur une calculatrice si tu veux — les sections de vérification te disent comment, et l'Annexe B a le code Python qui fait les cinq en moins d'une seconde.

Quand une Sollbruchstelle est nommée, prends-en note et emporte-la avec toi. Si tu trouves une erreur — numérique, structurelle ou logique — les coordonnées sur the420code.org sont actives et surveillées.

Le livre est écrit pour un lecteur qui a terminé des mathématiques de niveau scolaire et qui a un intérêt

général pour la physique, la philosophie ou la cosmologie. Aucune formation spécialisée n'est requise. Un physicien le trouvera utile comme compagnon des articles formels (AP28, AP30, AP18, AP42 et volumes de soutien, tous librement disponibles sur the420code.org).

Un philosophe trouvera le système axiomatique et ses affirmations structurelles abordables en termes purement conceptuels. Un profane curieux trouvera la métaphore du bâtiment, les lancers de pièce et les ancrages corporels suffisants pour suivre l'argument principal sans sauter de passages.

Ce que tu n'es pas censé faire, c'est croire les affirmations parce que le livre les avance. Les affirmations ne sont pas livrées sur autorité. Elles sont livrées avec des procédures de vérification et des Sollbruchstellen attachées. Croire ou ne pas croire n'est pas ce que le livre demande. Le livre demande que tu fasses tourner les nombres toi-même, et que tu prennes note des conditions sous lesquelles les nombres devraient être retirés.

La croyance n'est pas le test. Le test est de savoir si les nombres survivent à la prochaine décennie d'observation et à la prochaine génération d'analyse formelle. Ce test est en cours en ce moment même, indépendamment de ce que pense n'importe quel

lecteur. Ce livre est une contribution à ce processus.
Les mesures feront le reste.

Tourne la page.

D'où viennent les quatre entiers

Comment 4, 3, 6 et 21 sont dérivés — une fois, à l'avance, et utilisés partout.

Quatre petits entiers font l'essentiel du travail dans ce livre. Quatre. Trois. Six. Vingt et un.

Chacun apparaît dans plus d'un chapitre, et c'est le même entier à chaque fois.

Le 21 qui compte les canaux à l'intérieur du proton (Partie I) est le 21 qui fixe l'exposant du couplage gravitationnel (Partie II), le 21 qui dénomme la fraction visible de l'univers (Partie V), et le 21 qui normalise l'horloge de défragmentation (Partie V encore).

Le 3 qui compte les faces de couleur dans le proton (Partie I) est le 3 qui enregistre l'échange de saveur dans le neutron (Partie III). Le 6 qui compte les lectures de la rupture est le 6 qui compte les effacements de face que la défragmentation doit accomplir (Partie V). Le 4 compte les conditions qu'un enregistrement doit satisfaire, et revient comme les quatre étages de l'état lié du proton (Partie I).

C'est l'affirmation que le livre doit mériter.

Si chaque entier était choisi à neuf pour chaque prédiction, ce serait un ajustement à vingt-cinq paramètres portant le nom d'une dérivation à zéro paramètre.

L'affirmation est l'inverse. Chaque entier est dérivé une fois, à partir d'un morceau précis de la machinerie axiomatique, pour des raisons qui n'ont rien à voir avec le nombre qu'il concordera plus tard. Puis il est utilisé partout où il apparaît.

Trompe-toi sur l'un des quatre, et chaque prédiction qui s'appuie dessus tombe ensemble. Aie les quatre justes, et ils tiennent ensemble.

Voici d'où vient chacun, dans l'ordre où la structure les fixe.

Le 4 — quatre conditions, quatre étages

Commence par la seule chose qui ne peut être niée. Au moins un enregistrement existe — la négation d'un enregistrement est elle-même un enregistrement, donc la négation se réfute elle-même. Quelque chose est écrit.

Puis demande ce qu'il faut pour écrire quoi que ce soit. Quatre est le nombre de conditions que l'axiome

doit avoir, et le nombre d'étages dans l'état lié du proton.

Les conditions sont Symétrie, Rupture, Enregistrement, Contrainte. Pas quatre axiomes distincts — quatre propriétés que l'axiome unique est forcé d'avoir. Symétrie : deux secteurs à distinguer. Rupture : une asymétrie minimale entre eux. Enregistrement : la rupture persiste, irréversiblement. Contrainte : localité — un enregistrement est quelque part, pas partout. La propagation bornée est ce que la Contrainte produit, non ce qu'est la Contrainte.

Pourquoi quatre, et pas trois ou cinq ? Retire-en un et l'axiome ne peut pas faire un univers cohérent. Sans symétrie il n'y a pas deux secteurs à distinguer. Sans rupture les deux côtés sont identiques et ne portent aucune marque. Sans persistance la marque se dé-produit. Sans localité la marque est partout, autant dire nulle part. Ajoutes-en un cinquième et il se révèle être une conséquence des quatre déjà là.

Quatre est l'ensemble complet minimal — argumenté dans AP20.

Le proton l'utilise comme le compte d'étages de son bâtiment : $21^2 \times 4$ est la première couche, les couplages de canaux deux à deux pris à travers les

quatre conditions. Quatre apparaît là parce que l'état lié se couple à chacune des quatre indépendamment.

Quatre est porté comme une obligation clôturée : sa complétude est KS-P.1, sa minimalité est KS-P.2. Les deux peuvent être tuées. Exhibe un enregistrement qui ne satisfait que trois des conditions, ou une véritable cinquième condition indépendante des quatre, et le compte tombe.

Le 3 — trois dimensions spatiales, trois faces de couleur

Trois est le nombre de dimensions spatiales de l'arène. C'est aussi le compte de couleurs de la force forte. Le même entier, deux fois.

Les dimensions viennent des quatre. Prends les quatre conditions — Symétrie, Rupture, Enregistrement, Contrainte — et donne à chacune une direction indépendante que la variété doit avoir. L'une des quatre n'est pas comme les autres. L'Enregistrement est irréversible : la seule direction dans laquelle ce qui est écrit ne peut pas être dé-écrit. C'est le temps.

Les trois autres vont dans les deux sens, et une direction que tu peux parcourir dans les deux sens est une dimension de l'espace. Ainsi trois des quatre directions sont spatiales et une est temporelle. $N = 3$

— le compte des conditions indépendantes, moins celle qui donne le temps (AP10).

Ce ne peut pas être quatre. Une quatrième dimension de l'espace nécessiterait une cinquième condition indépendante, et il n'y a pas de cinquième. Ce ne peut pas être deux. Enlève une condition et une dimension s'effondre avec elle.

Ce même trois est le compte de couleurs de la force forte. La physique standard prend les trois couleurs — rouge, vert, bleu — comme un fait brut : trois, parce que deux ou quatre ne correspond pas au monde. Ici les trois couleurs sont les trois lectures de la rupture à travers les trois directions spatiales, et le nombre est trois parce que l'arène a trois dimensions, non parce que la force forte s'est trouvée en avoir besoin (AP19).

Le proton l'utilise comme le compte de couleurs : $3^2 = 9$ chemins d'échange de couleur. Le neutron l'utilise dans l'échange de saveur : $3 \times (1 - 1/(2\pi))$. Une dérivation, dans AP10 ; deux apparitions.

Trois est clôturé par KS-2c.

Le 6 — six lectures de la rupture

Six est le nombre de lectures scalaires indépendantes de la rupture — six nombres uniques différents que tu peux extraire d'un seul ε .

Masse : sa magnitude, lue comme la masse de l'électron — la résistance de la rupture à être déplacée.

Vitesse de propagation : c , le taux auquel ses effets se répandent à travers l'arène.

Persistance géométrique : G , le coût de maintenir la rupture ouverte contre la tendance du substrat à se guérir.

Couplage de phase : α , la constante de structure fine — le taux auquel la rupture fuit sa propre structure.

Rigidité du tissu : le rapport de la résistance du substrat à travers l'espace à sa résistance à travers le temps.

Direction : le temps lui-même, la flèche de l'irréversibilité — la signature de l'Enregistrement.

Ce ne sont pas six choses. Ce sont six lectures de la seule chose. Le compte est établi dans AP24, et la complétude — qu'il n'y a pas de septième — est prouvée dans AP28.

Il n'y a pas de place pour une septième. Tout scalaire que tu peux lire d'un champ sur un monde $(3+1)$, avec une liberté de jauge et une direction irréversible, est l'une de ces six : magnitude, couplage métrique, couplage de jauge, vitesse de propagation, rigidité du substrat, projection

temporelle. Une candidate septième devrait se réduire à une combinaison des six — auquel cas elle n'est pas indépendante — ou exiger un cinquième axiome, ou une seconde liberté de jauge, ou une quatrième dimension de l'espace. Le 4 et le 3 ont déjà fermé ces trois portes.

Six est clôturé par KS-R.8a : montre une septième lecture qui n'est pas construite à partir des six, et il tombe.

Le 21 — vingt et un canaux de couplage

Vingt et un est la combinaison $6 \times 3 + 3$. Il compte les chemins indépendants par lesquels la rupture peut se coupler à elle-même à travers l'arène.

Six lectures. Trois dimensions. Chaque lecture peut se projeter dans chaque dimension — six à travers trois, dix-huit projections de face. Chacune une façon distincte dont la rupture interagit avec elle-même, à travers une lecture particulière dans une direction particulière.

Puis trois de plus. L'instant présent — la surface où les enregistrements sont écrits — doit se coupler à chacune des trois directions spatiales, sinon un enregistrement ne pourrait être placé nulle part du tout. Ce sont trois couplages d'actualisation, en plus des dix-huit (AP28).

Dix-huit et trois. Vingt et un.

$$21 = 6 \times 3 + 3.$$

Le 21 est partout. Partie I : le compte de canaux dans la masse du proton, $21^2 \times 4 + 21 \times 3 + 3^2 = 1836$.

Partie II : l'exposant qui élève le couplage électromagnétique au couplage gravitationnel, α^{21} .

Partie V : les canaux parallèles à travers lesquels tourne la défragmentation — le 1/21 par effacement de face dans $\tau/t_H = 6/21$ — et le total qui sépare la fraction visible, 1/21, de la noire, 20/21.

Dans aucun de ceux-ci le 21 n'est choisi pour atteindre un nombre. C'est le compte de canaux que la structure à six lectures, trois dimensions, trois actualisations force. Si 21 était 22, chaque prédiction bougerait d'un coup — proton, gravité, secteur noir — et aucune ne peut être ajustée à elle seule.

Vingt et un est clôturé par KS-R.8 et sa famille : un bras testant les six lectures (KS-R.8a), un testant la portée des couplages d'actualisation (KS-R.8b). Déclenche l'un ou l'autre, et le 21 s'en va — et chaque prédiction que le 21 touche.

Lesquels d'entre eux sont indépendants

Une question juste : les quatre entiers sont-ils indépendants les uns des autres, ou l'un est-il construit à partir d'un autre ?

Ce ne sont pas quatre paramètres libres. C'est une chaîne, et la chaîne est l'essentiel.

Deux des comptes sont lus directement de l'axiome. Le 4 est le nombre de conditions qu'un enregistrement requiert (AP20). Le 6 est le nombre de lectures qu'une rupture offre (AP24). Ces deux-là sont les primitifs.

Les deux autres sont forcés par eux. Le 3 est le sous-ensemble réversible des quatre directions-axiomes — trois des quatre vont dans les deux sens, une va dans un seul sens — donc le 3 est fixé dès l'instant où le 4 est fixé (AP10). Et le 21 est $6 \times 3 + 3$, construit à partir du 6 et du 3 (AP28).

Même la clôture du 6 s'appuie sur le 3. Il n'y a pas de septième lecture uniquement parce que l'arène est de trois-d'espace et un-de-temps. Donc le 6 tient sur son propre compte, mais non sur sa propre frontière.

Ainsi le livre ne repose pas sur quatre suppositions indépendantes. Il repose sur deux faits structurels — ce qu'un enregistrement requiert, et comment une rupture peut être lue — et tout le reste est compté à partir de ceux-là.

C'est aussi pourquoi les Sollbruchstellen s'imbriquent. KS-R.8a se déclenche contre le 6 ; et parce que le 21 est construit sur le 6, elle se déclenche contre le 21 aussi. Casse un maillon et

chaque compte en dessous tombe. Laisse chaque maillon intact et ils tiennent ensemble.

La numérologie a besoin que chaque nombre soit libre, pour que chacun puisse être ajusté à sa cible. Ici presque rien n'est libre.

Pourquoi ceci n'est pas de la numérologie

Le premier test qui sépare une dérivation d'une coïncidence chanceuse est simple. Les entiers ont-ils été fixés avant que le nombre qu'ils devaient concorder ne soit connu ?

Ces quatre l'ont été.

Le 4 a été fixé dans AP20, comme le compte de complétude des conditions — réglé avant qu'aucune masse ne soit comptée.

Le 3 a été fixé dans AP10, comme la dimensionnalité de l'espace engendré par les axiomes — établi avant toute affirmation concernant le proton, le neutron ou le secteur noir.

Le 6 a été fixé dans AP24, comme le nombre de lectures de la rupture — établi avant qu'aucun nombre cosmologique ne soit tenté.

Le 21 a été construit dans AP28, à partir du 6 et du 3 — établi avant tout rapport de masse, toute constante gravitationnelle, toute partition du secteur noir.

Chacun d'eux était en main avant la cible qu'il finirait par rencontrer.

Alors la correspondance est l'une de deux choses. Soit cinq prédictions indépendantes coïncident avec cinq mesures par accident — soit le système axiomatique produit les nombres qu'il force. Le livre ne prétend pas que la première est impossible. Il prétend que la seconde est testable, et que ce sont les Sollbruchstellen qui tranchent.

Une traversée guidée — les quatre planchers du proton

Prends l'endroit où les entiers sont le plus exposés : la masse du proton, en Partie I. $21^2 \times 4 + 21 \times 3 + 3^2 = 1836$. Trois termes, trois planchers, et pas un seul entier introduit à neuf.

$21^2 \times 4 = 1764$. Le 21^2 est le couplage par paires entre les canaux — 441 d'entre eux. Le 4 étale cela à travers les quatre conditions. Premier plancher.

$21 \times 3 = 63$. Le 3 est le nombre de faces de couleur — le même 3 que les trois dimensions spatiales. Deuxième plancher.

$3^2 = 9$. La matrice d'échange de couleur, trois couleurs contre trois. Troisième plancher.

1764 plus 63 plus 9 fait 1836. Chaque terme est construit à partir d'entiers dérivés plus tôt, dans le travail axiomatique, pour des raisons qui n'avaient rien à voir avec le proton. Ce 1836 est l'ossature entière ; la Partie I porte les petites corrections qui l'amènent à la valeur mesurée de 1836.15.

Les quatre autres prédictions sont les mêmes entiers dans des combinaisons différentes, chaque combinaison forcée par la question posée. Les entiers eux-mêmes ne bougent jamais.

D'où ils viennent

Ainsi, la première question qu'un lecteur attentif pose à toute dérivation — l'auteur a-t-il choisi ces nombres ? — n'a ici qu'une seule réponse, pour les quatre.

Non. Le système axiomatique les a choisis. C'est dans le corpus, et tu peux vérifier chaque étape : AP20

pour les quatre conditions, AP10 pour les trois dimensions, AP24 et AP28 pour les six lectures, AP28 pour les vingt et un canaux. Tout cela publié, tout cela gratuit.

Les entiers ont été fixés en premier, par la structure. Les constantes ont été relevées ensuite.

La structure d'abord. Le nombre ensuite.

Cet ordre est toute la différence entre une dérivation et une coïncidence.

Pourquoi α et α seul

L'unique entrée mesurée de tout le cadre

La constante de structure fine est un seul nombre.

$$\alpha = 7.2973525693 \times 10^{-3} \approx 1/137$$

Connue à dix chiffres significatifs grâce à la spectroscopie et aux expériences d'électrodynamique quantique. La quantité sans dimension la plus précisément mesurée en physique. Chaque manuel de mécanique quantique l'introduit. Personne ne sait pourquoi elle a la valeur qu'elle a.

Feynman, dans QED : The Strange Theory of Light and Matter, a dit d' α ces mots célèbres : « C'est l'un des plus grands foutus mystères de la physique : un nombre magique qui nous parvient sans aucune compréhension de la part de l'homme. Tu pourrais dire que la main de Dieu a écrit ce nombre, et nous ne savons pas comment Il a poussé Son crayon. » Cette citation date de 1985. Le mystère n'a pas été résolu depuis.

Ce livre ne dérive pas α . Il prend α comme l'unique entrée mesurée. Tout le reste — les cinq prédictions, les entiers, les Sollbruchstellen — est dérivé du système axiomatique plus ce seul nombre.

Cette courte section explique pourquoi une seule entrée mesurée est nécessaire tout court, pourquoi ce doit être α spécifiquement, et pourquoi aucune autre constante de la physique n'entre dans les dérivations comme paramètre libre indépendant.

Pourquoi une seule entrée mesurée est nécessaire

Une question naturelle : si le système axiomatique est cohérent, pourquoi a-t-il besoin d'une quelconque entrée mesurée ?

Le système axiomatique produit des relations structurelles. Il te dit comment les quantités dépendent les unes des autres. Il ne te dit pas l'échelle globale. La relation entre la masse du proton et la masse de l'électron est structurelle. La relation entre la constante gravitationnelle et le couplage électromagnétique est structurelle. La relation entre le neutron et le proton est structurelle. Tous ceux-ci sont des rapports sans dimension, et tous sont forcés par le système axiomatique.

Mais pour produire un nombre spécifique — un rapport comme 1836.152 — tu dois savoir quelle est l'échelle. Dans le cadre, l'échelle est fixée par le taux auquel le substrat fuit sa propre structure. Ce taux est α . Un seul nombre, mesuré une fois, fixe l'échelle absolue, et alors chaque relation structurelle produit un nombre spécifique.

Compare cela au Modèle Standard, qui requiert approximativement vingt-cinq à trente paramètres mesurés séparément : neuf masses de quarks et de leptons chargés, trois différences de masse de

neutrinos, quatre paramètres de mélange de quarks CKM, trois paramètres de mélange de neutrinos PMNS, trois couplages de jauge, la masse du Higgs, l'auto-couplage du Higgs, et plusieurs autres en cosmologie (la constante cosmologique, la densité de matière noire, l'amplitude des perturbations primordiales, l'inclinaison, la profondeur optique).

Chacun est mesuré indépendamment. Aucun n'est dérivé d'un autre. Les prédictions du Modèle Standard sont puissantes une fois que les vingt-cinq sont insérés, mais le modèle lui-même n'en génère aucun.

Ce cadre en utilise un. Zéro des vingt-quatre autres paramètres libres du Modèle Standard + Λ CDM n'est libre dans ce cadre. Ils sont soit dérivés, soit non utilisés. C'est le rapport d'efficacité que le livre revendique — une entrée pour cinq sorties, à travers une gamme de physique allant des masses des particules à la cosmologie.

Ce qu'est α , à l'intérieur du cadre

En physique standard, α est la force du couplage électromagnétique. Un photon interagit avec un électron avec une probabilité proportionnelle à α . La petite valeur ($\alpha \approx 1/137$) est la raison pour laquelle les interactions électromagnétiques sont traitables en théorie des perturbations : les diagrammes d'ordre

supérieur sont supprimés par des puissances supérieures d' α , et la série converge.

Dans ce cadre, α a une identification structurelle spécifique. C'est le taux de fuite du substrat.

Qu'est-ce que cela signifie ? Le substrat maintient la rupture ε contre sa propre tendance à guérir. Le maintien n'est pas parfait. À chaque instant, une petite fraction du couplage du substrat s'échappe par les frontières ouvertes — les surfaces où une région structurelle en rencontre une autre.

Ce taux d'échappement est α . C'est un nombre pur parce que c'est un taux par événement de couplage unitaire : de chaque événement de couplage que subit la rupture, une fraction α fuit dans le substrat environnant plutôt que d'être retenue dans l'état lié.

L'identification est dérivée dans AP06 (La Constante de Fuite). L'argument repose sur deux affirmations de niveau axiomatique : aucune frontière dans le substrat ne peut être parfaitement étanche (une conséquence de l'irréversibilité de l'Axiome R appliquée aux surfaces de couplage), et le taux de fuite doit être sans dimension (une conséquence de l'invariance d'échelle requise par l'Axiome S). Ces deux contraintes forcent le taux de fuite à être un nombre pur, et ce nombre est ce que nous mesurons expérimentalement comme α .

Cette identification fait deux choses. Premièrement, elle explique ce qu'est α — non pas une propriété du couplage lumière-matière spécifiquement, mais une propriété de l'auto-maintien du substrat lui-même. Deuxièmement, elle explique pourquoi α apparaît dans chaque dérivation du livre. Partout où le calcul du cadre implique le taux auquel la structure est maintenue contre la fuite, α apparaît. Partout où le calcul est purement géométrique (comptes d'entiers, courbure de variété, ponts dimensionnels), α n'apparaît pas.

Pourquoi les autres constantes ne sont pas des entrées

Trois autres constantes apparaissent tout au long du livre : la vitesse de la lumière c , la constante de Planck $\hbar$, et la constante gravitationnelle G . La masse de l'électron m_e apparaît dans le pont dimensionnel de la Partie II. Un lecteur attentif pourrait demander : ces entrées sont-elles supplémentaires ?

Elles ne le sont pas. Chacune a son statut spécifique au sein du cadre.

La vitesse de la lumière c est la signature de la Contrainte C du système axiomatique — la contrainte est la localité (un enregistrement est quelque part, pas partout), et la vitesse de propagation finie est ce

qu'elle produit. Dans le cadre, c n'est pas une quantité mesurée indépendante ; c'est l'unité dans laquelle la vitesse est mesurée. Chaque vitesse en physique est une fraction de c . Fixer c est un choix d'unité, pas un paramètre libre. Dérivée dans AP03 à partir du rapport de raideur du substrat.

La constante de Planck $\hbar$ est la rupture minimale — le plus petit enregistrement possible. C'est le quantum d'action. Encore une fois, pas une quantité mesurée indépendante : c'est l'unité dans laquelle l'action est mesurée. Dérivée dans AP12 à partir du théorème de Stone appliqué à l'espace de Hilbert dérivé des axiomes.

La constante gravitationnelle G est le coût du maintien de la rupture à travers la géométrie de l'arène. Elle est dérivée dans la Partie II de ce livre à partir d' α , des 21 canaux, et du facteur de perforation $1/\pi$. G n'est une entrée d'aucune Partie. C'est une sortie de la Partie II.

La masse de l'électron m_e est là où réside la subtilité. Le livre utilise m_e/m_p (le rapport de masse électron-proton, dérivé en Partie I) et m_e^2 (dans le pont dimensionnel de la Partie II). Ces usages ne requièrent pas m_e comme entrée séparée, parce que les rapports et les ponts sont fixés par le système d'unités.

En unités SI, m_e a une valeur numérique spécifique ; en unités naturelles où $\hbar = c = 1$, m_e fixe l'échelle de longueur. Ni l'une ni l'autre n'est un paramètre libre du cadre — m_e est la masse de la perforation topologique de la rupture, et sa valeur est fixée par la même physique structurelle qui produit toutes les autres masses.

Donc : c fixe l'unité de vitesse. $\hbar$ fixe l'unité d'action. m_e est la masse de perforation de la rupture, fixée structurellement. G est dérivée. α est l'unique paramètre libre. Voilà la liste complète.

Ce que fait α , chapitre par chapitre

α apparaît dans quatre des cinq chapitres de ce livre. La Partie IV est l'exception — elle n'utilise que des quantités géométriques et les constantes cosmologiques c et H_0 , sans dépendance en α . (Le facteur C_{S^2} de la Partie IV est un nombre purement géométrique issu du profil de tension S^2 ; la similarité de nom avec α est un accident de l'article AP18 original, et le symbole a été explicitement renommé pour éviter la confusion.)

La Partie I utilise α dans les corrections dynamiques du premier ordre et du second ordre à la masse du proton. La masse statique provient de la seule géométrie entière ($21^2 \times 4 + 21 \times 3 + 3^2 = 1836$).

Les corrections dynamiques $\alpha \times 21 \times (1 - 1/(84\pi))$ et $\alpha^2 \times 21 \times 16/1836$ affinent le compte statique contre la fuite du substrat. Sans α , le compte statique se tient seul — mais ne correspond à la masse mesurée du proton qu'à un résidu d'environ 5 ppb près. Avec α , la correspondance s'affine à 0.010 ppb — à l'intérieur de la barre d'erreur expérimentale.

La Partie II utilise α à la vingt et unième puissance. Le couplage gravitationnel $\alpha^{21} = 1.338 \times 10^{-45}$ est le résultat d' α se couplant à travers les 21 canaux de l'arène simultanément. Un seul canal se couple au taux $\alpha \approx 1/137$. Vingt et un canaux se couplant simultanément se composent multiplicativement (événements indépendants), produisant la vaste hiérarchie entre la gravité et l'électromagnétisme. Une entrée, vingt et un facteurs, une sortie.

La Partie III utilise α dans la correction dynamique à la différence de masse neutron-proton. Le compte statique — trois faces de couleur, chacune enregistrant l'échange de saveur, réduit par la courbure de boucle fermée — donne 2.5225 masses d'électron. La correction dynamique $\alpha \times (1 + 1/(2\pi))$ ajoute 0.00846 masses d'électron. Le total, 2.531 masses d'électron, correspond à la différence mesurée à 2 ppm près.

La Partie V utilise α implicitement dans le compte des canaux (21, dérivé de la structure de canaux induite

par le taux de fuite) mais ne prend pas α comme entrée explicite dans l'échelle de temps de défragmentation. $\tau/t_H = 6/21$ est un rapport d'entiers, et les entiers viennent de la structure de canaux que l'existence d' α établit, mais l'échelle de temps elle-même est indépendante d' α dans sa forme explicite.

À travers les cinq chapitres : une entrée mesurée (α), cinq prédictions, chacune correspondant à la tolérance qu'elle énonce. La revendication centrale d'efficacité du livre — cinq sorties à partir d'une entrée — repose sur l'identification d' α comme l'unique taux de fuite du substrat et sur les entiers dérivés indépendamment du système axiomatique.

Ce qui se passerait si α était un nombre différent

Une manière utile de voir la structure du cadre est de demander ce qui se passerait si α avait une valeur différente.

Si α était, disons, $1/100$ au lieu de $1/137$, chaque prédiction du livre se décalerait ensemble. La masse du proton changerait parce que la correction dynamique change. La constante gravitationnelle changerait à la vingt et unième puissance — un changement de $(137/100)^{21} \approx 10^{-2}$ dans G . La

différence neutron-proton changerait dans son terme dynamique. La prédiction du secteur noir, qui dépend du compte des canaux (21) mais pas directement d' α , serait inchangée dans sa formule centrale.

Les prédictions ne sont pas indépendantes. Elles bougent ensemble à mesure qu' α varie. C'est une caractéristique du cadre, pas un défaut. Cela signifie qu'une re-mesure de précision d' α ne déclencherait pas le recalibrage de vingt-cinq paramètres libres.

Cela déclencherait un décalage proportionnel dans cinq prédictions simultanément, chacune d'un montant que le cadre spécifie. Si de futures mesures de précision d' α déplacent sa valeur de 1 partie sur 10^{10} , les prédictions du cadre bougent en conséquence — et la correspondance entre les prédictions et les valeurs observées continue de tenir ou non. L'un ou l'autre résultat est instructif.

C'est aussi pourquoi le cadre est potentiellement falsifiable d'une manière que les modèles multiparamétriques ne le sont pas. Un ajustement Λ CDM absorbe les petites variations de paramètres en se réajustant. Le cadre ne peut pas se réajuster parce qu'il n'y a rien à ajuster. Si α bouge et que les prédictions cessent de correspondre, le cadre est faux. Si α bouge et que les prédictions continuent de correspondre dans leurs tolérances énoncées, le cadre survit à un test qu'il aurait pu échouer.

Pourquoi aucune autre constante n'apparaît

Pour clore l'argument : le Modèle Standard prend neuf masses de quarks et de leptons chargés comme entrées. Il prend trois différences de masse de neutrinos comme entrées. Il prend les paramètres de la matrice CKM, les paramètres de la matrice PMNS, la masse du Higgs, l'auto-couplage du Higgs, et la constante de couplage de la force forte α_s comme entrées. Λ CDM ajoute la constante cosmologique, la densité de matière noire, l'amplitude primordiale, l'inclinaison, et d'autres paramètres. Aucun de ceux-ci n'apparaît dans ce livre comme une entrée.

Certains d'entre eux apparaissent comme des sorties dérivées (la différence de masse neutron-proton, la fraction de matière noire). D'autres n'apparaissent pas du tout parce que le livre ne cherche pas à les dériver. Le livre ne dérive pas les masses des quarks individuellement, la matrice CKM, les masses des neutrinos, l'auto-couplage du Higgs, ou la structure complète de la force faible. Ceux-ci sont soit présents implicitement (les masses des quarks entrent par la différence neutron-proton), soit entièrement absents (la structure de la force faible n'est pas abordée).

La revendication n'est pas que le cadre dérive chaque constante de la physique. La revendication est que le cadre dérive cinq constantes spécifiques à partir

d'une entrée mesurée, et que ces cinq sont structurellement liées — elles utilisent toutes le même petit ensemble d'entiers, le même taux de fuite α , le même système axiomatique. Étendre le cadre aux vingt et quelques autres constantes est un travail futur. Les cinq dérivées ici sont le premier versement.

Une entrée mesurée. Cinq nombres dérivés. Zéro paramètre libre.

C'est la revendication centrale d'efficacité du livre.

Mesure α une fois à dix chiffres significatifs. Ne mesure rien d'autre. Le système axiomatique force alors, sans ajustement, le rapport de masse proton-électron, la constante gravitationnelle, la différence de masse neutron-proton, l'échelle d'accélération MOND, et la partition du secteur noir. Chacun est confronté à une mesure expérimentale indépendante. Chacun est dans sa tolérance énoncée.

Si la correspondance est une coïncidence — si cinq entiers structurellement liés produisent par hasard cinq nombres qui correspondent par hasard à cinq mesures — alors le livre est de la numérologie. Les Sollbruchstellen de chaque chapitre spécifient les conditions dans lesquelles cette interprétation serait confirmée.

La plupart de ces Sollbruchstellen impliquent soit des résultats expérimentaux spécifiques (mesurer l'équation d'état de l'énergie noire, résoudre la tension de Hubble, des calculs de précision de QCD sur réseau) soit des découvertes théoriques spécifiques (une septième face de la rupture, un contre-exemple à l'additivité des couches de masse, une dérivation formelle du rapport d'échelles de temps à partir d'un point de départ différent).

Si la correspondance n'est pas une coïncidence — si le système axiomatique produit effectivement ces cinq nombres parce que la structure les force — alors α fait le travail qu'un seul nombre mesuré devrait faire : fixer l'échelle pour tout ce qui est structurellement lié à la fuite du substrat, et laisser les relations structurelles produire le reste.

Le test est en cours. Au cours de la prochaine décennie, les Sollbruchstellen se déclencheront ou non. L'un ou l'autre résultat est instructif. Le livre parie que le cadre est juste ; les mesures feront le tranchage.

α est l'unique nombre. Tout le reste est structure.

Introduction

Un Axiome, Cinq Nombres

La physique a trois sortes de nombres.

Certains que tu mesures. La vitesse de la lumière. La constante de Planck. La constante de structure fine $\alpha \approx 1/137$. Ce sont des nombres que tu poses sur la page en lisant un instrument attentivement, en notant ce que l'instrument a dit, et en tabulant le résultat. Personne ne sait pourquoi l'univers a choisi les valeurs qu'il a choisies. Les mesures sont tout ce que nous avons.

Certains que tu dérites. L'impédance de l'espace libre découle de la permittivité du vide et de la vitesse de la lumière. Le rayon de Bohr découle de $\hbar$, m_e , et α . Ce ne sont pas des nombres indépendants — si tu as déjà les nombres mesurés, les nombres dérivés sortent de l'arithmétique. Aucune nouvelle mesure requise.

Et certains que tu ajustes. Un nombre ajusté est un nombre que la théorie ne produit pas, donc le modélisateur ajuste la valeur jusqu'à ce que la théorie corresponde à l'observation. Les masses des quarks dans le Modèle Standard sont ajustées. Les angles de mélange de Cabibbo-Kobayashi-Maskawa

sont ajustés. L'auto-couplage du Higgs est ajusté. La constante cosmologique Λ est ajustée. La densité de matière noire Ω_{DM} est ajustée. Compte les paramètres ajustés en physique fondamentale aujourd'hui — autour de vingt-cinq à trente à travers le Modèle Standard et la cosmologie Λ CDM.

Chaque paramètre ajusté est une question qui n'a pas reçu de réponse.

Un cadre avec vingt-cinq paramètres ajustés a un pouvoir descriptif énorme. Il peut accommoder presque n'importe quelle donnée que tu lui donnes. Mais son pouvoir explicatif est en conséquence faible. Il te dit ce qui est. Il ne te dit pas pourquoi.

Tu trimbales vingt-cinq à trente nombres que personne n'a été capable de dériver. Ils sont dans chaque atome de toi, dans la gravité qui retient ton poids au plancher, dans le taux auquel l'univers s'étend autour de toi. Ils ne sont pas optionnels. Ils ne sont pas non plus expliqués.

Ce livre réduit le compte.

Il part d'un seul axiome — $1:1 + 1 \times \varepsilon @ AS$, symétrie parfaite plus une rupture minimale au maintenant qui s'actualise — et dérive cinq quantités fondamentales. Zéro paramètre libre. Une entrée mesurée : α . Tout le reste structurel.

Les cinq prédictions couvrent une gamme de physique : les masses des particules (proton, neutron), la gravité (la constante gravitationnelle, l'échelle d'accélération MOND), et la cosmologie (la partition du secteur noir). Elles utilisent le même petit ensemble d'entiers — 21, 6, 3, 4 — dont chacun est dérivé indépendamment de la structure axiomatique avant qu'aucune constante ne soit calculée.

Elles utilisent le même couplage α , identifié au sein du cadre comme le taux de fuite du substrat. Elles utilisent la même structure perturbative : la géométrie statique domine, avec des corrections dynamiques en $O(\alpha)$ et des termes d'ordre supérieur plus petits en dessous.

Une note sur le compte. Le livre appelle celles-ci cinq prédictions parce que la dérivation structurelle les regroupe en cinq Parties. Le compte empirique est plus élevé. La Partie I prédit le rapport de masse proton-électron. La Partie II prédit la constante gravitationnelle. La Partie III prédit la différence de masse neutron-proton.

La Partie IV prédit à la fois l'échelle d'accélération MOND et, par inversion, la constante de Hubble. La Partie V prédit trois fractions de partition du secteur noir — énergie noire, matière noire, matière visible. Huit observables indépendantes à partir de cinq

dérivations. Le livre utilise « cinq prédictions » tout du long comme raccourci pour le compte des chapitres. Là où la précision importe, le nombre est huit.

La revendication spécifique de ce livre, énoncée directement :

Si les dérivations sont correctes, alors ce qui était auparavant vingt-cinq à trente paramètres ajustés en physique fondamentale sont des conséquences d'un seul système axiomatique. Le rapport de masse, la force gravitationnelle, l'échelle MOND, la composition du secteur noir — ce ne sont pas des quantités ajustables indépendantes de la nature. Ce sont des lectures de la même structure sous-jacente, prises à différentes échelles.

C'est une revendication forte. Elle mérite un examen fort.

Chaque Partie inclut une section Sollbruchstelle nommant exactement ce qui falsifierait la revendication. Chaque Partie se termine par une proposition de recherche nommant des expériences ou calculs spécifiques qui pourraient confirmer ou détruire la prédiction. Aucune des Sollbruchstellen n'est actuellement déclenchée. Toutes sont actives.

Si le cadre est juste, la prochaine décennie de physique de précision fournira des tests décisifs. Des

mesures améliorées de G. Des expériences de précision sur la masse du neutron. Des relevés cosmologiques à grand décalage vers le rouge d'Euclid, Rubin LSST, DESI. La non-détection continue de particules de matière noire. Les prédictions sont nettes. Elles ne peuvent pas se cacher derrière des ajustements de paramètres, parce qu'il n'y a pas de paramètres à ajuster.

Si le cadre est faux, les mêmes expériences montreront où. Les modes d'échec sont spécifiés à l'avance. Les Sollbruchstellen sont publiques.

Voilà la structure. Cinq chapitres. Cinq nombres. Un axiome.

Le livre est écrit pour être lu d'un trait. Chaque Partie est autonome si tu préfères les lire sélectivement. La Partie I est le vaisseau amiral. Elle établit le vocabulaire structurel que les quatre autres Parties utilisent — canaux, faces, taux de fuite, le compte d'entiers qui se poursuit à travers chaque chapitre.

Si tu ne vas lire qu'une seule Partie, lis la Partie I. Si tu vas survoler, concentre-toi sur les sections Sollbruchstelle et les propositions de recherche. C'est là que le travail rencontre le monde.

Partie I - Le Poids du Proton

Le rapport de masse proton-électron, dérivé à 0.010 ppb

Prédit : 1836.1526734444

Mesuré : 1836.152673426 (CODATA 2022)

Résidu : 0.010 ppb — dans l'incertitude CODATA 2022 (0.017 ppb) à 0.6σ

Une entrée mesurée : $\alpha \approx 1/137$. Zéro paramètre libre.

Tu lis cette phrase avec des yeux qui existent, dans un corps qui existe, sur une planète faite d'atomes qui tiennent ensemble. Rien de tout cela n'arriverait si le proton était 1 835 fois plus lourd que l'électron. Ou 1 837 fois. Le nombre qui rend tout cela possible — le rapport autour duquel chaque atome de ton corps est construit — est 1836.152673426.

Ce nombre est le nombre de fois qu'un proton est plus lourd qu'un électron. C'est l'une des quantités les plus précisément mesurées de toute la physique, connue à onze chiffres significatifs. Depuis plus d'un siècle, les physiciens l'ont affinée dans des laboratoires de plus en plus silencieux, avec des pièges plus froids et des horloges plus stables, et chaque raffinement a ajouté un autre chiffre de certitude.

Le proton siège au noyau, presque deux mille fois plus lourd que l'électron qui l'orbite. Cette asymétrie de masse est ce qui fait qu'un atome a l'apparence qu'il a. L'électron, étant léger, a de la place pour bouger — il s'étale en un nuage de probabilité autour du noyau, et ce nuage est ce qu'est réellement la chimie.

Les liaisons chimiques se forment quand les nuages se chevauchent. Les molécules tiennent ensemble parce que les nuages partagent l'espace. L'ADN existe parce que des nuages spécifiques se posent en des formes spécifiques. Chaque protéine de ton corps, chaque signal dans ton cerveau, chaque goutte d'eau sur Terre — tout cela est en aval de ce rapport.

Change le rapport d'un pour cent, et rien de tout cela ne fonctionne.

Si le proton n'était que cent fois plus lourd que l'électron au lieu de 1 836 fois plus lourd, le proton lui-même vibrerait davantage. Les noyaux seraient moins stables. Les niveaux d'énergie à l'intérieur des atomes se décaleraient. La chimie existerait toujours mais ce serait une chimie différente — des forces de liaison différentes, des formes moléculaires différentes, des réactions différentes.

Les protéines se replieraient différemment, ou pas du tout. L'ADN pourrait être incapable de se stabiliser.

Les conditions de la vie telle que nous la connaissons changeraient, et probablement disparaîtraient.

Si le proton était dix mille fois plus lourd, les atomes seraient minuscules et rigides. Les électrons seraient verrouillés en positions fixes. La chimie gèlerait. Aucune réaction, aucune biologie.

Le rapport réel, 1 836, se situe dans une bande étroite où les atomes sont stables mais réactifs, où la chimie est possible mais pas verrouillée, où la biologie a de la place pour arriver. Ce n'est pas une coïncidence que les physiciens commentent puis dépassent. C'est l'un des nombres les plus précisément mesurés de la science. Et dans toute la physique, en plus d'un siècle d'effort théorique, aucun cadre ne l'a jamais dérivé.

La formule utilise une entrée mesurée — la constante de structure fine $\alpha \approx 1/137$ — et trois entiers : 21, 3, et 4. Ces entiers ne sont pas choisis. Ils ne sont pas ajustés. Ce sont des sorties du système axiomatique, dérivées dans des travaux antérieurs. 21 est le nombre de canaux géométriques indépendants dans l'arène. 3 est le nombre de dimensions spatiales et le nombre de charges de couleur dans la force forte. 4 est le nombre de dimensions de l'espace-temps. Chacun est dérivé, pas supposé.

La prédiction correspond à la mesure à 0.010 parties par milliard près. C'est dans l'incertitude expérimentale CODATA 2022 de 0.017 parties par milliard — 0.6 écart-type de la valeur centrale. La prédiction se situe à l'intérieur de la barre d'erreur de l'une des quantités les plus précisément déterminées de toute la physique, sans paramètre libre à régler.

Rien d'ajustable. Rien de réglé. Ou bien cela correspond, ou bien cela ne correspond pas.

Cela correspond.

Ce chapitre te guide à travers la dérivation, étape par étape, dans un langage qu'un sortant du lycée peut suivre. Il nomme les hypothèses. Il nomme les Sollbruchstellen — les conditions dans lesquelles la dérivation est fausse. Et il propose les expériences spécifiques qui confirmeraient ou détruiraient la revendication.

La première question à laquelle répondre est pourquoi la formule fonctionne tout court. Pourquoi une poignée d'entiers et une constante mesurée devraient-ils donner la masse du proton à onze décimales près ? La réponse est que la masse n'est pas ce que tu penses qu'elle est.

Le rapport qui a construit l'univers

Tu es fait de protons. Environ 10^{28} d'entre eux — dix milliards de milliards de milliards. Chacun est stable depuis à peu près les premières microsecondes après le Big Bang. Le proton est le plus ancien objet composé de l'univers.

Chaque atome de ton corps a été assemblé à partir de protons et de neutrons et d'électrons, et les protons au centre de ces atomes ont été des protons, inchangés, pendant quatorze milliards d'années. La particule qui donne à ton corps son poids a survécu plus longtemps qu'aucune étoile qui ait jamais existé.

Le neutron, qui est aussi à l'intérieur de tes noyaux atomiques, n'est pas stable en dehors des noyaux. Un neutron libre se désintègre en environ 880 secondes — quinze minutes — en un proton, un électron, et un neutrino.

Mais un proton, pour autant qu'aucune expérience n'ait jamais été capable de le détecter, ne se désintègre pas du tout. La borne inférieure expérimentale actuelle sur la durée de vie du proton est de plus de 10^{34} ans — presque mille milliards de milliards de fois l'âge de l'univers. Les protons sont, pour autant que quiconque puisse le mesurer, éternels.

La masse de cette particule permanente, mesurée contre l'électron, est 1836.152673426. C'est la

constante structurelle de la matière. C'est le rapport dont dépend l'architecture des atomes. Et c'est le rapport que le Modèle Standard ne peut pas dériver.

La mesure

Ernest Rutherford a découvert le proton en 1919. Dès 1932, les physiciens avaient mesuré le rapport de sa masse à celle de l'électron à environ trois chiffres significatifs. Au cours des quatre-vingt-dix années suivantes, ce nombre s'est affiné à travers des générations successives d'expériences de piège de Penning — des dispositifs qui confinent des particules chargées uniques dans des champs électriques et magnétiques précisément contrôlés.

Dès 2022, CODATA a rapporté $m_p/m_e = 1836.152673426(32)$, où le nombre entre parenthèses est l'incertitude sur les deux derniers chiffres — une incertitude relative de 1.7×10^{-11} , ou 0.017 parties par milliard. La mesure n'est pas controversée. C'est l'un des nombres les plus fiables de la physique expérimentale.

Quatre manières dont la question ne s'est pas refermée

Si 1 836 a été mesuré depuis plus d'un siècle, quelque chose aurait dû l'expliquer à ce stade. Quatre programmes ont essayé. Chacun mérite d'être nommé, et chacun a un site spécifique où il ne s'est pas refermé.

La première réponse est d'hériter du nombre via les masses des quarks. Le Modèle Standard de la physique des particules — dont les prédictions concordent avec l'expérience à mieux qu'une partie sur 10^{12} pour le moment magnétique de l'électron — prend les masses des quarks comme entrée. Dis-lui les masses, et il calcule la masse du proton.

Mais les masses des quarks elles-mêmes ne sont pas dérivées. La masse de chaque quark provient de sa force d'interaction avec le champ de Higgs, et le mécanisme de Higgs ne détermine pas quelle force d'interaction chaque quark devrait avoir. Les forces d'interaction sont des paramètres libres, réglés pour correspondre à l'observation. Le rapport a été hérité, pas expliqué.

La deuxième réponse est computationnelle : la QCD sur réseau. La QCD sur réseau simule la force forte sur une grille de supercalculateur, et

calcule la masse du proton à partir des masses des quarks et du couplage fort. La masse du proton, il s'avère, n'est pas la somme des masses de ses quarks. Le quark up a une masse d'environ $2.2 \text{ MeV}/c^2$.

Le quark down environ $4.7 \text{ MeV}/c^2$. Deux ups et un down s'additionnent à environ 9. La masse du proton est 938. Les masses des quarks représentent environ un pour cent de la masse du proton ; les autres 99 % sont l'énergie de la liaison de la force forte.

L'article de 2008 de la collaboration BMW dans Science a démontré que le spectre des hadrons légers peut être calculé à partir du Modèle Standard sans paramètres libres au-delà de ceux de la théorie elle-même. C'est une réalisation magnifique. Mais la QCD sur réseau prend les masses des quarks comme entrées. Elle confirme que le Modèle Standard est cohérent en lui-même. Elle n'explique pas pourquoi 1 836 et pas quelque autre nombre.

La troisième réponse est l'unification. Les théories de grande unification proposent des relations de masse entre différentes particules — l'électron et le tau, le proton et le neutron — dérivées de groupes de jauge plus grands qui incorporent le Modèle Standard. Chaque proposition a son propre attrait. Aucune n'a

dérivé le rapport de masse proton-électron à partir de premiers principes.

La quatrième réponse est la gravité quantique. La théorie des cordes n'a pas produit de nombre. La gravité quantique à boucles n'a pas produit de nombre. La supersymétrie, dans les versions censées expliquer les masses des hadrons, n'a pas produit de nombre non plus. Les programmes qui promettaient d'aller plus profond que le Modèle Standard n'ont, après un demi-siècle d'effort, pas produit l'un des rapports les plus précisément mesurés de la physique.

Quatre réponses. Quatre manières d'échouer. Le rapport a été hérité, calculé, spéculé, et reporté — mais pas dérivé.

Ce chapitre le dérive.

Ce que signifierait une dérivation

Une formule qui dérive le rapport de masse proton-électron à partir d'entiers structurels et d'une constante de couplage mesurée, sans aucune masse de quark comme entrée, signifierait que la masse du proton n'est pas arbitraire. Cela signifierait que la masse du proton est de la géométrie. Un compte de quelque chose. Une caractéristique de la variété

espace-temps elle-même, pas une propriété d'entrées de particules spécifiques.

Si c'est vrai, les conséquences se propagent vers l'extérieur. Les masses des quarks, qui dans le Modèle Standard ressemblent à des paramètres ajustables indépendants, seraient elles-mêmes des conséquences d'une structure géométrique plus profonde.

La hiérarchie des masses des particules — pourquoi le muon est 207 fois plus lourd que l'électron, pourquoi le tau est 3 477 fois plus lourd — pourrait être dérivable des mêmes principes. La masse du proton, la constante gravitationnelle (Partie II), l'échelle MOND (Partie IV), et la composition du secteur noir (Partie V) seraient toutes des expressions de la même variété sous-jacente.

Une seule formule correspondant à la mesure à 0.010 ppb près serait remarquable. Mais ce serait le coup d'ouverture d'un argument bien plus vaste. La formule est significative non seulement parce qu'elle fonctionne, mais parce qu'elle suggère qu'une dérivation structurelle unifiée des constantes fondamentales est possible tout court. Voilà l'enjeu.

La masse n'est pas de la substance

Avant que la dérivation ne commence, une note sur les quarks — le nom que la plupart des lecteurs apportent à ce chapitre.

Le cadre ne nie pas les quarks. Il les réinterprète. Les trois quarks sont les trois faces de couleur de la variété, lues à travers la force forte. Les gluons sont les voies d'échange entre eux.

Les deux descriptions produisent le même objet physique. Les deux s'accordent sur chaque observable. Ce que ce chapitre ajoute est une réponse à la question que la QCD ne peut pas poser : d'où viennent les masses des quarks ? Réponse : la géométrie des canaux elle-même. Le proton a des quarks. Les quarks sont les faces de couleur de la variété.

Avec cela en main — la ligne qui importe maintenant.

La masse n'est pas de la substance. La masse est de la résistance.

Cette phrase sonne étrangement. La voici d'une manière différente. Quand tu pousses quelque chose de lourd, tu ne luttas pas contre la matière dont c'est fait. Tu luttas contre la structure.

Pense à traîner un nœud emmêlé de corde à travers un passage étroit dans une clôture. Le nœud accroche. Plus il est emmêlé, plus il accroche. Un

morceau de corde droit glisse à travers facilement. Un nœud complexe se coince contre le passage. L'accrochage est la résistance. La résistance est ce que tu ressens quand tu tires.

Maintenant suppose que les deux cordes sont faites du même matériau et pèsent exactement pareil. Sur une balance, les deux affichent le même nombre. Mais si tu essaies de les déplacer à travers le passage, celle qui est emmêlée est plus difficile à pousser. Elle résiste davantage.

Cette résistance supplémentaire est la masse — et le poids sur la balance n'est qu'une manière de la mesurer. La masse apparaît partout où la structure doit se déplacer, que ce soit à travers un passage, à travers l'espace, ou contre une force accélératrice.

L'électron est le nœud le plus simple possible. Une rupture dans le substrat. Un canal. Une unité de résistance. C'est la structure minimale viable qui peut exister et persister — la plus petite chose qui satisfait les quatre axiomes simultanément. C'est la rupture minimale. Sa masse, m_e , est l'unité contre laquelle chaque autre masse est mesurée. Chaque particule est un certain nombre de m_e . Pour le proton, ce nombre est 1 836.

Donc la question est : pourquoi le proton est-il 1 836 fois plus emmêlé que l'électron ?

Le bâtiment et ses pièces

Le proton est le nœud stable le plus complexe que le substrat peut faire. Pour compter sa complexité, tu dois savoir ce que le substrat a à offrir — combien de manières distinctes la structure peut exister.

Imagine un bâtiment. Il a 21 corridors, chacun menant à une pièce différente. Il a 4 étages. Chaque corridor existe à chaque étage. Chaque pièce peut se connecter à chaque autre pièce.

L'électron vit dans une pièce. Il utilise un corridor, à un étage. Un canal. Sa résistance est 1.

Le proton vit dans le bâtiment entier. Il utilise les 21 corridors à tous les 4 étages, et chaque pièce se connecte à chaque autre pièce. C'est pourquoi le proton est plus complexe. Non parce qu'il a plus de substance, mais parce qu'il a plus de structure.

D'où viennent ces nombres — 21, 3, 4 ? Ils sont dérivés du système axiomatique.

21 canaux. La rupture ε a six manières indépendantes dont elle peut être lue — six faces. Ce sont : la masse (me), la vitesse de propagation (c), la persistance géométrique (G),

le couplage de phase (α), la raideur du tissu, et la direction temporelle. Chacune est une mesure scalaire différente de la même rupture, comme six photographies de la même montagne prises depuis six vallées différentes.

AP24 identifie les six faces et prouve leur complétude — aucune septième face indépendante n'existe.

Chaque face se projette à travers trois dimensions spatiales, donnant $6 \times 3 = 18$ projections de face. Trois degrés de liberté supplémentaires couplent le « maintenant » — l'état d'actualisation — à chaque direction spatiale. Total : $18 + 3 = 21$.

Le couplage de phase est α — la même constante de structure fine qui apparaît comme l'unique entrée mesurée dans la formule de ce chapitre. α est l'une des six lectures scalaires de la rupture, et c'est aussi le taux de fuite du substrat (AP06) — la probabilité que la rupture se couple à elle-même à travers un canal.

Les deux lectures sont la même quantité à des niveaux structurels différents. Quand α apparaît plus bas comme le taux de couplage de la maintenance dynamique, c'est le même α identifié ici comme l'une des six faces de ε .

3 dimensions spatiales. Le système d'axiomes produit quatre degrés de liberté indépendants,

un par axiome. L'un devient la direction temporelle (à partir de l'Axiome R, l'irréversibilité). Trois deviennent spatiaux. Ces trois-là correspondent aux trois faces de la force forte — les trois couleurs de la chromodynamique quantique — et à trois rôles structurels joués par la rupture : propagation, échange, et rupture elle-même. Dérivé dans AP10.

4 dimensions d'espace-temps. Trois spatiales plus une temporelle. Même dérivation.

Le vocabulaire étant établi, le compte commence.

Couche 1 — La capacité de la variété : $21^2 \times 4 = 1\ 764$

La première et plus grande couche compte l'empreinte géométrique totale du proton.

Le proton intègre l'ensemble des 21 canaux à travers les 4 dimensions d'espace-temps. Chaque canal a une expression à chaque étage du bâtiment. Vingt et un corridors sur quatre étages : $21 \times 4 = 84$ expressions dimensionnelles. Voilà le premier compte.

Mais ces 84 expressions n'existent pas isolément. Chaque expression se couple en retour à chacun des 21 canaux. Chaque corridor à chaque étage se

connecte à tout autre corridor. Une particule de passage qui entre par le canal 7 à l'étage 2 doit considérer son interaction avec l'ensemble des 21 canaux. Le réseau de résistance complet est $84 \times 21 = 1\,764$. Ou, écrit de façon compacte : $21^2 \times 4$.

$$21^2 \times 4 = 1,764$$

C'est le terme dominant. Il rend compte d'environ 96 % du rapport de masse. Le proton résiste 1 764 fois plus que l'électron nu parce qu'il remplit tout le réseau de canaux à travers l'ensemble des dimensions d'espace-temps.

Couche 2 — La projection des faces : $21 \times 3 = 63$

La deuxième couche compte le coût de l'ancrage.

Le proton n'est pas n'importe quel objet à 21 canaux. C'est spécifiquement un objet de la force forte — fait de quarks liés par des gluons. La force forte est décrite par SU(3), le groupe mathématique de trois charges de couleur. Les physiciens les appellent rouge, vert et bleu. Ce ne sont pas des couleurs réelles. Ce sont des étiquettes. Les trois couleurs correspondent aux trois faces de la variété — les trois dimensions spatiales lues comme des rôles structurels.

Ainsi les 21 canaux doivent s'ancrer à ces trois faces spécifiques. Chaque canal doit décider à quelle face il

appartient, puis s'engager sur cette face. Un engagement structurel coûte de la résistance. Chaque canal ancré à chaque face :

$$21 \times 3 = 63$$

Vois cela comme peindre un bâtiment. Les 21 corridors sont déjà là, mais chacun doit être peint dans l'une de trois couleurs — rouge, vert ou bleu — et le motif de couleurs doit être cohérent dans tout le bâtiment. La peinture est un travail supplémentaire, un détail structurel supplémentaire, une résistance supplémentaire. Le travail consistant à décider quel corridor reçoit quelle couleur, et à garder le schéma cohérent à travers les quatre étages, représente 63 unités d'engagement structurel additionnel.

Remarque que la Couche 2 utilise moins de nombres du corpus que la Couche 1. La Couche 1 utilisait {21, 4}. La Couche 2 utilise {21, 3}. Le nombre 4 a disparu, parce que le schéma de couleurs est le même à travers les quatre étages — il n'ajoute pas un autre facteur. C'est le début de l'imbrication hiérarchique qui fait de 1 836 une décomposition propre.

Couche 3 — La matrice d'échange statique : $3^2 = 9$

La troisième et plus petite couche compte le surcoût de communication.

Les trois faces de couleur ne peuvent pas simplement se tenir tranquillement côte à côte. La force forte est confinante : tu ne peux pas extraire un quark d'un proton.

Si tu essaies, l'énergie requise pour séparer un quark rouge d'un quark vert devient si grande qu'à un certain point il est moins coûteux pour l'univers de créer une nouvelle paire de quarks — un rouge, un anti-rouge — et de rompre la séparation de cette façon. Le confinement n'est pas un bug. C'est une caractéristique de la force forte.

Le confinement exige un échange continu. Les trois faces doivent continuellement s'échanger des charges de couleur entre elles, via des gluons, pour maintenir l'état global neutre en couleur. La matrice d'échange complète — chaque face communiquant avec chaque face, y compris elle-même — est $3 \times 3 = 9$ voies.

$$3^2 = 9$$

Dans le Modèle Standard, l'échange de charge de couleur est médié par 8 gluons — les 8 générateurs du groupe SU(3). Les 8 gluons sont mesurés expérimentalement. La production de jets dans les

collisionneurs de particules en dépend. D'où vient le neuvième compte ?

Les 8 gluons sont les voies. Le 9e est l'exigence structurelle que l'état lié soit neutre en couleur. Le confinement est exactement cette exigence — tout état coloré isolé est interdit, parce que le singulet de couleur est la seule configuration stable. Les 8 gluons font l'échange. La condition de singulet de couleur est la Contrainte de fermeture qui garde l'échange à l'intérieur du proton plutôt que de fuir vers l'extérieur. Huit voies plus une condition de fermeture : neuf éléments de la matrice d'échange.

La Couche 3 n'utilise que {3}. Le nombre 21 a disparu — cette couche compte les voies entre les trois faces seulement, non à l'intérieur de la structure des canaux. L'imbrication se resserre : {21, 4}, puis {21, 3}, puis {3}. Chaque couche répond à une question plus spécifique, en utilisant moins de primitives structurelles.

Total de résistance statique :

$$1,764 + 63 + 9 = 1,836$$

C'est l'axiome qui tourne. {S, B, R, C} produit la variété ; la variété produit 21 canaux à travers 4 étages avec 3 faces de couleur ; le proton intègre le tout — en ce moment même, à chaque site où un proton existe. L'entier 1 836 n'est pas un nombre que

le proton se trouve avoir. C'est le compte que l'axiome impose, à AS, quand la rupture remplit chaque pièce que la variété offre.

Trois termes. Trois couches. Chacune utilise moins de nombres du corpus que la précédente. Chacune répond à une question structurellement distincte à propos du proton. Ce n'est pas une factorisation de $1\ 836 = 1\ 836$ a de nombreuses factorisations. C'est une lecture hiérarchique de $1\ 836$ dans le langage de la variété, en n'utilisant que les entiers dérivés $\{21, 3, 4\}$.

Pourquoi les couches s'additionnent

Mais attends. Pourquoi les couches s'additionnent-elles ? Pourquoi ne pas multiplier ? Pourquoi ne pas combiner d'une façon plus complexe ?

Parce que les axiomes sont indépendants.

Les quatre axiomes $\{S, B, R, C\}$ sont indépendants. Aucun axiome ne peut être dérivé des trois autres. Cela est argumenté dans AP20.

Chacune des trois couches de la décomposition remonte à un sous-ensemble différent de ces axiomes.

Couche 1 — la capacité de la variété — dépend des quatre axiomes agissant ensemble, à travers la structure complète des canaux.

Couche 2 — la projection des faces — dépend spécifiquement de la structure spatiale issue de $\{S, C\}$: trois dimensions spatiales projetées sur trois faces de couleur via AP19.

Couche 3 — la matrice d'échange statique — dépend de la condition de confinement issue de $\{S, R\}$: les trois faces doivent maintenir un échange continu pour que l'état lié persiste comme un enregistrement fermé.

Trois couches. Trois sous-ensembles d'axiomes. Trois contraintes structurelles indépendantes agissant sur trois degrés de liberté indépendants.

Des contraintes indépendantes agissant sur des degrés de liberté indépendants contribuent additivement. C'est le même principe qui gouverne l'énergie en mécanique statistique. Si l'espace d'états d'un système est le produit cartésien de sous-espaces indépendants, l'énergie totale est la somme des contributions de chaque sous-espace. Pas de termes croisés. Pas de surprises. Juste une addition.

Trois maçons, chacun travaillant sur un aspect différent d'une fondation. L'un coule le béton. L'un pose l'armature d'acier. L'un installe le drainage. Ils n'interfèrent pas entre eux. Le travail total est la somme de leurs contributions, non le produit. Des causes indépendantes produisent des effets additifs.

C'est le point formel le plus faible de la dérivation, et il est nommé comme tel.

Deux sortes distinctes d'indépendance sont en jeu ici, et il importe de ne pas glisser de l'une à l'autre.

L'indépendance des axiomes — argumentée dans AP20 — est l'affirmation qu'aucun axiome de $\{S, B, R, C\}$ ne peut être dérivé des trois autres.

L'indépendance des couches est une affirmation différente : que les trois termes de la décomposition de la masse du proton vivent sur trois sous-espaces véritablement orthogonaux de l'espace d'états du proton, de sorte que la résistance totale se factorise comme une somme plutôt que comme un produit.

L'indépendance des axiomes est une entrée de l'argument d'indépendance des couches, non l'argument lui-même. Chaque couche dépend d'un sous-ensemble différent des axiomes, donc les sous-espaces doivent se factoriser. C'est suggestif mais non un théorème. Un lecteur attentif remarquera que l'axiome S apparaît dans les trois sous-ensembles de couches — Couche 1 sur les quatre, Couche 2 sur $\{S, C\}$, Couche 3 sur $\{S, R\}$.

S est partagé. La Sollbruchstelle KS-30.1 est cette question, formalisée : l'axiome partagé S peut-il produire un terme croisé non négligeable entre couches que la décomposition additive ignore ? S'il le

peut, la combinaison n'est pas additive et l'entier 1 836 n'est plus de l'arithmétique pure.

La structure de produit cartésien de l'espace d'états du proton est argumentée ici, non exhibée comme un théorème. KS-30.1 demeure le point formel le plus vulnérable de la dérivation. La clore exigera soit une preuve explicite de l'orthogonalité des couches sur l'axiome partagé S, soit une démonstration que tout terme croisé s'annule à la précision pertinente pour la prédiction.

La coda de Sollbruchstelle ci-dessous donne la condition de déclenchement. Le corpus liste ceci comme la Dette D19 — une obligation déclarée mais non encore acquittée.

La décomposition est unique

Un sceptique va maintenant demander : est-ce la seule façon d'écrire 1 836 à partir de ces entiers ? L'énumération complète clôt la question au sein d'une famille bien spécifiée.

Trois conditions épinglent la famille. Les trois termes doivent sommer à 1 836. Chaque terme doit être un produit de puissances entières non négatives de {21, 3, 4}. Et l'exposant de 21 doit strictement décroître à travers les trois termes — la Couche 1 porte deux copies du compte de canaux, la Couche 2 en porte

une, la Couche 3 en porte zéro. Ce délestage progressif d'arènes est ce qui rend la décomposition structurellement signifiante plutôt qu'une coïncidence arithmétique.

L'énumération a été menée par ordinateur. Sous les deux premières conditions seules, onze sommes à trois termes atteignent 1 836. Sous les trois ensemble, exactement une décomposition survit : celle dérivée ci-dessus. L'unicité au sein de cette famille est établie par énumération, non affirmée. La liste complète est reproduite dans l'Annexe C.

La Sollbruchstelle KS-30.4 n'est pas close par cette énumération. KS-30.4 pose une question plus large : une formule alternative, utilisant des entiers structurels différents ou une condition structurelle entièrement différente, correspond-elle aussi au rapport de masse proton-électron à une précision comparable ? L'unicité intra-famille est close. L'ouverture inter-familles demeure. KS-30.4 garde l'affirmation plus large, désormais aiguillée à sa portée précise.

Le proton respire — la maintenance dynamique

L'entier 1 836 est la géométrie statique. La résistance de la structure au repos, ne comptant que l'architecture. Mais le proton n'est pas statique intérieurement. C'est un objet dynamique

bouillonnant. Trois quarks échangent continuellement des gluons, maintiennent le confinement, soutiennent l'état lié. Cette activité coûte de l'énergie, et le coût se manifeste comme une masse additionnelle.

Le proton doit se soutenir contre la tendance du substrat à refermer la rupture qui a créé le proton en premier lieu. Le substrat ne veut pas être fissuré. Il essaie constamment de guérir. Le proton existe parce qu'il maintient la fissure ouverte à travers l'ensemble des 21 canaux simultanément — et ce maintien exige un effort continu.

Le taux auquel le substrat pousse en retour est α . C'est ce à quoi préparait l'identification des faces dans la section précédente : α est l'une des six lectures scalaires de ε , et il est aussi, par AP06, le taux de fuite du substrat — la probabilité qu'une interaction donnée entre la rupture et elle-même s'actualise. Le taux de couplage fondamental du substrat est α .

Une question naturelle : pourquoi α et non le couplage fort α_s ? Le couplage fort est ce qui maintient les quarks ensemble à l'intérieur du proton. N'est-ce pas cela qui fixe le coût dynamique du proton ?

Des tâches différentes, des couplages différents. Le couplage fort α_s maintient les quarks les uns aux autres. α maintient le proton dans l'existence. α décrit comment les quarks interagissent entre eux à l'intérieur du proton. Le coût de maintenance dynamique est le couplage du proton au substrat — le taux auquel la fissure fuit. Ce taux est α . Toutes les autres constantes de couplage — α_s , α_G (le couplage gravitationnel) — sont dérivées de α à travers la géométrie des canaux. Le taux fondamental du substrat est α .

Le couplage doit couvrir l'ensemble des 21 canaux, parce que le proton les intègre tous les 21. Chaque canal contribue une unité de α au couplage dynamique total :

$$\alpha \times 21 = 0.15324$$

La correction de fuite : $1 - 1/(84\pi)$

Mais tout ce 0.15324 ne reste pas au sein de l'état lié. Une partie rayonne vers l'extérieur à mesure que le proton fuit dans son environnement.

La correction de fuite est le facteur $1/(84\pi)$, qui réduit le terme dynamique de premier ordre. Deux éléments géométriques indépendants se combinent pour produire ce facteur.

Le 1/84. Le couplage dynamique a 84 expressions dimensionnelles : 21 canaux $\times$ 4 dimensions d'espace-temps. La fuite se distribue uniformément à travers les 84 expressions — chacune fuit une part égale. Le facteur 1/84 est le taux de fuite par expression.

Remarque que 84 est le même 84 qui est apparu dans la Couche 1, où $1\ 764 = 84 \times 21$. La structure dimensionnelle de la variété engendre à la fois la résistance statique et normalise la fuite dynamique. Les canaux par lesquels le proton résiste sont les mêmes canaux par lesquels sa maintenance fuit.

Le 1/ π . Chaque expression dimensionnelle, en fuyant, se projette sur une frontière circulaire de la variété — la même section transversale circulaire qui caractérise l'électron comme une perforation topologique. Le poids géométrique de cette projection est 1/ π . C'est le même 1/ π qui apparaît dans la dérivation de la constante gravitationnelle de la Partie II, où il surgit de la frontière circulaire de perforation de l'électron. Les deux cas sont des projections sur une frontière circulaire de grand cercle dans la géométrie de la variété.

Les deux facteurs se combinent :

$$1 / (84\pi) = (1/84) \times (1/\pi) = 0.003789$$

En soustrayant ceci de l'unité — parce que la fraction de fuite est ce qui s'échappe, et la fraction retenue entraîne la correction dynamique :

$$\alpha \times 21 \times (1 - 1/(84\pi)) = 0.1526637$$

C'est la correction de premier ordre. Elle capture le coût respiratoire du proton, moins la petite fraction qui rayonne dans la variété au lieu de rester au sein de l'état lié.

La matrice d'échange de second ordre : $16 = 4^2$

La correction de premier ordre capture la maintenance dynamique. Mais la maintenance dynamique elle-même n'est pas parfaitement efficace. Le couplage qui soutient le proton est lui-même un couplage, et les couplages fuient. C'est $1:1 + 1 \times \varepsilon @$ AS opérant récursivement : la rupture rompt sa propre réparation — en ce moment même, à chaque proton de ton corps.

Au second ordre, un nouveau compte structurel est nécessaire. Le couplage de premier ordre se propage à travers les 21 canaux dans l'espace de couleur et fuit dans l'espace-temps. Le couplage de second ordre doit se propager en retour : l'amplitude fuie doit se re-coupler à l'état lié. Le re-couplage exige de passer par l'espace-temps, parce que c'est là que vit

l'amplitude fuie — elle a quitté l'espace de couleur et se trouve maintenant dans la variété d'espace-temps.

Le re-couplage de second ordre est une structure d'espace-temps de rang 2. L'énergie quitte l'état lié dans une certaine direction d'espace-temps μ et revient dans une certaine direction ν . μ et ν parcourent tous deux les quatre dimensions d'espace-temps (une temporelle, trois spatiales). L'ensemble complet des paires de directions d'espace-temps (sortante, entrante) est $4 \times 4 = 16$.

$$4^2 = 16$$

C'est la matrice d'échange de second ordre. C'est le parallèle naturel de la matrice d'échange statique de la Couche 3, à un niveau structurel différent. La Couche 3 comptait l'échange entre les trois faces de couleur dans l'espace de couleur : $3 \times 3 = 9$. La correction de second ordre compte l'échange entre les quatre dimensions d'espace-temps : $4 \times 4 = 16$. Ce sont toutes deux des matrices d'échange. La différence est le niveau structurel — statique dans l'espace de couleur, dynamique dans l'espace-temps.

Cet objet de rang 2 apparaît partout en théorie quantique des champs. Tout champ tensoriel de rang 2 en 4D a $4^2 = 16$ composantes indépendantes. Le 16 complet est le bon objet structurel ici parce que le re-couplage de second ordre ne place aucune contrainte

de symétrie sur les directions d'espace-temps entrantes et sortantes — elles sont spécifiées indépendamment. La matrice complète est le bon objet structurel pour un couplage de rang 2 non restreint.

Le coefficient $O(\alpha^2)$ est donc :

$$21 \times 16 / 1836$$

Le 21 est le compte primaire de canaux, comme au premier ordre. Le 16 est la matrice d'échange d'espace-temps de second ordre qui vient d'être dérivée. Le 1836 est la résistance statique de l'état lié — les Couches 1 + 2 + 3 — servant de normalisation.

Une note sur ce 1836 au dénominateur. C'est l'entier statique — le compte géométrique $(21^2 \times 4) + (21 \times 3) + (3^2)$. Ce n'est pas le rapport de masse proton-électron mesuré. Les deux quantités partagent la partie entière de leur valeur par construction, ce qui est l'affirmation centrale de ce chapitre.

Mais dans le terme $O(\alpha^2)$, le 1836 est un compte structurel, non une mesure. Son rôle ici est la normalisation. La correction $O(\alpha)$ est le coût dynamique fractionnaire relatif à l'état lié statique ; la correction $O(\alpha^2)$ est la correction fractionnaire à cette correction fractionnaire ; et la normalisation naturelle pour les deux est le compte statique.

Chaque nombre dans ce coefficient est dérivé. Aucun entier importé. Le terme $O(\alpha^2)$ complet :

$$\alpha^2 \times 21 \times 16 / 1836 = 0.0000097$$

Le nombre

En rassemblant toutes les pièces — pour la première fois, la formule complète :

$$\mathbf{mp / me = 1836 + \alpha \times 21 \times (1 - 1/(84\pi)) + \alpha^2 \times 21 \times 16/1836}$$

Trois termes empilés, affichés à dix décimales. La géométrie statique contribue 1836.0000000000. La respiration-et-fuite de premier ordre contribue 0.1526636991. La fuite de la fuite de second ordre contribue 0.0000097453. La somme : 1836.1526734444.

Valeur mesurée (CODATA 2022) :

1836.152673426(32), incertitude expérimentale 1.7×10^{-11} , soit 0.017 parties par milliard. Le résidu de la formule par rapport à la valeur centrale mesurée est

de 0.010 parties par milliard — 0.6 écart-type à l'intérieur de la barre d'erreur de la mesure.

La formule de premier ordre tronquée à $O(\alpha)$ donne 1836.1526636991, un résidu de 5.3 ppb. Le terme de second ordre réduit le résidu à 0.010 ppb. La correction $O(\alpha^2)$ a déjà été pleinement confirmée par la mesure. Ce n'est pas une prédiction en attente de test. C'est une contribution déjà requise pour l'accord.

Chaque nombre dans cette formule est soit un entier structurel issu de la géométrie de la variété ($\{21, 3, 4\}$), soit la constante de structure fine α (mesurée), soit la constante géométrique π . Rien n'est ajusté. Rien n'est corrigé. Rien n'est réglé.

Pourquoi la formule ne peut pas être exacte

Le résidu — 0.010 ppb au second ordre — n'est pas du bruit. Ce n'est pas une erreur expérimentale. Ce n'est pas un terme manquant. Il est structurellement requis.

L'axiome directeur dit $1:1 + 1 \times \varepsilon$ @ AS. Symétrie parfaite plus une fissure minimale, au maintenant qui s'actualise. La fissure est ce qui rend l'univers observable — sans elle, il n'y a que le miroir non rompu, et personne pour le voir. Mais la fissure ne peut pas être parfaitement lisse.

La fuite ne peut pas être parfaitement isotrope. La formule décrit la structure de la rupture, mais le proton est une rupture. Son existence signifie que le substrat ne s'est pas refermé. La formule décrit la rupture — mais elle ne peut pas la décrire complètement, parce que la rupture est ce qui rend la description possible.

Chaque ordre du développement perturbatif attrape une correction plus fine. La géométrie statique donne l'entier 1 836. Le terme de premier ordre donne la respiration dynamique et sa fuite, d'ordre α . Le terme de second ordre donne la fuite de la fuite, d'ordre α^2 . Chaque ordre subséquent attrape le cycle suivant — la rupture rompant sa propre réparation, qui rompt la rupture de la réparation, chaque cycle plus petit que le précédent d'un facteur d'environ $1/137$.

Les séries perturbatives en théorie quantique des champs sont typiquement asymptotiques plutôt que convergentes. L'argument de Freeman Dyson en 1952 a établi que la série perturbative de l'électrodynamique quantique est divergente dans son ensemble, et pourtant se tronque pour donner des prédictions numériques spectaculaires parce que la divergence ne devient pertinente qu'à des ordres très élevés (autour de $1/\alpha \approx 137$).

Ce n'est pas un défaut de l'électrodynamique quantique. C'est ainsi que fonctionne la théorie

quantique des champs perturbative. On s'attend à ce que la série de la masse du proton partage ce caractère : asymptotique au sens mathématique strict, mais bien conduite aux bas ordres où elle a été calculée.

Le précédent le plus proche est le calcul en électrodynamique quantique du moment magnétique anomal de l'électron, qui s'accorde avec la mesure à environ dix chiffres significatifs — l'une des confrontations les plus précises entre théorie et expérience de l'histoire de la science. La prédiction de l'électrodynamique quantique est une série perturbative en α . Le rapport de masse proton-électron est une autre série de ce type : structurelle à chaque ordre, bien conduite aux ordres actuellement calculés, sans paramètre.

C'est $1:1 + 1 \times \varepsilon$ @ AS opérant récursivement. La formule ne peut jamais être exacte. La preuve qu'elle fonctionne est la preuve qu'un résidu doit demeurer.

Si la formule était exacte, ε serait zéro et l'univers n'existerait pas.

La tension honnête à $O(\alpha^3)$

L'accord à 0.010 ppb est dans l'incertitude expérimentale. Il est aussi plus serré qu'un naïf changement d'échelle en α du terme suivant ne le prédirait, et cela mérite d'être nommé directement.

Si le coefficient $O(\alpha^3)$ est de l'ordre de l'unité fois des entiers structuraux — cohérent avec le motif à $O(\alpha)$ et $O(\alpha^2)$ — le terme de troisième ordre devrait contribuer environ $\alpha \times O(\alpha^2)$, soit environ 0.06 parties par milliard. Contre une prédiction $O(\alpha^2)$ seule, cela laisserait un résidu d'environ 0.06 ppb. Le résidu observé contre la prédiction $O(\alpha^2)$ est 0.010 ppb. Six fois plus petit.

Deux scénarios demeurent vivants. Dans le premier, le coefficient $O(\alpha^3)$ est lui-même plus petit qu'une simple estimation par changement d'échelle en α : la série est naturellement autolimitante, et la formule du chapitre est proche d'être complète à $O(\alpha^2)$. Dans le second, il y a une annulation partielle avec une structure d'ordre supérieur non encore dérivée : la série est naturelle dans son changement d'échelle global, mais l'accord spécifique à $O(\alpha^2)$ reflète une coïncidence d'annulation à $O(\alpha^3)$.

Une amélioration d'un facteur trois de la précision expérimentale discriminera ces scénarios. La contribution $O(\alpha^3)$ prédite de 0.06 ppb est actuellement à environ 3.5σ au-dessus de l'incertitude de mesure de 0.017 ppb. On s'attend à

ce que les conceptions de piège de Penning de nouvelle génération la résolvent d'ici une décennie. Jusque-là, l'énoncé honnête est celui-ci : l'accord fonctionne, l'accord est à l'intérieur de la barre d'erreur, et le motif des résidus aux ordres supérieurs est un test que le chapitre n'a pas encore passé.

Trois choses séparent ceci de la numérologie. Les entiers ont été dérivés avant que la masse du proton n'ait jamais été mise en correspondance — AP10, AP24, AP28, dans chaque cas pour des raisons indépendantes du nombre cible. La formule a des conditions de falsification explicites — quatre Sollbruchstellen, ci-dessous, chacune spécifiant ce qui la détruirait.

Et la formule prédit la forme de son propre résidu — l'axiome directeur $1:1 + 1 \times \varepsilon @ AS$ exige qu'aucun développement perturbatif ne puisse se terminer. Un accord numérologique n'a rien de tout cela. Les trois sont ici.

Si ceci est faux

Quatre Sollbruchstellen gardent ce chapitre. Chacune spécifie exactement ce qui détruirait la prédiction.

KS-30.1 — Combinaison non additive

La dérivation suppose que trois contraintes structurelles indépendantes sur trois sous-ensembles d'axiomes indépendants contribuent additivement à la résistance géométrique du proton. L'argument est fort parce qu'il repose sur l'indépendance des axiomes argumentée dans AP20. Mais la formalisation complète — exhibant explicitement la structure de produit cartésien de l'espace d'états du proton, comme une construction mathématique plutôt qu'un argument structurel — n'a pas été achevée.

Cette Sollbruchstelle se déclenche sur une preuve formelle que les trois couches ne peuvent pas être traitées comme des sous-espaces indépendants — que quelque aspect de la structure d'axiomes exige qu'elles se combinent de façon non additive (multiplicativement, ou par quelque autre règle non linéaire). Si cette preuve existait, l'entier 1 836 ne serait plus imposé. Une règle de combinaison différente produirait un entier différent, et la formule échouerait.

La clore est une tâche mathématique, non expérimentale. L'espace de configuration de l'état lié à trois faces, 21 canaux doit être exhibé explicitement — montré soit comme un produit cartésien (confirmant la dérivation), soit non (déclenchant la Sollbruchstelle). Le corpus liste ceci comme la Dette D19 — déclarée mais non encore acquittée.

KS-30.2 — Anisotropie de fuite

La correction de fuite suppose que le couplage dynamique se distribue uniformément à travers les 84 expressions dimensionnelles (donnant le facteur $1/84$) et que chaque expression se projette sur une frontière circulaire de grand cercle (donnant le facteur $1/\pi$). Si la fuite est anisotrope à l'un ou l'autre niveau — si le couplage dynamique rayonne préférentiellement le long de certains canaux ou faces plutôt qu'uniformément, ou si la projection se fait sur une frontière non circulaire — le facteur de correction serait différent.

Cette Sollbruchstelle est empirique. Des mesures de haute précision des facteurs de forme électromagnétiques du proton, ou des calculs de QCD sur réseau du flux d'énergie interne, pourraient révéler si la fuite est vraiment uniforme au niveau supposé.

KS-30.3 — Mauvais comportement d'ordre supérieur

La formule est une série perturbative en puissances de α . Les trois premiers termes donnent 1836.1526734444. On s'attend à ce que chaque terme successif soit plus petit d'un facteur d'environ α . Les séries perturbatives en théorie quantique des champs sont typiquement asymptotiques plutôt que

convergentes, mais elles restent bien conduites aux bas ordres. L'affirmation ici est que la série de la masse du proton est bien conduite aux ordres actuellement calculés.

Cette Sollbruchstelle se déclenche si les termes d'ordre supérieur ne se comportent pas de cette façon — si la correction $O(\alpha^3)$ se révèle bien plus grande que la correction $O(\alpha^2)$, plutôt qu'un ordre de grandeur plus petite. La structure perturbative serait alors pathologique plutôt que naturelle, et l'accord à $O(\alpha^2)$ serait une coïncidence de troncature plutôt qu'une véritable convergence de bas ordre.

Le test consiste à calculer le terme $O(\alpha^3)$ explicitement. La prédiction est d'ordre 10^{-7} — déjà à environ 3.5σ dans les données présentes CODATA 2022, résoluble à haute confiance avec une amélioration d'un facteur trois de la précision. Si le coefficient calculé est de l'ordre de l'unité fois des entiers structurels appropriés, la série est naturelle et la dérivation est confirmée à l'ordre suivant. Si le coefficient est pathologiquement grand, la série se comporte mal et l'accord de bas ordre est suspect.

KS-30.4 — Formule alternative

L'argument de décomposition hiérarchique est clos par énumération computationnelle au sein de la famille des sommes à trois termes de produits de

puissances de $\{21, 3, 4\}$ sous la condition de hiérarchie d'exposant-de-21 strictement décroissant — la construction du chapitre est l'unique solution. Mais l'unicité intra-famille n'exclut pas d'autres formules, utilisant des combinaisons différentes de constantes physiques ou des entiers structurels différents, qui pourraient aussi correspondre au rapport à une précision comparable.

Cette Sollbruchstelle se déclenche sur l'existence d'une telle formule — une formule différente, utilisant peut-être α , π , e , et quelques autres petits entiers, avec une interprétation structurelle différente, correspondant à 0.010 ppb. Si l'on en trouve une, la dérivation est sous-déterminée. L'accord n'est pas imposé par le système d'axiomes mais seulement cohérent avec lui, et quelque autre système d'axiomes pourrait tout aussi bien produire le même nombre.

Le test est la recherche systématique. Une énumération computationnelle sur les formules de simplicité comparable établirait si des alternatives existent. Si plusieurs formules structurellement distinctes correspondent à cette précision, l'affirmation d'unicité s'affaiblit. Si c'est le seul accord à ce niveau de simplicité, elle se renforce.

Comment tu peux le vérifier

La vérification directe prend moins d'une minute.
Cherche α — la valeur CODATA 2018 est $7.2973525693 \times 10^{-3}$, et le raffinement CODATA 2022 la décale de 5×10^{-13} , ce qui se propage en un décalage de prédiction d'environ 0.0001 ppb — deux ordres de grandeur sous le résidu de ce chapitre. La prédiction est stable sous l'une ou l'autre valeur.

Calcule les trois termes statiques : $21^2 \times 4 = 1\,764$, puis $21 \times 3 = 63$, puis $3^2 = 9$. Ils somment à 1 836. Calcule la correction de premier ordre : $\alpha \times 21 \times (1 - 1/(84\pi)) = 0.1526637$. Calcule la correction de second ordre : $\alpha^2 \times 21 \times 16 / 1836 = 0.0000097$. Additionne le tout : 1836.1526734. Mesuré : 1836.152673426.

Le code Python complet est dans l'Annexe B. Vingt lignes. Il tourne en moins d'une seconde. Si les nombres ne correspondent pas, le livre est clos. S'ils correspondent, tu as confirmé l'affirmation centrale de ce chapitre en moins d'une minute.

Les quatre Sollbruchstellen sont vivantes. La formule tient. Les lacunes sont nommées. Le travail continue.

Ce qui trancherait ceci

Un test décisif. Une amélioration d'un facteur trois de la mesure au piège de Penning du rapport de masse proton-électron. L'incertitude CODATA 2022 actuelle est 0.017 ppb ; une cible de 0.005 ppb est à portée des conceptions de piège de nouvelle génération. À cette précision, le coefficient $O(\alpha^3)$ atterrit à plus de dix écarts-types, résolvant à la fois sa magnitude et son signe.

Installations candidates : MPIK Heidelberg (groupe Blaum), MIT (le successeur de Pritchard), FSU Tallahassee (groupe Myers), NIST. Chacune a l'infrastructure et l'expertise. Calendrier : trois à cinq ans.

Si la valeur mesurée correspond à la formule à cette précision, l'interprétation structurelle gagne un soutien décisif. Si elle diverge de la structure $O(\alpha^3)$ prédite, la Sollbruchstelle KS-30.3 se déclenche et l'accord de bas ordre est exposé comme une coïncidence de troncature plutôt qu'une série naturelle.

La proposition de recherche complète — titre, résumé, contexte, conception expérimentale, propositions secondaires, résultats attendus, calendrier — est dans l'Annexe C, bâtie sur la dérivation AP30. L'appareil formel vit là où l'appareil formel appartient. Ce qui importe ici est le pari : une

mesure de précision, un résultat décisif, d'ici la décennie.

Ce que cette Partie a fait

Le proton pèse exactement ce que la géométrie exige.

Mille huit cent trente-six unités de résistance statique — trois couches imbriquées comptant la complexité géométrique d'un état lié à trois faces, vingt et un canaux en quatre dimensions d'espace-temps. Une correction fractionnaire issue de la maintenance dynamique, le proton se soutenant contre la tendance du substrat à guérir. Une correction de second ordre issue de la matrice d'échange d'espace-temps, médiée par le propagateur de rang 2 qui connecte deux directions d'espace-temps quelconques.

Ensemble : 1836.1526734444.

La valeur mesurée : 1836.152673426. La formule correspond à la mesure à 0.010 parties par milliard — dans l'incertitude CODATA 2022 de 0.017 ppb, à 0.6σ de la valeur centrale. Quatre Sollbruchstellen sont vivantes. Chacune spécifie exactement ce qui détruirait la prédiction. Chacune est testable.

La décomposition $(21^2 \times 4) + (21 \times 3) + (3^2)$ est l'unique somme hiérarchique à trois termes de

produits de $\{21, 3, 4\}$. Le résidu structurel est requis par l'axiome directeur : $1:1 + 1 \times \varepsilon @ AS$. Symétrie parfaite plus une fissure minimale, au maintenant qui s'actualise. La formule ne peut jamais être exacte parce que l'univers qu'elle décrit n'est pas exactement symétrique. La preuve qu'elle fonctionne est la preuve qu'elle ne peut pas être exacte.

Les entiers viennent de la géométrie de la variété. Les corrections viennent de la physique de la fuite. Ensemble, ils rendent compte du poids du proton à dix décimales, avec une entrée mesurée et aucun paramètre libre.

Si la formule est fausse, les Sollbruchstellen spécifient exactement où elle va se rompre. Si elle est juste, la masse du proton n'est pas un paramètre libre de la nature. C'est un compte — un compte de pièces dans un bâtiment fait de rien d'autre que des axiomes eux-mêmes, les quatre conditions imposées par une seule prémisse : un enregistrement existe.

Tu pèses ce que tu pèses parce que le proton pèse ce qu'il pèse. Chaque atome en toi a un proton en son cœur, 1 836 fois plus lourd que le nuage d'électrons autour de lui. Chacun de ces protons est un compte — vingt et un canaux enfilés à travers quatre dimensions d'espace-temps, trois sous-ensembles d'axiomes s'additionnant additivement en un seul entier.

Ton poids sur une balance est la géométrie se comptant elle-même. Quand tu te lèves, quand tu respires, quand le sang dans ton corps se déplace, tu es l'axiome qui tourne — à ce site, à la résolution à laquelle 1 836 est imposé.

Dans la Partie II : la question suivante. Si la masse du proton est de la géométrie, qu'en est-il de la gravité ? Les mêmes entiers — 21, 3, 4 — apparaissent dans les deux formules. Le même taux de fuite α entraîne les deux corrections. Le proton et la constante gravitationnelle sont deux lectures d'une seule variété.

Le bâtiment a plus de pièces qu'on n'en a encore compté.

Partie II - La force de la gravité

La constante gravitationnelle, dérivée à 0.69 %

Prédit : $G = 6.7206 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$

Mesuré : $G = 6.6743 \times 10^{-11}$ (CODATA 2018)

Écart : 0.69 %

Une entrée mesurée : $\alpha \approx 1/137$. Zéro paramètre libre.

Prends un aimant de frigo. Colle-le à un trombone.

Ce minuscule aimant — assez petit pour se perdre dans un tiroir — vient de vaincre l’attraction gravitationnelle de la Terre entière. Six milliards de billions de tonnes de roche, battues par un éclat de fer et une bobine de fil.

Le rapport entre la force électromagnétique et la force gravitationnelle, mesuré entre deux électrons au repos, est approximativement 4.17×10^{42} . Un 4 suivi de quarante-deux zéros. De façon équivalente, le couplage gravitationnel sans dimension $\alpha G = Gm_e^2/(\hbar c) \approx 1.76 \times 10^{-45}$ est de 42 à 43 ordres de grandeur plus petit que le couplage

électromagnétique $\alpha \approx 1/137$. Deux expressions du même fait. Les deux sont stupéfiantes.

Si l'électromagnétisme était un cri, la gravité serait plus silencieuse que la vibration thermique d'un seul atome à l'autre bout de l'univers observable.

Ce rapport est appelé la hiérarchie. C'est l'une des questions ouvertes les plus profondes de la physique depuis les années 1930. Pourquoi ces deux forces sont-elles si vastement différentes en intensité ? Ce sont toutes deux des forces. Elles agissent toutes deux sur la matière. Toutes deux sont décrites par des équations précises. Pourtant l'une est de quarante-cinq ordres de grandeur plus forte que l'autre.

Des programmes théoriques entiers ont été bâtis pour aborder cela. La supersymétrie. Les dimensions supplémentaires. Le vaste paysage de la théorie des cordes. Aucun n'a produit de dérivation. Aucun n'a produit de nombre.

La formule utilise une entrée mesurée — la constante de structure fine $\alpha \approx 1/137$ — et trois quantités dérivées : le compte de canaux 21 (établi dans la Partie I), la constante géométrique π , et la combinaison dimensionnelle $\hbar c/m_e^2$.

L'électromagnétisme se couple à travers un canal à la fois. La gravité doit maintenir l'ensemble des 21

canaux ouverts simultanément, parce que la gravité maintient toute l'arène, non juste une face de celle-ci. Pour des canaux indépendants, le couplage simultané est multiplicatif — de la même façon que la probabilité que trois lancers de pièce tombent tous sur pile est un huitième : $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$. La probabilité que le substrat se couple à travers l'ensemble des 21 canaux d'un coup est $\alpha \times \alpha \times \alpha \times \dots$ vingt et une fois. C'est α^{21} .

La gravité n'est pas faible. La gravité est large. Le même couplage, distribué à travers vingt et un canaux au lieu d'un, paraît ténu à chaque canal. Mais c'est le même couplage. La hiérarchie n'est pas un mystère. C'est un compte.

Un autre genre d'accord. La Partie I a atterri à 0.010 parties par milliard de la valeur mesurée — à l'intérieur de la barre d'erreur expérimentale. La Partie II atterrit à 0.69 %, environ 6 900 parties par million. C'est bien au-dessus de l'incertitude de 22 ppm sur n'importe quelle mesure CODATA unique, et aussi bien au-dessus de l'écart d'environ 500 ppm entre des expériences modernes indépendantes.

L'accord est frappant ; l'écart est réel, et il est plus grand que n'importe quelle barre d'erreur de laboratoire actuellement sur la table. Deux explications structurelles candidates vivantes sont développées dans ce chapitre sans trancher entre

elles ; la coda de Sollbruchstelle nomme ce qui détruirait chacune.

Ce chapitre te guide à travers la dérivation, étape par étape, dans un langage qu'un sortant du secondaire peut suivre. Il nomme les hypothèses. Il nomme les Sollbruchstellen. Et il propose les expériences spécifiques — des mesures de G multi-méthodes avec des décalages systématiques caractérisés — qui confirmeraient ou détruiraient l'affirmation.

La première chose à comprendre est ce qu'est réellement la gravité. Non la force qui te tire vers le bas quand tu marches — c'est un effet de la gravité. La gravité elle-même est quelque chose de plus structurel. La gravité est ce qui maintient l'arène ouverte.

La constante qui détermine le cosmos

Chaque étoile est un équilibre entre la gravité et la pression. Le Soleil, en ce moment, est tiré vers l'intérieur par sa propre auto-attraction gravitationnelle — environ 2×10^{30} kilogrammes d'hydrogène et d'hélium pressant sur eux-mêmes — et poussé vers l'extérieur par la chaleur et la pression de radiation de la fusion nucléaire en son cœur.

Les deux forces sont exactement en équilibre. Si la gravité était plus forte, le Soleil s'effondrerait plus vite. Si la gravité était plus faible, le Soleil s'étendrait

et se disperserait. La température du cœur, le taux de fusion, la brillance du Soleil, l'énergie qui atteint la Terre — tout cela dépend de la valeur de G .

Le même équilibre gouverne chaque étoile qui ait jamais existé, chaque planète orbitant chaque étoile, chaque galaxie en rotation, le taux d'expansion de l'univers lui-même. Change G de dix pour cent et l'univers est méconnaissable. Change-le d'un facteur deux et les étoiles ne se forment pas, ou elles s'effondrent immédiatement en trous noirs. La structure du cosmos dépend de ce seul nombre ayant approximativement la valeur qu'il a.

Et la valeur de G est, en physique standard, un paramètre libre. Mesurée. Tabulée. Insérée dans la loi de gravitation de Newton et les équations de champ d'Einstein. Jamais dérivée de quoi que ce soit de plus fondamental.

La mesure

Henry Cavendish mesura le premier G en 1798, à l'aide d'une balance de torsion — une barre horizontale suspendue par un fil fin, avec deux grandes sphères de plomb exerçant une attraction gravitationnelle sur deux petites sphères aux extrémités de la barre. La minuscule torsion du fil

révèle la force gravitationnelle. Cavendish rapporta une valeur à environ 1 % de la mesure moderne. Pour un unique expérimentateur du dix-huitième siècle travaillant seul dans une remise assombrie, ce fut une réalisation stupéfiante.

Dans les plus de deux siècles écoulés depuis, des centaines d'expériences ont raffiné la mesure. Les appareils modernes utilisent l'interférométrie atomique, des sphères en lévitation, des balances à fléau, et des pendules de torsion de diverses conceptions. La valeur recommandée CODATA 2018 est $G = 6.67430(15) \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$ — une incertitude relative d'environ 22 parties par million. La revue CODATA 2022 l'a laissée essentiellement inchangée.

Voici la chose surprenante. Différentes expériences modernes, réalisées par différents groupes de recherche utilisant différentes techniques, sont en désaccord persistant entre elles de bien plus que leurs incertitudes individuelles annoncées. L'écart entre les mesures récentes les plus hautes et les plus basses est approximativement 500 ppm — plus de vingt fois l'incertitude officielle.

Aucune autre constante fondamentale en physique n'a ce problème. La vitesse de la lumière, la constante de Planck, la constante de structure fine —

toutes sont connues à une précision extraordinaire et les mesures s'accordent toutes. G est l'exception.

La raison de cette dispersion est inconnue. Ce chapitre en propose une explication, structurelle et testable, qui revient à la Section 4.

Trois manières dont la question ne s'est pas refermée

La hiérarchie a orienté une grande partie de la physique théorique au cours des cinquante dernières années. Trois grands programmes ont été poursuivis. Chacun mérite d'être nommé, et chacun possède un site précis où il ne s'est pas refermé.

La première réponse, c'est la supersymétrie. Si chaque particule connue possède un partenaire supersymétrique plus lourd, les corrections quantiques aux masses des particules tendent à s'annuler entre les deux, ce qui stabilise naturellement les hiérarchies. La SUSY a été le principal candidat pour résoudre le problème de la hiérarchie, depuis environ 1980 jusqu'au début des années 2010.

Le Grand collisionneur de hadrons a été conçu en partie pour trouver des particules supersymétriques. Aucune n'a été trouvée. Les versions les plus simples de la SUSY sont désormais exclues

expérimentalement. Des versions plus élaborées restent possibles, mais exigent un réglage fin, précisément ce que la SUSY était censée éviter.

La deuxième réponse, ce sont les dimensions supplémentaires. S'il existe des dimensions de l'espace que nous ne pouvons pas voir — parce qu'elles sont enroulées à une échelle trop petite pour être détectées, ou parce que la matière est confinée à une brane quadridimensionnelle au sein d'un volume de dimension supérieure — alors la gravité pourrait être tout aussi forte que l'électromagnétisme dans l'espace complet de dimension supérieure, et ne paraître faible que dans notre projection quadridimensionnelle.

Les propositions incluent les grandes dimensions supplémentaires (Arkani-Hamed, Dimopoulos, Dvali, 1998) et les dimensions supplémentaires gauchies (Randall-Sundrum, 1999). Toutes deux prédisaient des signatures expérimentales — des écarts à la loi de Newton aux petites distances, des signaux d'énergie manquante dans les collisionneurs, des trous noirs microscopiques. Aucune n'a été observée.

La troisième réponse, c'est le paysage de la théorie des cordes. Si l'univers possède un vaste espace d'états de vide possibles — peut-être 10^{500} — chacun doté de constantes physiques

différentes, alors la hiérarchie n'est pas un nombre à dériver mais un paramètre qui prend un éventail de valeurs à travers le paysage.

Il se trouve que nous vivons dans un vide où elle est grande, et nous devons vivre dans un tel vide parce qu'aucune autre sorte ne permet la formation d'étoiles et d'observateurs. C'est une affirmation d'existence assortie d'une sélection anthropique. Cela ne produit aucune prédiction testable pour la valeur de la hiérarchie.

Trois réponses. Trois manières dont la question ne s'est pas refermée. Trois programmes qui ont proposé des mécanismes, prédit des signatures, et n'ont produit aucun nombre.

Ce chapitre produit un nombre.

Ce que signifierait une dérivation

Une formule qui dérive G à partir de α , $\hbar$, c et m_e — tous quatre connus avec une précision spectaculaire — signifierait que G n'est pas fondamentale. Elle est composite. Elle est une projection du couplage électromagnétique à travers la géométrie complète des canaux de l'arène, avec une correction topologique pour l'élément non apparié de l'axiome $1:1 + 1 \times \varepsilon @ AS$.

Si cela est vrai, la hiérarchie n'est pas un problème. C'est un décompte. Le nombre 21 — le décompte des canaux établi dans la Partie I — est la raison structurelle pour laquelle le couplage gravitationnel sans dimension $\alpha G \approx 10^{-45}$ se situe 42 à 43 ordres de grandeur en dessous de $\alpha \approx 10^{-2}$. Vingt et un facteurs de α se composant en α^{21} . Pas une coïncidence. Pas un réglage fin. Pas une sélection anthropique. Un décompte géométrique.

Une conséquence interprétative supplémentaire découle de cette lecture — à savoir que la gravité et l'électromagnétisme sont les deux extrémités d'un seul et même processus structurel — et elle est offerte dans la coda de ce chapitre, une fois que la dérivation numérique s'est tenue par elle-même.

La gravité, c'est ce qui maintient l'arène ouverte

Avant que la dérivation ne commence, une note sur ce qu'est la gravité au sein de ce cadre.

Imagine le substrat — la structure pré-variété à partir de laquelle l'espace et le temps sont inscrits — comme un tissu. Le tissu a une tendance à se cicatriser. Partout où une rupture apparaît, le substrat travaille à la refermer. Ceci est structurel : l'état symétrique 1:1 est la configuration de plus

basse tension, et tout écart par rapport à elle représente une énergie stockée que le substrat préférerait libérer.

Si la rupture pouvait se cicatriser, aucun enregistrement ne persisterait. La fissure se refermerait, la symétrie se rétablirait, le maintenant s'arrêterait, et il n'y aurait pas d'univers. Les enregistrements ne s'accumuleraient pas, parce qu'aucune trace du moindre événement de couplage ne pourrait survivre.

Quelque chose doit maintenir la rupture ouverte.

Ce quelque chose, c'est la gravité.

La gravité est le coût que l'arène paie pour maintenir la persistance de la rupture. Ce n'est pas une force au même sens que l'électromagnétisme, qui transmet de l'énergie d'un endroit à un autre. C'est une condition de maintenance structurelle. Sans gravité, l'arène s'effondre, les canaux se referment, les enregistrements cessent. Avec la gravité, la rupture persiste à travers les 21 canaux géométriques simultanément, et l'univers continue.

Cette identification — la gravité comme maintenance de l'arène tout entière — est ce qui fait fonctionner l'argument de décompte des canaux. La gravité n'est pas un couplage dans un seul canal. C'est le couplage requis pour maintenir tous les canaux ouverts à la

fois. C'est pourquoi sa force fait intervenir l'ensemble des 21 canaux. C'est pourquoi elle est multiplicative en α .

Le bâtiment revisité — 21 pièces

La Partie I a introduit le bâtiment. 21 corridors, chacun menant à une pièce différente. 4 étages. Le proton occupait chaque pièce. La Partie II utilise le même bâtiment, mais avec l'attention déplacée de l'intérieur du proton vers la structure de l'arène elle-même.

L'électromagnétisme est un faisceau de torche. Il entre dans un corridor. Éclaire une pièce. Fait se produire une chose précise. La brillance du faisceau est α , la constante de structure fine — environ $1/137$. C'est la probabilité que la rupture se couple à elle-même à travers un seul canal.

Considère maintenant les fondations. Les fondations ne soutiennent pas une seule pièce. Elles soutiennent le bâtiment tout entier. Les 21 corridors, toutes les pièces auxquelles ils mènent, toutes simultanément. Si les fondations cèdent sous n'importe quelle pièce, le bâtiment s'effondre. Les fondations maintiennent la structure entière en tant que structure.

Voilà la gravité. Pas un faisceau dans un seul corridor. La condition de maintenance pour l'ensemble des 21 corridors à la fois.

D'où vient le 21

La Partie I a dérivé le décompte des canaux à partir du système d'axiomes. Six faces de ε (AP24, avec la complétude prouvée dans AP28 et les structures de jauge alternatives écartées par AP15-AP19). Trois dimensions spatiales (AP10). Trois couplages d'actualisation (AP28). Six fois trois plus trois. Le total :

$$6 \times 3 + 3 = 21$$

Dix-huit projections de faces plus trois couplages d'actualisation. Vingt et un canaux indépendants à travers lesquels la rupture peut se coupler. Le nombre n'est pas ajustable. Il est fixé par le système d'axiomes avant toute tentative de prédiction sur G — dérivé une seule fois, utilisé partout où il apparaît.

Les canaux sont indépendants

L'argument de composition exige que les 21 canaux soient statistiquement indépendants. AP28 §5 Prop 3 prouve qu'ils le sont.

Deux événements sont statistiquement indépendants si connaître le résultat de l'un ne t'apprend rien sur

le résultat de l'autre. La probabilité que les deux événements se produisent est alors le produit de leurs probabilités individuelles : $P(A \text{ et } B) = P(A) \times P(B)$. Pour trois événements indépendants, $P(A \text{ et } B \text{ et } C) = P(A) \times P(B) \times P(C)$. Pour 21, la même logique avec 21 facteurs.

L'indépendance des 21 canaux découle de deux résultats prouvés séparément. Les six faces de ε sont des lectures indépendantes (AP28 §5 Prop 1) — chacune mesure un invariant scalaire différent ; connaître l'une ne donne aucune information sur une autre. Les trois dimensions spatiales sont indépendantes (AP10) — chacune dérive d'un axiome différent. Une projection de face dans la dimension j porte une information sur la face i dans la dimension j seulement ; rien sur la face k dans la dimension l pour toute autre combinaison. Les trois couplages d'actualisation sont indépendants des projections de faces et les uns des autres.

Par conséquent, les 21 canaux sont tous mutuellement indépendants. La règle de composition pour les probabilités indépendantes s'applique.

Cette indépendance est un résultat dérivé, non une hypothèse. Elle porte la Sollbruchstelle KS-R.8c : si l'on démontre une corrélation quelconque entre deux canaux qui ne se réduit pas à une dépendance partagée envers ε lui-même, la preuve

d'indépendance échoue et la composition multiplicative se brise.

Pourquoi multiplier, et non additionner

Un lecteur attentif de la Partie I remarquera ici une différence de règle de combinaison.

La Partie I construit le rapport de masse du proton en additionnant des couches entières : $21^2 \times 4 + 21 \times 3 + 3^2 = 1836$. La Partie II construit le couplage gravitationnel en multipliant le couplage électromagnétique à travers vingt et un canaux indépendants : α^{21} . Les règles diffèrent parce que les structures diffèrent.

La Partie I compte de la résistance — les capacités géométriques d'un état lié intégrant le réseau de canaux. Les capacités de sous-espaces indépendants s'additionnent, comme les dimensions linéaires de l'espace d'états.

La Partie II compte du couplage conjoint — la probabilité que la rupture interagisse avec elle-même à travers chaque canal simultanément. Les probabilités d'événements indépendants se multiplient, selon la règle standard de l'indépendance statistique (AP28 §5 Prop 3).

L'addition régit la capacité. La multiplication régit le couplage conjoint. Le même 21 apparaît dans les

deux parce que le décompte des canaux est structurel. La règle de combinaison est déterminée par ce qui est compté, non par ce qui est combiné.

L'électromagnétisme se couple à travers un seul canal. Force : α .

La gravité se couple à travers l'ensemble des 21 canaux simultanément. Force : $\alpha \times \alpha \times \alpha \times \dots$ vingt et une fois. C'est α^{21} .

Numériquement, avec $\alpha = 7.2974 \times 10^{-3}$:

$$\alpha^{21} = 1.338 \times 10^{-45}$$

C'est la partie 1:1 du couplage gravitationnel — la structure équilibrée, à canaux appariés. Vingt et un canaux appariés, chacun contribuant un facteur de α au total.

Vingt et un lancers de pièce donnant tous face, c'est 1 sur 2 millions. Vingt et un canaux se couplant chacun simultanément, chacun à la probabilité $\alpha \approx 1/137$, c'est 1 sur 10^{45} . Chaque canal n'est pas plus faible que le couplage électromagnétique — chacun se couple encore à α . Ce qui est rare, c'est que les 21 se couplent à la fois. La gravité est cet événement conjoint, se produisant continûment à chaque site où l'arène est maintenue. Même taux de couplage. Exigence simultanée plus large.

Le rapport entre l'électromagnétisme (un canal, pleine force) et la gravité (21 canaux, distribuée) est $1/\alpha^{21} \approx 7.5 \times 10^{44}$. La gravité vaut environ 10^{-45} de l'électromagnétisme. Voilà la hiérarchie. Quarante-cinq ordres de grandeur. Le nombre n'est pas mystérieux. Ce sont vingt et un lancers de pièce.

C'est l'axiome à l'œuvre. Le côté 1:1 de $1:1 + 1 \times \varepsilon$ @ AS — vingt et un canaux appariés, mis en miroir par l'Axiome S, chacun contribuant un facteur de α . La hiérarchie n'est pas petite. C'est l'axiome complet, lu à travers son arène complète, comptant chaque canal une fois.

La perforation — $1 + 1/\pi$

L'axiome ne s'arrête pas à 1:1. Il dit $1:1 + 1 \times \varepsilon$ @ AS. Équilibre parfait plus un élément non apparié, au maintenant actualisant.

Vingt et un canaux appariés rendent compte du 1:1. Ils sont la structure équilibrée, à deux secteurs, du substrat — chaque canal d'un côté a un partenaire miroir de l'autre côté via l'Axiome S. Mais l'axiome ajoute une chose de plus. L'élément non apparié. Le $+1 \times \varepsilon$. La rupture minimale elle-même, sans partenaire miroir.

Cet élément non apparié, c'est l'électron. L'électron n'est pas un fragment de matière détaché du

substrat. L'électron est une perforation topologique — un trou percé à travers le miroir qui relie le vide brisé au vide non brisé. La masse de l'électron est le coût énergétique du maintien de ce trou ouvert.

La perforation a une section transversale circulaire. AP28 §5 Prop 4 le dérive. Une perforation topologique dans l'arène spatiale tridimensionnelle est une région où le champ revient au vide symétrique. Sa frontière est une surface fermée autour du point de perforation.

La forme est déterminée par la minimisation de l'énergie — la frontière possède une énergie de surface proportionnelle à son aire, et pour un volume enfermé fixé, la surface qui minimise l'aire est une sphère. C'est le théorème isopérimétrique. La perforation est effectivement un tube unidimensionnel reliant deux régions topologiques ; l'intersection de la frontière sphérique avec l'axe du tube donne une section transversale circulaire.

Le poids géométrique de l'élément non apparié se couplant à travers cette perforation circulaire est $1/\pi$. La capacité de couplage totale d'une frontière circulaire, dans la normalisation du corpus, est π — la demi-circonférence par côté, multipliée par deux côtés. L'unique enroulement non apparié contribue l'une de ces unités de capacité, donnant un poids fractionnaire de $1/\pi$.

Une sous-dette est nommée ici, ouvertement.
 L'identification de la fraction de couplage comme $1/\pi$ spécifiquement, plutôt que $1/(2\pi)$ ou $1/(4\pi)$, dépend du choix de normalisation pour le couplage de frontière. AP28 signale cela comme une sous-dette ouverte au sein de sa preuve : l'argument est structurellement motivé et l'accord de 0.69 % avec la mesure soutient la normalisation, mais la vérification formelle contre la topologie complète de la perforation de AP04 et AP05 n'a pas été achevée. La Partie II hérite de la sous-dette et ne la déguise pas.

Le filtrage empirique restreint bel et bien les candidats. Une normalisation $1/(2\pi)$ prédirait $G = 5.91 \times 10^{-11}$ — décisivement exclue par la mesure. Une normalisation $1/(4\pi)$ prédirait $G = 5.50 \times 10^{-11}$ — exclue elle aussi. Seul $1/\pi$ donne l'accord de 0.69 %. Le filtre des données soutient le facteur choisi. La Sollbruchstelle KS-R.9 garde le versant formel.

Avec la correction de perforation :

$$\alpha G = \alpha^{21} \times (1 + 1/\pi)$$

Le premier facteur est le 1:1 — les canaux appariés.
 Le second facteur est le $1 \times \varepsilon$ — l'élément non apparié se couplant à travers un trou rond. L'axiome s'est écrit lui-même dans la constante gravitationnelle — à l'instant même, à chaque site où la gravité agit.

Le pont dimensionnel

La quantité αG est sans dimension — un nombre pur. La constante gravitationnelle G a pour unités $\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$. Un pont dimensionnel convertit l'une en l'autre.

Le pont est fixé par ce que αG mesure réellement. αG est la constante de structure fine gravitationnelle — le rapport de l'énergie potentielle gravitationnelle entre deux électrons à leur équivalent en énergie cinétique à l'échelle de longueur naturelle fixée par la longueur d'onde Compton de l'électron. La définition standard :

$$\alpha G = G \, m_e^2 / (\hbar c)$$

En résolvant pour G :

$$G = \alpha G \times \hbar c / m_e^2$$

Ce n'est pas une hypothèse supplémentaire. C'est la définition de αG appliquée algébriquement. La combinaison $\hbar c/m_e^2$ a pour unités $\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$ par construction. Le pont dimensionnel est fixé par le choix de la quantité sans dimension que l'on identifie au couplage gravitationnel.

Trois constantes, trois axiomes

La formule prédit trois constantes physiques fondamentales à partir des quatre axiomes. La correspondance est biunivoque pour les trois constantes et directe pour le rôle structurel du quatrième axiome.

$c \leftrightarrow C$. La vitesse de la lumière est le taux maximal auquel tout enregistrement, toute distinction ou tout fragment d'information peut se propager. L'Axiome C contraint la vitesse de propagation. Dérivée dans AP03 à partir du rapport de raideur du substrat.

$\hbar \leftrightarrow B$. La constante de Planck est le plus petit enregistrement possible — le quantum d'action minimal. L'Axiome B est la rupture minimale. Dérivée dans AP12 à partir du théorème de Stone appliqué à l'espace de Hilbert dérivé des axiomes.

$G \leftrightarrow R$. La constante gravitationnelle est le coût de la persistance de la rupture à travers la géométrie de l'arène. Sans ce coût, la fissure se cicatriserait et les enregistrements ne s'accumuleraient pas. L'Axiome R est la persistance des enregistrements. Dérivée dans ce chapitre.

Topologie $\leftrightarrow S$. L'Axiome S ne produit pas de constante. Il produit la topologie de l'arène — la

structure à deux secteurs, le miroir, la scène sur laquelle les trois autres agissent. Les 21 canaux, la topologie de la perforation et la section transversale circulaire découlent tous de cet apport structurel.

Trois constantes. Trois axiomes. Une topologie. Une rupture. La carte structurelle est complète. Chaque facteur du membre de droite de la formule remonte à un axiome précis. α est le taux de fuite (Axiome B via AP06). L'exposant 21 est le décompte des canaux (Axiomes S, B, R, C via AP10, AP24, AP28). Le $1/\pi$ est la géométrie de la perforation (Axiome S via AP04, AP05, AP28). Le pont dimensionnel utilise $\hbar$ (B via AP12), c (C via AP03) et m_e (B via AP06). Chaque facteur est structurel.

Le nombre

En assemblant tous les morceaux — pour la première fois, la formule complète :

$$\mathbf{G} = \alpha^{21} \times (1 + 1/\pi) \times \hbar c / m_e^2$$

En substituant les valeurs CODATA.

$\alpha = 7.2974 \times 10^{-3}$. $\alpha^{21} = 1.3380 \times 10^{-45}$. $1 + 1/\pi = 1.31831$. Le produit $\alpha^{21} \times (1 + 1/\pi) = 1.7640 \times 10^{-45}$. Le pont dimensionnel $\hbar c / m_e^2 = 3.8099 \times 10^{34}$ N·m²/kg². Multipliés ensemble :

$G \text{ prédite} = 6.7206 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$

Valeur mesurée (CODATA 2018, inchangée dans CODATA 2022) : 6.6743×10^{-11} , avec une incertitude expérimentale de 22 ppm sur la valeur de consensus unique.

Différence : 4.63×10^{-13} . Écart relatif : 0.69 %.

Une formule sans paramètre libre, utilisant une entrée mesurée (α) et trois quantités structurelles dérivées — le décompte des canaux 21, le facteur de perforation $1/\pi$ et la combinaison dimensionnelle $\hbar c/m_e^2$ — produit une valeur de G qui est à 0.69 % de la valeur mesurée.

L'écart de 0.69 % est bien plus grand que l'incertitude CODATA de 22 ppm sur une mesure unique. La prédiction n'est pas compatible avec la valeur centrale de consensus dans les limites de l'erreur de laboratoire. La section suivante explique pourquoi le chapitre prédit cet écart, et ce qui le refermerait.

Pourquoi 0.69 % ?

L'écart de 0.69 % n'est pas du bruit. Deux explications structurelles candidates demeurent vivantes. Le chapitre ne tranche pas entre elles. La proposition de recherche de l'Annexe C les distingue.

Candidate 1 — fuite dépendante de l'appareil. Toute mesure de G met en jeu un appareil physique. Tout appareil est une frontière qui fuit. AP06 établit qu'aucune frontière ne peut être parfaitement étanche — une fraction de tout événement de couplage fuit dans le substrat environnant. La fraction de fuite dépend de la géométrie de la frontière : comment les masses d'épreuve sont disposées, comment elles sont suspendues, quels matériaux s'interfacent avec quels autres, à quoi ressemble le gradient gravitationnel local. Des appareils différents ont des signatures de fuite différentes.

C'est la raison prédite pour laquelle différentes mesures de G se dispersent de 500 ppm — vingt fois l'incertitude annoncée de n'importe quelle mesure unique. La dispersion n'est pas une erreur de mesure aléatoire. C'est une fuite systématique, dépendante de l'appareil. Chaque laboratoire mesure un G décalé de la signature de fuite de son propre appareil.

Sous la Candidate 1, la prédiction du chapitre 6. 7.206×10^{-11} est la valeur sans fuite — ce que G vaudrait si on la mesurait avec un appareil parfaitement étanche. Les mesures réelles sont systématiquement en dessous de cette valeur parce que tout appareil réel fuit. L'écart de 0.69 % entre la prédiction et la valeur recommandée par CODATA représente, sous

ce modèle, la fuite moyenne à travers toutes les expériences incluses.

Candidate 2 — affinage de la normalisation de la perforation. Le facteur $(1 + 1/\pi)$ provient de la géométrie de l'électron en tant que perforation topologique. La dérivation identifie la section transversale comme circulaire et lui assigne le poids géométrique $1/\pi$. AP28 signale la normalisation précise comme une sous-dette au sein de la preuve.

Sous la Candidate 2, l'écart de 0.69 % ne concerne pas du tout l'appareil de mesure — c'est une signature résiduelle indiquant que la normalisation correcte n'est pas exactement $1/\pi$ mais une forme légèrement affinée. Refermer la sous-dette par un calcul formel de topologie de perforation conserverait soit $1/\pi$ — gardant l'écart, qui appartiendrait alors entièrement à la Candidate 1 — soit produirait un facteur corrigé qui refermerait une partie des 0.69 %.

Les deux candidates sont testables et distinguables. La Candidate 1 prédit que les valeurs mesurées de G corréleront avec la géométrie de l'appareil de la manière que AP06 spécifie — une structure de frontière plus riche devrait produire un biais vers le bas plus grand.

La Candidate 2 prédit que les valeurs mesurées de G ne corréleront pas avec la géométrie de l'appareil, parce que la source de l'écart est structurelle, non instrumentale — tous les appareils devraient converger vers la même valeur biaisée, décalée de ce qu'exige le facteur de perforation correct. Une méta-analyse des mesures publiées les distingue : une corrélation avec l'appareil pointe vers la Candidate 1 ; un résidu plat pointe vers la Candidate 2.

Si ni la corrélation ni l'affinage structurel ne peuvent expliquer l'écart, la formule échoue au niveau des 0.69 %. KS-R.7 se déclenche.

Le signe de l'écart

Une prise empirique de plus, spécifique à la Candidate 1. L'explication par la fuite prédit $G_{\text{predicted}} > G_{\text{measured}}$ — la valeur structurelle est plus grande que ce que mesure tout appareil qui fuit. La raison : la fuite soustrait de l'énergie de couplage à la mesure, biaisant vers le bas le G inféré. La Candidate 2, l'affinage de la normalisation de la perforation, ne fait aucune prédiction directionnelle de ce genre ; le signe d'un affinage dépend de la correction topologique précise.

L'écart observé est exactement dans cette direction. 6.7206×10^{-11} est plus grand que 6.6743×10^{-11} . Le signe correspond à la Candidate 1. Si l'écart était

dans la direction opposée — si chaque mesure donnait une valeur plus grande que ce que la formule prédit — l'explication par la fuite serait immédiatement exclue. Elle ne l'est pas.

Le signe est un premier élément de preuve dans la bonne direction, observé sans ajustement. Cela ne prouve pas l'explication par la fuite — le signe pourrait être une coïncidence. Mais le chapitre a réussi un test qu'il aurait pu échouer.

Trois traits distinguent cette dérivation de la numérologie. Les entiers ont été dérivés avant que l'accord avec G ne soit jamais vérifié — le décompte des canaux 21 est établi dans la Partie I à partir de AP10, AP24, AP28, indépendamment de la prédiction de G. La formule possède des conditions de falsification explicites — sept Sollbruchstellen, ci-dessous.

Et la formule prédit la dispersion expérimentale : différents appareils devraient mesurer différentes valeurs de G corrélées à leur géométrie de frontière. Un accord numérologique n'en a aucun. Les trois sont réunis ici.

Si ceci est faux

Sept Sollbruchstellen gardent ce chapitre. Elles se regroupent en quatre familles : la prédiction elle-

même, le décompte des canaux (quatre sous-commutateurs), la géométrie de la perforation et l'interprétation d'unification. Six gardent la formule numérique. La septième, KS-R.10, garde l'interprétation d'unification distincte qui suit dans la coda — la formule numérique se tient ou tombe sur les six premières seules. AP28 §9 est explicite sur cette séparation.

KS-R.7 — Prédiction de G

La valeur prédite $6.7206 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$ doit s'accorder avec la constante gravitationnelle mesurée à 1 % près, ou dans les limites de la correction de fuite que AP06 spécifie. Écart actuel : 0.69 %. Dans la tolérance.

Ce commutateur se déclenche si de futures mesures de précision de G convergent vers une valeur à plus de 1 % de 6.7206×10^{-11} , ET que la correction de fuite prédite par AP06 ne peut rendre compte du résidu. La correction de fuite fait une prédiction précise sur la manière dont le résidu devrait dépendre de la géométrie de l'appareil. Si les mesures convergent vers une valeur incompatible à la fois avec la prédiction nue et avec la prédiction corrigée de la fuite, la formule échoue.

KS-R.8a — Complétude des faces

Se déclenche si l'on exhibe une septième lecture scalaire indépendante de ε qui n'est pas une fonction des six faces identifiées. Une septième face changerait le décompte des canaux de 21 à 24 (avec la troisième dimension spatiale incluse), décalant le G prédit de nombreux ordres de grandeur.

KS-R.8b — Portée de l'actualisation

Se déclenche s'il est montré que l'état d'actualisation se couple à un degré de liberté indépendant à la fois des trois dimensions spatiales et des six faces. Cela s'ajouterait au décompte des couplages d'actualisation, actuellement de 3, changeant 21.

KS-R.8c — Indépendance des canaux

Se déclenche si l'on démontre une corrélation entre deux canaux qui ne se réduit pas à une dépendance partagée envers ε lui-même. Sans indépendance, la composition multiplicative est invalide — même avec 21 canaux, α^{21} est la mauvaise règle de combinaison.

KS-R.8d — Couplage uniforme

Se déclenche s'il est montré que le couplage par canal diffère de α — si des faces différentes ont des forces de couplage intrinsèques différentes. La règle

de composition tiendrait encore, mais avec des exposants non uniformes, changeant le résultat.

KS-R.9 — Géométrie de la perforation

Le facteur de correction $1/\pi$ est dérivé de la section transversale circulaire de l'électron en tant que perforation topologique. L'argument est structurellement motivé mais porte une sous-dette : la normalisation précise du couplage de frontière n'a pas été pleinement vérifiée contre la topologie de la perforation.

Ce commutateur se déclenche s'il est montré que la frontière de la perforation est non circulaire, ou si la normalisation correcte du couplage de frontière donne un facteur autre que $1/\pi$. La preuve empirique soutient actuellement $1/\pi$: cette normalisation donne un accord de 0.69 %, tandis que $1/(2\pi)$ donnerait 5.91×10^{-11} et $1/(4\pi)$ donnerait 5.50×10^{-11} — toutes deux décisivement exclues par la mesure. Les données filtrent les candidats ; $1/\pi$ survit, les deux autres non. Mais le filtrage empirique n'est pas la même chose qu'une dérivation formelle. L'analyse topologique complète demeure ouverte.

KS-R.10 — Structure d'unification

L'interprétation selon laquelle la gravité maintient la superposition et l'électromagnétisme l'effondre est

une affirmation structurelle sur ce à quoi ressemblent les processus physiques sous le système d'axiomes. Elle porte sa propre Sollbruchstelle.

Ce commutateur se déclenche si l'on démontre un système physique dans lequel le couplage gravitationnel ne maintient pas la superposition, ou dans lequel le couplage électromagnétique ne s'effondre pas. L'un ou l'autre falsifierait l'interprétation d'unification.

Comment tu peux le vérifier

La vérification directe prend moins d'une minute. Cherche α : $7.2973525693 \times 10^{-3}$ (CODATA 2018). Calcule $\alpha^{21} = (7.2974 \times 10^{-3})^{21} = 1.338 \times 10^{-45}$. Calcule $1 + 1/\pi = 1.31831$. Multiplie-les : $\alpha^{21} \times (1 + 1/\pi) = 1.764 \times 10^{-45}$. Cherche ou calcule le pont dimensionnel $\hbar c/m_e^2 = (1.0546 \times 10^{-34})(2.998 \times 10^8)/(9.109 \times 10^{-31})^2 = 3.8099 \times 10^{34}$. Multiplie : $1.764 \times 10^{-45} \times 3.8099 \times 10^{34} = 6.7206 \times 10^{-11}$.

Comparé à la valeur mesurée 6.6743×10^{-11} , l'écart est de 0.69 %.

Le code Python complet est dans l'Annexe B. Six lignes pour cette prédiction. Il tourne en une fraction de seconde. Si tu es physicien, exécute-le. Si les nombres ne correspondent pas, le chapitre est clos. S'ils correspondent, tu as confirmé l'affirmation

numérique centrale du chapitre en moins d'une minute.

Sept Sollbruchstellen sont vivantes. La formule tient. Une sous-dette est nommée à l'intérieur de KS-R.9. Le travail continue.

Ce qui trancherait la question

Le test décisif de ce chapitre est la méta-analyse décrite dans l'Annexe C, non une nouvelle mesure.

Toutes les mesures de G de haute précision publiées avec une incertitude inférieure à 100 ppm — approximativement quinze à vingt expériences sur les trois dernières décennies — sont cataloguées avec des enregistrements détaillés de la géométrie de l'appareil : type de suspension, disposition des masses d'épreuve, profil de gradient, environnement gravitationnel local. AP06 spécifie le taux de fuite en fonction de la géométrie de la frontière.

Pour chaque appareil du catalogue, calcule la fuite prédite à partir des premiers principes, générant un décalage prédit dépendant de l'appareil pour chaque mesure. Teste ensuite si les valeurs mesurées de G corrélaient avec les signatures de fuite prédites.

Une forte corrélation ($R^2 > 0.7$) avec les valeurs corrigées de la fuite se regroupant étroitement autour de 6.7206×10^{-11} : Candidate 1 confirmée, le

tableau structurel du chapitre soutenu, la dispersion expérimentale expliquée. Une corrélation faible ou absente : Candidate 1 falsifiée, l'écart de 0.69 % appartient à la Candidate 2 ou à la formule elle-même qui échoue. Un résultat mixte : les deux contribuent, et l'analyse répartit l'écart entre elles.

Le programme ne coûte rien à lancer. Les données existent déjà. La dérivation de la fuite est mathématique. L'analyse de corrélation est une seule régression. Calendrier : trois à six mois pour un résultat primaire définitif.

Un programme secondaire — un appareil de mesure de G de nouvelle génération conçu spécifiquement pour minimiser la fuite de frontière — prendrait trois à cinq ans et fournirait une vérification indépendante. Un troisième programme — la fermeture formelle de la sous-dette de normalisation de la perforation par analyse topologique directe de AP04 et AP05 — résoudrait KS-R.9 au niveau mathématique, six à douze mois.

La proposition de recherche complète, avec résumé, contexte, phases du programme, résultats attendus et calendrier, est dans l'Annexe C. L'appareillage formel réside là où l'appareillage formel a sa place. Ce qui compte ici, c'est le pari : le relevé existant des mesures de G contient déjà le signal ; une méta-

analyse des données existantes peut trancher l'affirmation centrale de ce chapitre dans l'année.

Ce que cette Partie a accompli

La gravité n'est pas faible. La gravité est large.

La hiérarchie — le rapport de forces de 10^{42} entre l'électromagnétisme et la gravité à l'échelle de l'électron, ou de manière équivalente le couplage gravitationnel sans dimension $\alpha G \approx 10^{-45}$ se situant 42 à 43 ordres de grandeur en dessous de α — n'est pas un problème exigeant la supersymétrie, ou des dimensions supplémentaires, ou une sélection anthropique à travers un paysage de cordes. La hiérarchie est un décompte. Vingt et un canaux dans l'arène.

Chaque canal se couple au taux $\alpha \approx 1/137$. Les canaux indépendants se composent : $\alpha \times \alpha \times \alpha \times \dots$ vingt et une fois égale $\alpha^{21} \approx 1.34 \times 10^{-45}$. Avec la correction de perforation pour l'électron non apparié, le couplage gravitationnel est $\alpha^{21} \times (1 + 1/\pi) \approx 1.76 \times 10^{-45}$. Multiplié par le pont dimensionnel $\hbar c/m_e^2$, cela donne $6.7206 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$.

La valeur CODATA est 6.6743×10^{-11} . L'écart est de 0.69 % — environ 6 900 parties par million, bien au-dessus de l'incertitude de 22 ppm d'une mesure unique et aussi au-dessus de l'étalement d'environ

500 ppm entre les expériences modernes indépendantes. Deux explications candidates demeurent vivantes.

Tout appareil de mesure est une frontière qui fuit, et la fuite dépendante de l'appareil produit un biais systématique vers le bas ; l'écart est une empreinte structurelle de cette fuite. Ou bien la normalisation $1/\pi$ n'est pas la forme finale, et la sous-dette signalée dans AP28 exige une fermeture topologique formelle. Les deux candidates sont testables. La méta-analyse de l'Annexe C les distingue.

Sept Sollbruchstellen sont vivantes. La prédiction de G elle-même, le décompte des canaux (quatre sous-commutateurs couvrant la complétude des faces, la portée de l'actualisation, l'indépendance et l'uniformité), la géométrie de la perforation (portant sa sous-dette reconnue) et l'interprétation d'unification. Chacune spécifie exactement ce qui détruirait la prédiction. Chacune est testable.

Les trois constantes fondamentales c , $\hbar$ et G se correspondent maintenant de manière biunivoque avec les trois axiomes qui produisent des quantités physiques : $c \leftrightarrow C$, $\hbar \leftrightarrow B$, $G \leftrightarrow R$. L'Axiome S produit la topologie — la structure à deux secteurs, le miroir, la scène sur laquelle les trois autres agissent. Les entiers viennent de la géométrie de la variété. Les corrections viennent de la physique de la fuite. Entre

eux, ils produisent trois des nombres les plus importants de la physique, avec une entrée mesurée et aucun paramètre libre.

Si la formule est fausse, les Sollbruchstellen spécifient exactement où elle se brisera. Si elle est juste, la gravité n'est pas un paramètre libre de la nature. C'est le même couplage que l'électromagnétisme, distribué à travers la structure complète des canaux de l'arène. La hiérarchie est un plan d'étage. L'unification que la relativité générale et l'électrodynamique quantique ont passé un siècle à chercher est déjà là — non pas entre deux théories différentes, mais à l'intérieur d'un seul processus lu par ses deux extrémités.

Cette unification, énoncée pleinement. Les deux forces ne sont pas séparées. Elles sont le même couplage à des multiplicités différentes. La gravité est le couplage maintenant les 21 canaux ouverts simultanément. L'électromagnétisme est le même couplage effondrant un canal en un enregistrement. La mécanique quantique est ce à quoi ressemble la gravité vue de l'intérieur — toutes les possibilités maintenues. La mécanique classique est ce à quoi ressemble l'électromagnétisme vu de l'intérieur — un seul résultat sélectionné. Deux extrémités d'un seul processus.

Cette interprétation est développée en détail dans AP28 §9. Elle est offerte ici, après la dérivation, parce que la formule numérique se tient par elle-même. La Sollbruchstelle KS-R.10 garde l'interprétation séparément ; un lecteur qui accepte l'accord et rejette l'interprétation n'a aucun désaccord avec l'affirmation numérique du chapitre.

Tu es retenu au sol par le même couplage qui te permet de voir cette page. La lumière qui atteint tes yeux, c'est α agissant à travers un seul canal. Ton poids sur la chaise, c'est α agissant à travers les vingt et un canaux à la fois. Des multiplicités différentes du même taux, la même rupture, le même axiome à l'œuvre.

Quand tu marches, quand tu t'assieds, quand une feuille tombe ou qu'une planète orbite autour d'une étoile, c'est le même couplage lu à travers un seul canal et à travers les vingt et un — un seul processus à deux multiplicités, maintenu ouvert à l'instant même, à ce site, à la résolution à laquelle 21 est imposé.

Dans la Partie III, le même vocabulaire répond à une question plus délicate. Pourquoi le neutron est-il légèrement plus lourd que le proton ? La différence de masse est minuscule — juste 2.53 masses de l'électron — mais elle détermine si l'univers contient ou non des atomes. La réponse utilise le même entier

3 (les faces de couleur) et le même couplage α , dans une combinaison différente, avec le même genre de correction géométrique. Le même bâtiment, lu sous encore un autre angle.

Le bâtiment a des pièces à l'intérieur des pièces. Le décompte ne fait que commencer.

Partie III - Le Murmure du Neutron

La différence de masse neutron-proton, dérivée à 2 parties par million

Prédite : $(m_n - m_p)/m_e = 2.5309939330$

Mesurée : 2.5309883000 (CODATA 2018)

Résidu : 2.2 parties par million

Une entrée mesurée : $\alpha \approx 1/137$. Zéro paramètre libre.

Le neutron est légèrement plus lourd que le proton. D'exactement 2.53 masses de l'électron. Environ 0.14 % de la masse totale du proton.

Cette minuscule différence est la raison pour laquelle l'univers contient des atomes.

Si le neutron était plus léger que le proton, tout s'inverserait. Les protons se désintégreraient en neutrons par désintégration bêta inverse, libérant un positron et un neutrino. L'hydrogène libre n'existerait pas. L'univers serait une mer froide de neutrons. Aucune étoile brûlant la fusion de l'hydrogène. Aucune chimie. Aucune biologie. Un cosmos sombre et sans traits.

Si le neutron était bien plus lourd qu'il ne l'est — si la différence de masse était, disons, dix fois plus grande — les neutrons se désintégreraient trop vite pour survivre à l'intérieur des noyaux. Les éléments lourds ne pourraient pas se former. Le tableau périodique s'arrêterait à l'hydrogène. Le carbone, l'oxygène, le fer, l'or — rien de tout cela ne pourrait exister. Aucune étoile au-delà de la première génération. Aucune planète. Aucune vie.

La valeur réelle se tient sur le fil du rasoir. Assez lourd pour que le neutron soit instable en dehors des noyaux, de sorte que l'univers est dominé par l'hydrogène stable (qui devient le carburant de chaque étoile ayant jamais existé). Assez léger pour que les neutrons survivent à l'intérieur des noyaux, de sorte que le carbone, l'oxygène et tous les éléments plus lourds puissent se former.

La différence de masse détermine la durée de vie du neutron libre (environ 880 secondes), le rapport proton-neutron dans l'univers primordial (qui fixe l'abondance primordiale d'hélium à environ 25 %), et par conséquent la composition chimique du cosmos tout entier.

Que tout cela dépende d'un unique nombre minuscule — 2.53 masses de l'électron — est un fait bien connu parmi les physiciens. Moins bien connu est le fait qu'aucun cadre n'a jamais dérivé ce

nombre à partir des premiers principes. Le Modèle standard peut le calculer, mais seulement en prenant la masse du quark up, la masse du quark down et l'auto-énergie électromagnétique comme entrées.

Chacune de ces entrées est elle-même mesurée, non dérivée. Le Modèle standard te dit que si tu introduis ces trois nombres, la différence de masse neutron-proton en ressort. Il ne te dit pas pourquoi l'un quelconque de ces trois nombres a les valeurs qu'il a.

Ce chapitre dérive la différence de masse neutron-proton à partir du système d'axiomes.

La formule utilise le même vocabulaire structurel que les Parties I et II ont établi : l'entier 3 (les trois faces de couleur de l'état lié, dérivé dans la Partie I), le couplage $\alpha \approx 1/137$ (le même taux de fuite), et un nouveau facteur géométrique — la courbure en boucle fermée $1/(2\pi)$. Deux termes. Statique plus dynamique. Le même motif qui a fixé la masse du proton dans la Partie I, lu à la différence de masse entre deux variantes à un quark échangé.

La prédiction correspond à la mesure à 2 parties par million. Le chapitre parcourt la dérivation pas à pas, nomme les sept Sollbruchstellen, et propose le test précis de QCD sur réseau qui confirmerait ou détruirait l'affirmation.

La première question : à quoi ressemble le neutron, structurellement, comparé au proton ? La réponse est simple. Le neutron est le proton avec un mur repeint.

La différence de masse qui a construit les atomes

Il y a environ quatorze milliards d'années, approximativement une seconde après le Big Bang, l'univers était assez chaud pour que les protons et les neutrons se convertissent librement les uns dans les autres. Le rapport entre eux était fixé par le facteur de Boltzmann : $\exp(-\Delta m c^2 / kT)$, où Δm est la différence de masse neutron-proton, kT est l'énergie de température, et le signe moins reflète que la particule plus lourde est supprimée.

Alors que l'univers se refroidissait, la conversion s'est figée à une température précise, gelant le rapport à environ un neutron pour sept protons.

Ce rapport a déterminé l'abondance de l'hélium. Au cours des trois minutes suivantes, la quasi-totalité des neutrons survivants a été capturée dans des noyaux d'hélium-4 — deux protons plus deux neutrons, le noyau léger le plus fortement lié. Le résultat : 25 % de toute la matière ordinaire de l'univers est de l'hélium, 75 % est de l'hydrogène, avec des traces de lithium. C'est la composition primordiale — le carburant brut à partir duquel

chaque étoile et chaque planète a fini par être construite.

Chaque étoile qui a jamais brûlé. Chaque atome de carbone dans chaque être vivant. Chaque atome de fer au cœur de la Terre. Chaque élément plus lourd que l'hélium a été cuisiné dans les fournaises stellaires à partir de ce mélange initial hydrogène-hélium, et le mélange lui-même a été fixé, une seconde après le Big Bang, par un nombre qui dépend de 2.53 masses électroniques.

L'image standard

Dans le Modèle Standard, la différence de masse neutron-proton naît d'une quasi-annulation entre deux contributions de signe opposé. La contribution QCD — due au fait que le quark down est plus lourd que le quark up — est d'environ $+2.5$ MeV. La contribution QED — due à l'auto-énergie électromagnétique, qui est plus grande pour le proton parce que le proton a une charge quadratique moyenne plus élevée — est d'environ -1.0 MeV.

Le total est d'environ $+1.3$ MeV. La différence de masse observée est le petit résidu qui subsiste après l'annulation partielle des deux grands effets.

La QCD sur réseau peut calculer ce total ab initio. Le calcul de 2015 de la collaboration BMW (Borsanyi et

al., Science 347, 1452) a rapporté $m_n - m_p = 1.51 \pm 0.16$ (stat) ± 0.23 (sys) MeV, cohérent avec la valeur mesurée à l'incertitude du réseau près. Les travaux ultérieurs ont progressivement resserré la précision, de 1 % en 2015 vers 0.1 % dans les calculs actuels à la pointe de l'état de l'art.

Mais la QCD sur réseau prend la masse du quark up, la masse du quark down et le couplage électromagnétique comme intrants. Chacun est mesuré, non dérivé. Le Modèle Standard ne répond pas à la question de savoir d'où viennent les paramètres d'entrée.

Ce que signifierait une dérivation

Une formule qui dérive la différence de masse neutron-proton d'une seule constante de couplage (α) plus des primitives purement géométriques (l'entier 3 issu des faces de couleur, et π issu de la géométrie de boucle fermée) signifierait que la différence n'est pas un accident. C'est un décompte géométrique de ce qui se passe lorsque tu changes la saveur d'un quark dans un état lié à trois faces.

La quasi-annulation QCD-QED que le Modèle Standard décrit numériquement deviendrait, dans cette lecture, un unique effet géométrique de boucle fermée. Pas deux grandes contributions qui

s'annulent. Un seul décompte géométrique, produisant directement le résultat net.

C'est l'affirmation structurelle la plus tranchante du chapitre, et elle est directement testable. La Section 6 de ce chapitre propose le test spécifique de QCD sur réseau — une décomposition en contributions QCD-seule et QED-seule à une précision sous les 0.1 % — qui confirmerait la lecture ou la détruirait.

Le neutron comme un proton dont un mur a été repeint

Le neutron et le proton sont le même bâtiment, avec un mur peint d'une couleur différente.

À l'intérieur du proton : deux quarks up et un quark down. Chaque quark porte l'une des trois charges de couleur — rouge, verte, bleue. Les trois ensemble forment un état singulet de couleur (la combinaison linéaire spécifique qui est globalement neutre en couleur, ce qui est l'exigence de confinement pour tout hadron stable). La masse du proton, comme l'a dérivée la Partie I, est de 1836.152673426 masses électroniques, fixée par la structure complète canal-face-échange de l'état lié à trois faces.

À l'intérieur du neutron : un quark up et deux quarks down. Les mêmes trois charges de couleur, la même structure à trois faces, la même exigence de

confinement. Le rapport up-sur-down est passé de 2:1 à 1:2. Tout le reste est identique.

Cet échange d'un seul quark est la totalité de la différence entre proton et neutron. Structuellement, tu peins l'un des trois murs d'une couleur différente. L'architecture du bâtiment — le plan d'étage, les corridors, les 21 canaux, la matrice d'échange statique — tout cela reste identique. Un seul élément a changé : la saveur (up ou down) de l'un des trois quarks.

Mais la saveur n'est pas gratuite. Changer un quark up en un quark down change deux choses. Premièrement, cela change le motif d'asymétrie des faces de couleur — la géométrie statique. Deuxièmement, cela change la distribution de charge électromagnétique — le couplage dynamique. Les deux effets coûtent de la masse, et les deux contributions s'additionnent : statique + dynamique = la différence de masse neutron-proton.

Trois faces enregistrent l'échange

Le coût statique est $3 \times (1 - 1/(2\pi))$. Décortiquons cela.

Première question : pourquoi 3 ? Pourquoi cet entier et non 1 ou 2 ou 9 ?

La réponse remonte aux trois faces de couleur. D'après la Partie I et AP10/AP19 : l'arène a trois dimensions spatiales, qui se projettent sur trois rôles structurels pour la rupture — propagation, échange, rupture elle-même. Ces trois rôles sont ce que les physiciens appellent les trois charges de couleur de la force forte. Ce ne sont pas trois couleurs de lumière indépendantes. Ce sont trois lectures indépendantes de la même structure géométrique sous-jacente.

Dans un état lié à trois quarks, les trois quarks occupent les trois faces de couleur. Lorsque tu échanges la saveur d'un quark (up en down), tu changes la distribution d'asymétrie sur les trois faces, et pas seulement sur la face où se trouve le quark échangé. C'est parce que la matrice d'échange de couleur — les neuf chemins dérivés dans la Couche 3 de la Partie I — couple continûment les trois faces les unes aux autres. Une perturbation sur une face quelconque se propage aux trois par le mécanisme d'échange.

Ainsi l'échange de saveur est ressenti par les trois faces, et chaque face enregistre une unité du coût d'asymétrie. D'où l'entier 3.

Si tu avais un état lié à deux faces, l'entier serait 2. Si tu avais un état lié à cinq faces, l'entier serait 5. L'entier 3 est une conséquence spécifique de la

structure de couleur de la QCD — laquelle, dans ce cadre, est une conséquence spécifique des trois dimensions spatiales de l'arène.

Le facteur de courbure $1 - 1/(2\pi)$

Deuxième question : pourquoi $1 - 1/(2\pi)$ par face, plutôt que 1 par face ?

Le facteur a deux parties. Le 1 représente l'unité d'asymétrie complète par face — le coût de chaque face enregistrant une unité de l'échange de saveur. Le $-1/(2\pi)$ est une correction de courbure.

La correction naît du fait que les faces de couleur à l'intérieur de l'état lié ne sont pas disposées sur un fond plat. Elles sont couplées par un échange continu — chaque face communique avec chaque face via des gluons, et cet échange se produit sur des boucles géométriques fermées (les trois faces ensemble forment un état singulet de couleur fermé).

Une boucle fermée en unités géométriques naturelles a une circonférence 2π (le périmètre d'un cercle unité). L'inverse de cette circonférence, $1/(2\pi)$, est le poids géométrique naturel par enroulement unique autour de la boucle.

C'est le même type de facteur qui apparaît partout en physique dès que la géométrie de boucle fermée est impliquée — boucles de Wilson en théorie de jauge,

intégrales de chemin sur des espaces compacts, phases géométriques en mécanique quantique. Le 2π est la circonférence universelle de boucle fermée. Le $1/(2\pi)$ est son inverse, qui pondère chaque unité d'échange par la géométrie de la boucle.

La courbure réduit l'asymétrie effective. Les trois faces, posées sur une boucle fermée, annulent partiellement l'asymétrie l'une de l'autre par l'échange continu. L'unité d'asymétrie complète (1 par face) est réduite de la fraction $1/(2\pi)$ qui se dissipe dans l'échange au lieu de rester localisée sur la face. L'asymétrie effective nette par face est $1 - 1/(2\pi) \approx 0.841$.

Sur les trois faces : $3 \times (1 - 1/(2\pi)) \approx 2.5225$. C'est le coût statique de l'échange de saveur.

Remarque que le facteur $1/(2\pi)$ ici est structurellement lié au facteur $1/\pi$ qui est apparu dans la dérivation gravitationnelle de la Partie II. Les deux proviennent de la géométrie des frontières fermées dans la variété — la Partie II a utilisé la projection en grand cercle d'une frontière sphérique (poids $1/\pi$) ; la Partie III utilise la circonférence de boucle complète (poids $1/(2\pi)$). La même famille de facteurs géométriques gouverne les deux phénomènes. Pas une coïncidence — la variété étant auto-cohérente.

C'est l'axiome qui tourne. $1:1 + 1 \times \varepsilon$ @ AS lu à la frontière neutron-proton — trois faces de couleur recevant chacune une unité d'asymétrie, réduite par la géométrie de boucle fermée sur laquelle elles vivent, produisant 2.5225 avant toute correction dynamique. L'entier est le décompte spatial de l'arène. La courbure est la topologie de boucle fermée de l'arène. L'échange est l'axiome qui se rompt à AS, et l'état lié qui se réécrit autour de cette rupture.

Le terme statique inclut déjà l'annulation QCD-QED

Avant de dériver le terme dynamique, une précision structurelle que le chapitre doit à un lecteur attentif.

Dans le Modèle Standard, $m_n - m_p$ est le petit résidu qui subsiste après l'annulation partielle de deux grands effets opposés : une contribution QCD de +2.5 MeV et une contribution QED de -1.0 MeV, produisant +1.3 MeV net. Le terme statique $3 \times (1 - 1/(2\pi)) \approx 2.5225$ masses électroniques ≈ 1.289 MeV est numériquement presque la totalité de la différence de masse observée.

Il n'est pas identifiable à la seule contribution QCD, car la contribution QCD est de 2.5 MeV, non de 1.3 MeV. Ce que le terme statique capture, structurellement, c'est le coût géométrique combiné

de l'échange de quark — incluant déjà quelle que soit l'annulation que la physique décrirait en termes QCD+QED.

C'est l'affirmation structurelle la plus tranchante du chapitre. La quasi-annulation que la QCD sur réseau calcule numériquement est, dans cette lecture, un unique décompte géométrique. Les trois faces de couleur enregistrent l'échange ; la courbure de boucle fermée réduit la contribution de chaque face de $1/(2\pi)$; le résultat est 2.5225 — déjà la valeur de quasi-annulation. Pas de seconde grande contribution en attente pour l'annuler. La géométrie de boucle fermée produit la réduction qui, dans le langage du Modèle Standard, est attribuée à une contribution QED distincte.

C'est directement testable. Les calculs de QCD sur réseau peuvent être décomposés en contributions QCD-seule et QED-seule. Le cadre ne nie pas que la décomposition de la QCD sur réseau soit valide au sein de ce formalisme. Il affirme que cette décomposition est un artefact de la séparation des forces en secteurs indépendants opérée par le Modèle Standard, et que la géométrie sous-jacente produit directement le résultat net, sans annulation intermédiaire.

Plus précisément : la contribution QCD-seule sur réseau, à une précision suffisante, devrait

correspondre à approximativement $3 \times 1 = 3.0$ masses électroniques avant la correction de courbure, et la réduction de courbure $3 \times 1/(2\pi) \approx 0.477$ devrait être identifiable comme la portion que la QCD sur réseau attribue à la QED. La correspondance est testable au niveau de nombres spécifiques, pas seulement des totaux.

Le terme dynamique — le raffinement en $O(\alpha)$

Le terme statique donne 2.5225. La valeur mesurée est 2.5310. La différence est 0.0085. Qu'est-ce qui rend compte de cette petite pièce supplémentaire ?

La réponse est la même qu'à la Partie I. Le proton et le neutron ne sont pas des structures statiques. Les deux sont dynamiquement maintenus contre la tendance du substrat à cicatriser la rupture, au taux de fuite α . La géométrie statique capture l'architecture de l'état lié ; la correction dynamique capture le coût en $O(\alpha)$ du maintien de cette architecture contre la fuite du substrat.

Pour la différence neutron-proton, la question pertinente est de savoir en quoi le coût de maintien dynamique diffère entre les deux. Les deux particules ont la même structure à 21 canaux et le même état lié à trois faces. La différence est le contenu en saveur, qui change la distribution de charge électromagnétique (proton : $+2/3, +2/3, -1/3$ sur les

trois faces ; neutron : $+2/3$, $-1/3$, $-1/3$) et donc le taux spécifique auquel chaque particule se couple à la liberté de phase du substrat.

Le taux de couplage est α par canal, la même constante qui a entraîné le maintien dynamique de la Partie I. Le facteur de modulation géométrique pour la différence neutron-proton est $1 + 1/(2\pi)$, où le $+1/(2\pi)$ entre avec un signe positif parce que la courbure de boucle fermée concentre le couplage électromagnétique à l'intérieur de l'état lié, au lieu de le diluer comme elle le faisait pour l'asymétrie statique.

La différence de signe entre le facteur statique ($1 - 1/(2\pi)$) et le facteur dynamique ($1 + 1/(2\pi)$) reflète la différence entre diluer une asymétrie statique (que la boucle moyenne et efface) et concentrer un champ dynamique (que la boucle focalise vers l'intérieur). Le même motif de signes apparaît partout en physique — boucles de Wilson, intégrales de chemin sur des variétés compactes, phases géométriques en mécanique quantique — pour la même raison structurelle.

Numériquement : $\alpha \times (1 + 1/(2\pi)) = 7.2974 \times 10^{-3} \times 1.15915 = 0.00846$.

De façon critique, ce terme dynamique est environ 300 fois plus petit que le terme statique. C'est une

petite correction par-dessus le résultat statique déjà quasi correct. Pas l'un de deux grands effets opposés qui s'annulent presque. Le cadre ne reproduit pas la décomposition QCD/QED du Modèle Standard ; il produit une décomposition différente dans laquelle la différence de masse observée est déjà capturée par la géométrie statique, le terme dynamique raffinant la précision de 0.3 % à 2 ppm.

Les deux contributions s'additionnent

Les contributions statique et dynamique s'additionnent, pour la même raison que les trois couches de la décomposition de la masse du proton se sont additionnées dans la Partie I : elles naissent de contraintes structurelles indépendantes sur des sous-ensembles d'axiomes indépendants.

Le coût statique remonte à la structure de la force forte : trois faces de couleur, échange en boucle fermée, correction de courbure. Axiome S (la structure de couleur à deux secteurs), Axiome B (la projection de face), Axiome C (la géométrie de boucle fermée). Le coût dynamique remonte au couplage électromagnétique : α comme taux de fuite, la même géométrie de boucle amplifiant au lieu de diluer. Axiome B (la liberté de phase) et Axiome R (l'exigence de maintien que α mesure).

Les deux chaînes impliquent des sous-ensembles d'axiomes qui se recoupent, mais les contributions spécifiques à la différence de masse sont indépendantes : un changement dans la structure statique ne change pas automatiquement la structure dynamique, et vice versa. Les contributions s'additionnent.

Cette additivité porte la même Sollbruchstelle que l'additivité de la Partie I (KS-30.1). L'argument repose sur l'indépendance des axiomes avancée dans AP20 ; la preuve formelle complète que les contributions statique et dynamique vivent dans des sous-espaces indépendants de l'espace de configuration de l'état lié n'a pas été construite. La dette D19 s'applique ici.

Le nombre

En rassemblant toutes les pièces — pour la première fois, la formule complète :

$$(\mathbf{m_n} - \mathbf{m_p}) / \mathbf{m_e} = 3 \times (1 - 1/(2\pi)) + \alpha \times (1 + 1/(2\pi))$$

En substituant les valeurs.

$$\text{Statique : } 3 \times (1 - 1/(2\pi)) = 3 \times 0.8408450569 = 2.5225351707.$$

Dynamique : $\alpha \times (1 + 1/(2\pi)) = 0.0072973526 \times 1.1591549431 = 0.0084587623$.

Total : 2.5309939330

Valeur mesurée (CODATA 2018, inchangée dans CODATA 2022) : 2.5309883.

Résidu : 5.64×10^{-6} , soit 2.23 parties par million.

Le résultat de QCD sur réseau BMW 2015 (Borsanyi et al. 2015) a donné 1.51 ± 0.28 MeV, ce qui en unités de masse électronique est approximativement 2.96 ± 0.55 — cohérent à la fois avec la valeur mesurée et avec la prédiction, à l'incertitude du réseau près. Les travaux ultérieurs sur réseau ont resserré la précision vers 0.1 % ; un calcul de nouvelle génération à ce niveau serait un test définitif.

Un seul intrant mesuré. Zéro paramètre libre. L'entier 3 remonte aux trois faces de couleur (AP10/AP19). Le facteur de courbure $1/(2\pi)$ remonte à la géométrie de boucle fermée de l'état lié (AP30 §4). Rien d'ajusté. Rien d'accordé.

Pourquoi la formule n'est pas exacte

Le résidu de 2.23 ppm est petit mais non nul. La même raison que le résidu de la Partie I était non nul : $1:1 + 1 \times \varepsilon$ @ AS. Symétrie parfaite plus une

fissure, au maintenant qui s'actualise. La formule capture le coût structurel de l'échange de quark au premier ordre en α .

Des corrections d'ordre supérieur — un terme en $O(\alpha^2)$, analogue à celui de la Partie I — raffinerait davantage la prédiction. Une estimation d'ordre de grandeur : la correction en $O(\alpha^2)$ devrait être à peu près α fois le terme dynamique du premier ordre. $\alpha \times 0.00846 \approx 6 \times 10^{-5}$, soit environ 24 ppm. Le résidu observé est de 2.23 ppm, cohérent avec une contribution partielle en $O(\alpha^2)$.

Comme précédemment : la formule ne peut pas être exacte. Si elle l'était, ε serait nul et aucune différence de masse n'existerait. Le résidu est structurellement exigé par $1:1 + 1 \times \varepsilon$ @ AS.

Trois traits distinguent cette dérivation de la numérologie. Les entiers sont dérivés avant d'être confrontés au nombre neutron-proton — le 3 issu des faces de couleur (AP10/AP19), le π issu de l'échange en boucle fermée (AP30 §4), indépendamment de toute cible de différence de masse. La formule a des conditions de falsification explicites — sept Sollbruchstellen ci-dessous.

Et la formule prédit la structure de décomposition à deux composantes que produisent les calculs de QCD sur réseau (contribution statique $\approx 298\times$ plus grande

que dynamique), testable aux niveaux de précision que les méthodes sur réseau atteignent. Les trois sont ici.

Si c'est faux

Sept Sollbruchstellen gardent ce chapitre. Quatre héritées de la Partie I — additivité, géométrie de fuite, comportement d'ordre supérieur, unicité. Trois spécifiques à la prédiction neutron-proton — décomposition à deux composantes, signe de la différence, cohérence avec la QCD sur réseau.

KS-30.1 — Additivité

Se déclenche si les contributions statique et dynamique ne peuvent pas être traitées comme indépendantes. La formule additive échoue. Héritée de la Partie I.

KS-30.2 — Isotropie de la fuite / géométrie de courbure

Le facteur $1/(2\pi)$ suppose que la courbure de boucle fermée est isotrope sur l'échange de couleur. Si l'échange a des directions privilégiées, la correction change. Héritée de la Partie I.

KS-30.3 — Comportement d'ordre supérieur

La formule est au premier ordre en α . La correction en $O(\alpha^2)$ n'a pas été calculée explicitement pour le cas neutron-proton. Si les termes d'ordre supérieur se comportent mal, l'accord à 2 ppm est accidentel. Héritée de la Partie I.

KS-30.4 — Formule alternative

Si une formule tout aussi simple avec une interprétation structurelle différente correspond à 2.53 avec une précision comparable, la dérivation est sous-déterminée. Héritée de la Partie I.

KS-NPP.1 — Décomposition à deux composantes

La formule prédit une structure à deux composantes spécifique : une contribution statique de 2.5225 (99.67 % du total) et une contribution dynamique de 0.00846 (0.33 %). Le rapport est 298.

Dans le calcul de QCD sur réseau du Modèle Standard, la décomposition analogue a une contribution QCD d'environ 2.5 MeV et une contribution QED d'environ -1.0 MeV. Les magnitudes sont comparables, mais le signe et les proportions diffèrent de la prédiction du cadre.

Cette Sollbruchstelle se déclenche si une décomposition de précision en QCD sur réseau

montre que les contributions QCD et QED à $m_n - m_p$ ont des magnitudes et des signes incompatibles avec la répartition statique:dynamique du cadre. Plus précisément : le cadre prédit que la contribution de la force forte (correspondant à la QCD) est positive et d'environ 2.5 masses électroniques, et que la contribution électromagnétique (correspondant à la QED) est positive et d'environ 0.008 masses électroniques. Un résultat sur réseau avec des magnitudes ou des signes fortement différents falsifierait la correspondance.

KS-NPP.2 — Signe de la différence

Le cadre prédit que le quark down est plus lourd que le quark up d'une quantité structurellement déterminée. C'est ce qui rend le neutron plus lourd que le proton. Le signe n'est pas trivial du point de vue observationnel — aucune loi de la physique à un niveau supérieur n'interdit $m_u > m_d$.

Cette Sollbruchstelle se déclenche s'il est montré que le cadre permet $m_u > m_d$ — si la dérivation structurelle de la hiérarchie des masses de quarks est incomplète ou réversible. Si le système d'axiomes admet les deux signes comme structurellement valides, le signe de $m_n - m_p$ n'est pas dérivé.

La dérivation actuelle établit la magnitude mais tire le signe de la correspondance. Une dérivation

complète de la raison pour laquelle la géométrie de projection de face force $m_d > m_u$ est la dette D20, ouverte par ce chapitre.

KS-NPP.3 — Cohérence avec la QCD sur réseau

À mesure que les calculs de QCD sur réseau gagnent en précision — du résultat BMW 2015 à 1 % d'incertitude, à travers des raffinements successifs vers moins de 0.1 % au cours de la prochaine décennie — la prédiction sur réseau convergera soit vers la valeur du cadre (2.5309939) soit s'en écartera.

Cette Sollbruchstelle se déclenche si un calcul de QCD sur réseau avec une incertitude inférieure à 0.1 % donne une valeur centrale à plus de 3σ de 2.5309939.

Comment tu peux le vérifier

La vérification directe prend moins d'une minute. Cherche $\alpha = 7.2973525693 \times 10^{-3}$. Calcule $1/(2\pi) = 0.159154943$. Calcule $1 - 1/(2\pi) = 0.840845057$. Multiplie par 3 : le terme statique est 2.52253517. Calcule $1 + 1/(2\pi) = 1.159154943$. Multiplie par α : le terme dynamique est 0.008458762. Additionne-les : 2.530993933. Compare à la valeur mesurée 2.5309883. Le résidu est 5.6×10^{-6} , soit 2.2 ppm.

Le code Python est dans l'Annexe B. Trois lignes pour cette prédiction. S'exécute instantanément. Si les nombres ne correspondent pas, le chapitre est clos. S'ils correspondent, tu as confirmé l'affirmation centrale en moins d'une minute.

Sept Sollbruchstellen sont actives. Quatre héritées. Trois spécifiques. La formule tient.

Ce qui trancherait la question

Le test décisif de ce chapitre est un calcul ciblé de QCD sur réseau de nouvelle génération à moins de 0.1 % d'incertitude, avec les contributions QCD et QED rapportées séparément.

Phase A : définir explicitement comment la décomposition statique/dynamique du cadre se met en correspondance avec la décomposition QCD/QED sur réseau. Le terme statique correspond à la contribution QCD plus la part médiée par la force forte de la différence de masse des quarks (à l'exclusion de l'auto-énergie purement QED) ; le terme dynamique correspond spécifiquement à la différence d'auto-énergie QED. Avec cette correspondance, le cadre prédit que la contribution

QCD sur réseau devrait être approximativement $+2.5225 m_e$ (environ $+1.29$ MeV) et que la contribution QED sur réseau devrait être approximativement $+0.0085 m_e$ (environ $+0.004$ MeV). Compare avec les valeurs réelles sur réseau.

Phase B : un calcul de précision sur réseau visant une incertitude ≤ 0.1 %, avec les contributions QCD-seule et QED-seule énoncées indépendamment. Les collaborations qui succèdent à BMW devraient atteindre cette précision d'ici trois à cinq ans.

Phase C : la comparaison. Une correspondance confirme l'interprétation structurelle. Un désaccord identifie quelle contribution nécessite une révision.

Programmes secondaires : mesure de précision de la masse du neutron dans des pièges de Penning visant moins de 0.1 ppb (amélioration d'un ordre de grandeur par rapport aux ~ 0.5 ppb actuels) ; clôture théorique de la dette D20 (pourquoi la géométrie de projection de face force $m_d > m_u$) ; calcul explicite du coefficient en $O(\alpha^2)$ pour le cas neutron-proton.

La proposition de recherche complète — résumé, contexte, phases, résultats attendus, calendrier — est dans l'Annexe C. Calendrier : quatre à six ans pour le programme principal.

Ce que cette Partie a accompli

Le neutron est plus lourd que le proton d'exactement ce que la géométrie exige.

Trois faces de couleur, chacune enregistrant l'échange de saveur avec une unité d'asymétrie, réduite par le facteur de courbure $1/(2\pi)$ qui émerge dès que l'échange se produit sur des boucles fermées. Plus une correction électromagnétique due au changement de distribution de charge, avec le même facteur de courbure entrant avec le signe opposé parce que la courbure amplifie la concentration de champ tandis qu'elle réduit l'asymétrie statique. Deux termes. Une formule. Deux parties par million d'accord avec la mesure la plus précise de la physique nucléaire.

La formule utilise un seul intrant mesuré (α) et trois primitives structurelles — l'entier 3, la constante π , les formes algébriques $1 \pm 1/(2\pi)$. Rien d'ajusté. Rien d'accordé. Le même vocabulaire structurel qui a construit la masse du proton dans la Partie I et la constante gravitationnelle dans la Partie II construit aussi la différence de masse qui détermine si l'univers contient des atomes.

Sept Sollbruchstellen sont actives. Quatre héritées de la Partie I (additivité, géométrie de fuite, comportement d'ordre supérieur, unicité). Trois spécifiques à la prédiction neutron-proton (décomposition à deux composantes, signe de la

différence de masse, cohérence avec la QCD sur réseau). Chacune spécifie exactement ce qui détruirait la prédiction. Chacune est testable.

Si la formule est fausse, les Sollbruchstellen spécifient exactement où elle se rompra. Si elle est juste, la différence de masse qui fixe le rapport cosmique hydrogène-hélium n'est pas un accident de la nature. C'est un décompte. Les mêmes trois faces de couleur qui tiennent le proton ensemble, lisant un échange de saveur, avec le même facteur de courbure universel qui apparaît partout où la physique se produit sur des boucles fermées.

Chaque atome de carbone en toi a été construit à partir de ce rapport. Chaque atome de fer au cœur de la Terre. Chaque photon que tes yeux enregistrent depuis une étoile lointaine. Le rapport hydrogène-sur-hélium fixé une seconde après le Big Bang — fixé par 2.53 masses électroniques — est le carburant brut de chaque fournaise stellaire qui ait jamais existé, et chaque atome dont tu es fait a été fusionné dans l'une de ces fournaises.

Les mêmes trois faces de couleur, le même couplage α , la même géométrie de boucle fermée qui produit la formule de ce chapitre t'ont produit.

Dans la Partie IV, le même cadre quitte l'échelle nucléaire et devient cosmologique. L'accélération

MOND — l'échelle à laquelle la dynamique galactique passe du newtonien au milgromien — se révèle dérivable du même système d'axiomes, avec la constante de Hubble entrant directement. Les canaux qui structurent la masse du proton structurent aussi les courbes de rotation de galaxies entières. Le bâtiment a des pièces à toutes les échelles.

Partie IV - Le plancher de la gravité

L'échelle d'accélération MOND, dérivée — et la constante de Hubble prédite

Formule : $a_0 = CS^2 \cdot cH_0 / (2\pi)$

où $CS^2 = 2 \ln(\sec(1/2) + \tan(1/2)) \approx 1.0445$ (facteur purement géométrique — pas la constante de structure fine)

Zéro paramètre libre. Prédit $H_0 = 74.3 \text{ km/s/Mpc}$.

Le facteur C_{S^2} ici n'est PAS $\alpha \approx 1/137$. Il est dérivé du profil de tension S^2 .

Chaque galaxie jamais mesurée tourne trop vite à ses bords.

Les étoiles à la périphérie d'une galaxie orbitent autour du centre galactique à des vitesses qui devraient les projeter dans l'espace intergalactique. La masse visible — les étoiles, le gaz, la poussière, tout ce qui émet ou absorbe la lumière — ne génère pas assez de gravité pour les retenir. D'un facteur cinq ou plus. Pourtant les étoiles restent. Chaque galaxie. Chaque mesure. Aucune exception.

L'explication standard domine la physique depuis quarante ans : la matière noire. Une substance invisible, environ cinq fois plus abondante que la matière ordinaire, formant de vastes halos autour de chaque galaxie, fournissant la gravité supplémentaire nécessaire pour maintenir les étoiles en place. Des milliards de dollars ont été dépensés à chercher des particules de matière noire. Des détecteurs souterrains — XENON, LUX-ZEPLIN, PandaX. Des collisionneurs de particules — le LHC. Des télescopes spatiaux. Le résultat, en quarante ans : pas une seule détection confirmée.

Pendant ce temps, en 1983, le physicien israélien Mordehai Milgrom fit une observation d'une précision extraordinaire. En dessous d'un seuil d'accélération précis — approximativement 1.2×10^{-10} mètres par seconde au carré — la dynamique galactique cesse de suivre la loi de Newton et entre dans un régime différent.

Dans ce régime, la vitesse de rotation devient plate : les étoiles à n'importe quelle distance du centre orbitent à la même vitesse. L'accélération de transition, appelée a_0 , a été confirmée à travers des milliers de galaxies de tailles, de formes, de luminosités et d'environnements différents. L'une des corrélations empiriques les plus serrées de toute l'astronomie extragalactique.

Mais en quarante-trois ans aucune théorie n'a expliqué pourquoi a_0 existe. D'où vient-elle ? Pourquoi cette valeur précise ? Et pourquoi est-elle numériquement proche de cH_0 — le produit de la vitesse de la lumière et de la constante de Hubble — une quantité cosmique qui n'a aucune raison évidente d'apparaître dans la dynamique galactique ? Qu'est-ce que la rotation d'étoiles dans une galaxie de cinq kiloparsecs de large a à voir avec le taux d'expansion de l'univers ?

Ce chapitre dérive la réponse du système d'axiomes.

$$a_0 = CS^2 \times c \times H_0 / (2\pi)$$

où $CS^2 = 2 \ln(\sec(1/2) + \tan(1/2)) \approx 1.0445$ est une correction géométrique dérivée exactement de la géométrie de la variété S^2 (AP18 §3.6 Propositions 2–3), c est la vitesse de la lumière, H_0 est le paramètre de Hubble, et 2π est la circonférence d'une boucle de ligne de champ dipolaire se fermant au rayon de Hubble.

Un avertissement de notation avant d'aller plus loin. Le symbole C_{S^2} utilisé tout au long de ce chapitre n'est PAS la constante de structure fine α . Dans l'article AP18 original le facteur était appelé α , un choix qui invitait à la confusion avec $\alpha \approx 1/137$ dans le reste du corpus, si bien que le renommage en C_{S^2} est adopté ici.

L'indice S^2 est un rappel que le facteur provient du profil de tension de la 2-sphère. La constante de structure fine $\alpha \approx 1/137$ n'apparaît pas dans ce chapitre.

Zéro paramètre libre. La formule connecte la dynamique à l'échelle galactique, une constante relativiste (c), et un observable cosmologique (H_0) à travers un facteur géométrique dérivé (2π). L'échelle d'accélération MOND est ce que la géométrie produit lorsqu'une ligne de champ de tension se ferme au plus grand rayon possible dans l'univers observable — le rayon de Hubble — et que la géométrie de la boucle agit sur la cohérence qui se propage.

Introduis les valeurs mesurées de c et H_0 , calcule exactement la correction S^2 (aucune mesure requise — un nombre pur issu de la géométrie dipolaire), et la prédiction pour a_0 suit. À $H_0 = 73.8 \text{ km/s/Mpc}$ (une valeur représentative de mesure locale), la prédiction est $a_0 = 1.192 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$. La valeur observée est $1.20 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$. L'écart est de 0.7 %, bien dans l'incertitude actuelle sur H_0 lui-même.

La formule fait aussi une prédiction concrète et falsifiable sur H_0 . En l'exécutant à rebours — en résolvant pour H_0 étant donné le a_0 observé — on obtient $H_0 = 2\pi a_0 / (C_{S^2} \cdot c) = 74.3 \text{ km/s/Mpc}$. Cela se place carrément du côté de la mesure locale de la tension de Hubble.

Le chapitre prend parti : la mesure locale est correcte, les mesures fondées sur le CMB ne le sont pas, et la valeur correcte de H_0 convergera vers approximativement 74 km/s/Mpc à mesure que la précision s'améliore. Si la tension se résout vers 67 à la place, la formule est en sérieuse difficulté.

Ce chapitre parcourt la dérivation, nomme les trois prémisses, dérive la topologie dipolaire des axiomes via Poincaré-Hopf, calcule la correction S^2 exacte, nomme les Sollbruchstellen, et propose les programmes observationnels spécifiques qui confirmeraient ou détruiraient l'affirmation.

La première chose à comprendre : une galaxie, vue de la perspective de l'axiome, est un point sur une 2-sphère de rayon égal au rayon de Hubble. La sphère est réelle — c'est la frontière de l'univers observable. Et la géométrie de la sphère dicte ce qui se passe aux échelles galactiques.

Les courbes de rotation qui ont brisé la masse visible

En 1970, l'astronome américaine Vera Rubin, travaillant avec Kent Ford à la Carnegie Institution, publia des mesures de courbe de rotation de la galaxie d'Andromède qui montraient quelque chose

d'impossible. Au lieu de voir la vitesse de rotation des étoiles décroître avec la distance au centre galactique — comme le prédisent les lois de Kepler — elle restait plate.

Les étoiles orbitant près du bord visible de la galaxie, où la densité de masse était tombée à presque zéro, se déplaçaient à la même vitesse que des étoiles bien plus proches du centre. La masse visible ne pouvait pas expliquer cela. Il n'y en avait pas assez.

Les mesures de Rubin furent suivies de milliers d'autres, galaxie après galaxie. Le motif était universel. Galaxies spirales. Galaxies naines. Galaxies elliptiques. Le gaz aux rayons détectables les plus externes. Toujours le même motif : trop de soutien rotationnel pour la masse visible. Quelque chose d'autre devait fournir l'attraction gravitationnelle.

La solution proposée était la matière noire. Si chaque galaxie est enchâssée dans un halo de substance invisible non baryonique — une qui n'émet, n'absorbe ni ne réfléchit la lumière, n'interagissant avec la matière ordinaire que par la gravité — la masse supplémentaire dans le halo peut expliquer les courbes de rotation plates. L'hypothèse de la matière noire est vite devenue le paradigme dominant.

La matière noire n'est pas seulement invoquée pour les courbes de rotation. Elle est requise par toute une

suite d'observations : le spectre de puissance angulaire du CMB, la formation des structures à grande échelle, la dynamique des amas de galaxies, les lentilles gravitationnelles. Chacune exige indépendamment à peu près la même quantité (environ cinq fois la masse baryonique). Le modèle cosmologique standard Λ CDM place la matière noire à approximativement 27 % de la densité d'énergie cosmique totale, l'énergie noire à environ 68 %, la matière ordinaire à environ 5 %.

L'observation de Milgrom

En 1983, Milgrom remarqua quelque chose que la matière noire n'expliquait pas. La transition du comportement newtonien vers le régime anormal de rotation plate se produit à une accélération précise — pas un rayon précis, pas une masse précise, pas une vitesse précise. La même accélération, partout. En dessous d'approximativement $1.2 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$, la loi de Newton cesse de fonctionner comme attendu. Au-dessus de ce seuil, elle fonctionne parfaitement.

Différentes galaxies ont des masses, des tailles, des densités, des vitesses de rotation et des histoires évolutives extrêmement diverses. Pourtant la transition de la dynamique newtonienne à la dynamique anormale se produit à la même accélération dans toutes. Le nombre 1.2×10^{-10} est

universel. Aussi fondamental comme constante observationnelle que G ou c , et pourtant il n'a aucune origine théorique évidente.

Milgrom proposa une modification simple : aux accélérations en dessous de a_0 , la loi de Newton $F = ma$ est remplacée par $F = m \times \sqrt{(a \times a_0)}$, où a_0 est une nouvelle constante universelle. C'est la Dynamique Newtonienne Modifiée (MOND). Avec un seul paramètre — la valeur de a_0 — MOND prédit les courbes de rotation galactiques avec une précision remarquable.

Elle prédit la relation de Tully-Fisher ($v^4 \propto M$ pour les galaxies spirales). Elle prédit la relation de Tully-Fisher baryonique pour tous les types de galaxies. Elle prédit la relation d'accélération radiale trouvée par McGaugh et ses collaborateurs en 2016. Un seul paramètre. Des milliers de galaxies. Aucun halo de matière noire nécessaire.

MOND a des limites. Aux échelles d'amas, MOND seul ne reproduit pas la dynamique observée — une masse supplémentaire est toujours requise, quoique moindre que la matière noire standard. Elle ne s'ajuste pas à tous les détails du spectre de puissance angulaire du CMB. Elle n'accommoder pas naturellement l'Amas de la Balle. Ce sont de véritables défis. Mais aux échelles galactiques, MOND a connu un succès extraordinaire.

La question ouverte depuis quarante-trois ans est : pourquoi MOND fonctionne-t-elle ? Pourquoi a_0 existe-t-elle comme échelle d'accélération fondamentale ? D'où vient sa valeur numérique précise ?

La coïncidence cH_0

Au début des années 2000, les physiciens remarquèrent que $a_0 \approx 1.2 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$ est numériquement proche du produit de la vitesse de la lumière et du paramètre de Hubble : $cH_0 \approx 7 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$. Le rapport a_0 / cH_0 est approximativement $1/6$, suspicieusement proche de $1/(2\pi) = 1/6.28$.

C'est soit un indice profond sur la nature de MOND, soit une coïncidence. Si c'est profond, alors la dynamique galactique connaît d'une manière ou d'une autre les quantités cosmologiques — le paramètre de Hubble apparaît dans la physique d'étoiles orbitant 10^{44} fois plus petites que l'horizon cosmologique. Une restructuration radicale de notre façon de penser les relations d'échelle du petit au grand. Si c'est une coïncidence, la proximité numérique est trompeuse et l'origine fondamentale de a_0 se situe ailleurs.

Aucun cadre antérieur n'a dérivé a_0 d'axiomes. Les approches existantes soit prennent a_0 comme intrant empirique (MOND elle-même) soit tentent de dériver

une phénoménologie de type MOND à partir d'autres points de départ théoriques (gravité émergente, conjectures de gravité quantique) sans prédire la valeur numérique de a_0 . La coïncidence cH_0 est restée sur la table pendant deux décennies, inexpliquée.

Ce que signifierait une dérivation

Une dérivation sans paramètre de a_0 à partir du système d'axiomes changerait entièrement le statut de MOND. Au lieu d'une observation empirique exigeant un nouveau paramètre phénoménologique, MOND deviendrait une conséquence dérivée de la géométrie de l'univers observable. La formule $a_0 = C_S^2 \cdot cH_0 / (2\pi)$ connecte la physique à l'échelle galactique aux quantités à l'échelle cosmologique par un mécanisme géométrique spécifique — des lignes de champ de tension se fermant au rayon de Hubble, la géométrie de boucle produisant le facteur 2π .

Si c'est correct, plusieurs conséquences s'ensuivent. Les halos de matière noire attribués à chaque galaxie ne seraient pas requis pour expliquer les courbes de rotation — une phénoménologie de type MOND est structurellement obligatoire aux basses accélérations. La matière noire en tant qu'espèce de particule pourrait toujours être nécessaire pour d'autres observations (amas, CMB, formation des

structures), mais le problème de la rotation galactique serait résolu sans elle.

La coïncidence cH_0 cesserait d'être une coïncidence. Le paramètre de Hubble apparaîtrait dans la dynamique galactique pour une raison structurelle précise : les lignes de champ de tension fournissant le couplage gravitationnel aux échelles galactiques font partie de la même structure de lignes de champ qui se ferme au rayon de Hubble. Les petites échelles et les grandes échelles partagent une géométrie, et a_0 est la signature de cette géométrie partagée.

Et la tension de Hubble elle-même serait recadrée. La prédiction $H_0 = 74.3 \text{ km/s/Mpc}$ prend un parti spécifique dans le désaccord entre les mesures de l'univers primitif (fondées sur le CMB, $H_0 \approx 67$) et de l'univers tardif (fondées sur les supernovæ, $H_0 \approx 73$). Si la tension se résout vers le côté de la mesure locale, confirmé. Si elle se résout vers le côté du CMB, falsifié.

C'est la prédiction la plus testable du chapitre, parce que la tension de Hubble est un domaine actif de travail observationnel et sera presque certainement résolue au cours de la prochaine décennie par les relevés à venir — Euclid, Rubin LSST, la prochaine génération d'expériences CMB.

Trois prémisses

La dérivation repose sur trois prémisses, chacune traçable à un axiome.

Prémisse 1 — la fermeture. L'Axiome S établit la structure à deux secteurs du substrat et force les lignes de champ à se fermer. Une ligne de champ de tension qui ne se ferme pas laisse la structure à deux secteurs déséquilibrée, ce qui viole l'Axiome S. Chaque ligne de champ de tension doit donc former une boucle fermée.

Prémisse 2 — l'étendue finie. Les Axiomes R (persistance de l'enregistrement) et C (contrainte — localité) interdisent conjointement aux lignes de champ de s'étendre au-delà du rayon de Hubble $R_H = c/H_0$. Une ligne de champ qui s'étendrait plus loin entrerait dans une région où l'expansion cosmique est superluminique, ce qui signifie que la ligne serait étirée plus vite que la borne causale ne permet à la courbure de se propager à rebours à travers elle.

La ligne ne pourrait pas se courber. Elle ne pourrait pas se fermer. Mais la fermeture est requise par la Prémisse 1. Par conséquent aucune ligne de champ ne s'étend au-delà de R_H .

Prémisse 3 — la propagation à c . L'Axiome C établit qu'aucun enregistrement, distinction ou information ne se propage plus vite que c . Le champ de tension se propage exactement à cette vitesse.

Ces trois prémisses, combinées à un théorème (Poincaré-Hopf), forcent l'image géométrique complète qui suit.

La topologie dipolaire — dérivée, non supposée

Le champ de tension aux échelles galactiques possède une topologie dipolaire : une source, un puits, avec toutes les lignes de champ allant de l'une à l'autre. Ce n'est pas une hypothèse. C'est dérivé des axiomes via le théorème de Poincaré-Hopf.

Étape un : une source, un puits. L'axiome B fournit exactement une rupture — un élément ε sans image miroir. Aux échelles galactiques, la concentration localisée de matière (la galaxie elle-même) est l'unique source. L'axiome S fournit l'involution σ échangeant les deux secteurs. L'image par σ de la source est le puits — un point unique correspondant à la galaxie. Une source. Un puits.

Étape deux : la structure angulaire vit sur S^2 . À l'échelle galactique, les parties radiale et angulaire du champ de tension se séparent. La composante angulaire, vue depuis la source galactique, vit sur le link du point source — qui, pour un point dans l'espace à 3 dimensions, est une 2-sphère. Sur cette S^2 , le champ de tension est un champ de vecteurs ayant des zéros à la source et au puits.

Étape trois : Poincaré-Hopf impose le dipôle. Le théorème de Poincaré-Hopf est un résultat fondamental de topologie différentielle : pour tout champ de vecteurs lisse sur une variété compacte à zéros isolés, la somme des indices des zéros égale la caractéristique d'Euler de la variété. Pour la 2-sphère, $\chi(S^2) = 2$. Le champ de tension a deux zéros — source (indice +1) et puits (indice +1). Leur somme vaut 2, ce qui correspond à la caractéristique d'Euler. Poincaré-Hopf est satisfait exactement.

Pourrait-il y avoir des zéros supplémentaires ? Seulement par paires qui s'annulent. Mais l'axiome B fournit exactement une source, et σ donne exactement un puits. Des sources ou des puits supplémentaires exigeraient des ruptures supplémentaires, contredisant la minimalité de l'axiome B. Par conséquent exactement deux zéros d'indice +1, reliés par des lignes de champ fermées — la définition d'un champ dipolaire.

La topologie dipolaire n'est pas importée de l'extérieur. Elle est dérivée de $\{S, B, C\}$ via un théorème de topologie différentielle. Cela solde la Dette D1 de AP18 et la Sollbruchstelle KS-47.

L'accélération au sommet et la fraction cohérente

Considère la ligne de champ la plus large possible — celle qui s'étend jusqu'au rayon maximal R_H avant de recourber.

Cette ligne quitte la galaxie au pôle « un », se propage vers l'extérieur à c , atteint R_H , recourbe, et revient au pôle « zéro ». À son sommet, la ligne a une courbure $\kappa_{\min} = 1/R_H$ — la courbure minimale de toute ligne de champ qui se referme.

Imagine une corde à sauter tenue par deux personnes. À mesure que les deux s'éloignent, la corde devient plus tendue et la courbure de son sommet plus douce. La ligne de champ la plus large possible est comme une corde à sauter dont les extrémités seraient aux côtés opposés de la sphère de Hubble — la courbure au sommet la plus douce de l'univers observable.

L'accélération le long d'une ligne de champ de courbure κ se propageant à la vitesse v vaut $a = v^2\kappa$. Pour la ligne de champ la plus large à la vitesse de propagation c avec une courbure $1/R_H$:

$$\mathbf{a_{apex} = c^2 / R_H = c^2 / (c/H_0) = cH_0}$$

L'accélération au sommet de la ligne de champ qui se referme la plus large possible vaut exactement cH_0 . À $H_0 = 73.8 \text{ km/s/Mpc}$: $cH_0 = 7.18 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$.

Environ six fois plus grande que la valeur observée a_0

$= 1.2 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$. L'écart est le facteur 2π dérivé ci-après.

Une identification qui mérite d'être nommée. Sous AP20 (AS = variété), la courbure d'une ligne de champ de tension EST la courbure de la variété, qui EST l'accélération gravitationnelle. La ligne de champ est un générateur géodésique de la variété. La formule $a = v^2 \kappa$ donne l'accélération gravitationnelle directement, non par analogie. C'est en cela que le cadre diffère d'une théorie de « gravité modifiée » : le champ de tension n'est pas un substitut à la gravité. Il est la gravité, dans le régime de basse accélération.

La fraction cohérente — $1/(2\pi)$

La boucle complète d'une ligne de champ dipolaire au rayon R_H ne va pas simplement de la source au sommet et retour le long d'un chemin radial. Elle suit un grand cercle sur la 2-sphère — de la source au puits le long d'un méridien, du puits à la source le long du méridien antipodal. La circonférence totale de la boucle est $2\pi R_H$.

À la vitesse de propagation c , le temps pour accomplir une boucle complète est $T_{\text{loop}} = 2\pi R_H / c = 2\pi / H_0$.

Le temps de cohérence de la variété à l'échelle de Hubble est $\tau = 1/H_0$ — le temps pendant lequel les enregistrements restent connectés causalement avant que l'expansion cosmologique ne les étire au-delà du contact causal.

Le rapport du temps de cohérence au temps de boucle est $\tau/T_{\text{loop}} = 1/(2\pi)$.

Au sein d'un temps de cohérence, seule la fraction $1/(2\pi)$ de la boucle complète maintient la connexion causale. Une masse test dans les régions externes d'une galaxie ressent la portion de la boucle qui a maintenu la cohérence causale pendant le temps de cohérence de la variété — $1/(2\pi)$ de la boucle complète.

Par AP18 §3.5 Lemme 1, l'accélération effective varie linéairement avec la fraction cohérente.

L'accélération de base cH_0 est réduite par $1/(2\pi)$:

$$\mathbf{a_0_base = cH_0 / (2\pi)}$$

À $H_0 = 73.8$: $a_0_base = 1.143 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$. À comparer à la valeur observée 1.20×10^{-10} . La correspondance est maintenant à 5 %. Les 5 % restants sont soldés par la correction exacte de S^2 .

C'est l'axiome qui tourne. $1:1 + 1 \times \varepsilon @ AS$ à l'échelle cosmologique — une source à la galaxie, un puits à son image par σ , la boucle du champ de tension se

refermant exactement au rayon au-delà duquel les axiomes R et C interdisent la fermeture, la fraction cohérente fixée par le rapport du temps de cohérence au temps de boucle. L'échelle MOND est l'axiome, à AS, se lisant lui-même à la plus grande géométrie que la variété permet.

La correction exacte de S^2

La formule de base $a_0 = cH_0/(2\pi)$ suppose une tension uniforme le long de l'arc cohérent. En réalité, la tension varie parce que les lignes de champ suivent des méridiens sur la 2-sphère de rayon R_H , et la conservation du flux exige que la tension augmente vers les pôles.

Le profil de tension est dérivé de l'axiome S (conservation du flux : le champ de tension est à divergence nulle entre les pôles) et de la symétrie axiale (imposée par les axiomes B + S : l'axe source-puits est l'unique direction distinguée). Sur $S^2(R_H)$, la tension par unité de longueur transverse suit $T(\theta)/T_{\text{apex}} = 1/\sin\theta$, où θ est la colatitude mesurée depuis le pôle source. Tension minimale à l'équateur (le sommet), augmentant à mesure que tu te déplaces vers l'un ou l'autre pôle.

L'accélération effective est proportionnelle à la tension moyenne sur l'arc cohérent, non à la tension au sommet seule. Le facteur de correction est

l'intégrale de $T(s)/T_{\text{apex}}$ sur l'arc cohérent de longueur R_H , centré sur le sommet. En substituant $u = s/R_H$:

$$\mathbf{C_S^2 = 2 \int_0^{(1/2)} \sec(u) \, du = 2 \ln(\sec(1/2) + \tan(1/2))}$$

Numériquement : $\sec(0.5) = 1.1395$. $\tan(0.5) = 0.5463$. Somme = 1.6858.

$$\mathbf{C_S^2 = 2 \ln(1.6858) \approx 1.0445}$$

C'est le facteur de correction exact. Un nombre pur, dérivé de l'intégrale d'un profil de tension qui est lui-même dérivé des axiomes. Aucun ajustement. Aucun réglage. Rien que de la géométrie.

Signification structurelle : $C_S^2 > 1$ signifie que la tension moyenne sur l'arc cohérent dépasse la tension au sommet (parce que la tension augmente vers les pôles, et que l'arc s'étend en partie vers eux). La correction pousse le a_0 prédit vers le haut de 4.5 % par rapport à la formule de base. La valeur spécifique 1.0445 est modeste parce que la géométrie de S^2 est douce — le profil $1/\sin\theta$ croît lentement près de l'équateur. En espace plat, le profil analogue serait bien plus abrupt et la correction bien plus grande. La courbure sphérique de la variété est protectrice.

Le nombre

En mettant tout ensemble :

$$a_0 = C_{\text{S}}^2 \times cH_0 / (2\pi)$$

où $C_{\text{S}}^2 \approx 1.0445$.

À $H_0 = 73.8 \text{ km/s/Mpc}$:

$$H_0 = 2.392 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1}. cH_0 = 7.173 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2.$$

$$cH_0/(2\pi) = 1.141 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2. C_{\text{S}}^2 \times cH_0/(2\pi) = 1.192 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2.$$

Valeur observée (McGaugh et al. 2016, Lelli et al. 2017) : $1.20 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$. Résidu : 0.7 %, bien dans l'incertitude actuelle sur H_0 lui-même.

La formule correspond à l'échelle d'accélération MOND observée dans les limites de l'incertitude actuelle sur H_0 .

La prédiction de Hubble

La formule peut être exécutée à l'envers. Étant donné le a_0 observé et le facteur de correction dérivé, elle prédit H_0 :

$$H_0 = 2\pi a_0 / (C_{\text{S}}^2 \cdot c)$$

En injectant $a_0 = 1.20 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$, $C_S^2 = 1.0445$, $c = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$: $H_0 = 2.407 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1} = 74.3 \text{ km/s/Mpc}$.

Sans paramètre. Étant donné l'échelle d'accélération MOND observée et le facteur de correction dérivé, le paramètre de Hubble doit être égal à 74.3 km/s/Mpc . Rien à ajuster.

Mesures actuelles. SH0ES (Céphéides + SN Ia, Riess et al. 2022) : $H_0 = 73.0 \pm 1.0 \text{ km/s/Mpc}$. Planck (CMB, ajustement ΛCDM) : $H_0 = 67.4 \pm 0.5 \text{ km/s/Mpc}$. Prédiction du cadre : 74.3 .

Deux incertitudes encadrent ce nombre, et l'honnêteté exige de les énoncer toutes deux. L'incertitude statistique sur a_0 est d'environ 2 %, donnant $H_0 = 74.3 \pm 1.2$. La dispersion méthodologique à travers les conventions d'ajustement SPARC est d'environ 20 %, donnant $H_0 = 74 \pm 15$. La prédiction est nette à 2 % et floue à 20 %.

Au niveau net, elle sépare proprement SH0ES de Planck. Au niveau flou, elle englobe les deux. D'ici cinq à dix ans, des mesures resserrées de a_0 et une méthodologie SPARC convergente solderont la dispersion méthodologique — à ce moment-là, la prédiction devient décisive.

Cohérente avec SH0ES dans les limites des incertitudes qui se recouvrent. La borne supérieure à 1σ de SH0ES est 74.0, à 0.3 de la prédiction. Complètement incohérente avec Planck — en désaccord de plus de 5σ .

Pourquoi la formule fonctionne aux échelles galactiques

Une question qu'un lecteur attentif se posera. Pourquoi la grandeur cosmologique H_0 apparaît-elle dans la physique d'étoiles orbitant une galaxie large de cinq kiloparsecs ? Pourquoi la rotation devrait-elle dépendre du taux d'expansion de l'univers ?

La réponse est structurelle, et c'est l'idée centrale du chapitre. L'effet gravitationnel en tout point est la courbure des lignes de champ de tension en ce point.

Aux basses accélérations — loin de la source, dans les régions externes d'une galaxie — la courbure est faible et les lignes de champ sont douces, s'étendant vers l'extérieur de façon significative avant de recourber. Plus la courbure est douce, plus les lignes de champ s'étendent loin. À la limite d'une courbure évanescence, elles s'étendraient indéfiniment — mais la Prémisse 2 l'interdit. Au-delà de R_H , les lignes de champ ne peuvent pas se refermer.

Les régions externes d'une galaxie, où les accélérations tombent sous a_0 , ressentent la condition aux limites cosmologique. Le rayon de Hubble est le plafond inévitable de la douceur avec laquelle une ligne de champ peut recourber. Au-delà de ce plafond, le champ ne peut pas se refermer, donc l'accélération plancher a_0 doit entrer en jeu. C'est la raison géométrique pour laquelle H_0 apparaît dans la dynamique galactique : la frontière externe de l'univers observable est aussi le plafond le plus interne sur la douceur avec laquelle la gravité peut recourber.

Trois traits distinguent cette dérivation de la numérologie. Les primitives géométriques sont dérivées avant d'être confrontées à a_0 — la topologie dipolaire à partir de Poincaré-Hopf sur S^2 , la fraction cohérente $1/(2\pi)$ à partir du rapport du temps de cohérence au temps de boucle, la correction de S^2 à partir de la conservation du flux sur la sphère. Chacune est indépendante de la cible MOND.

La formule a des conditions de falsification explicites — les Sollbruchstellen ci-dessous. Et elle produit une prédiction falsifiable nette sur H_0 que la prochaine décennie de mesures cosmologiques tranchera. Les trois sont ici.

Si c'est faux

Les Sollbruchstellen se regroupent en quatre familles : la dérivation de la fraction cohérente, la correction de S^2 , la topologie dipolaire, et les deux dettes ouvertes héritées de AP18.

KS-45 — Fraction cohérente

La réduction $1/(2\pi)$ repose sur l'identification de la fraction cohérente comme le rapport du temps de cohérence de la variété au temps de boucle. Se déclenche s'il est montré que la fraction cohérente diffère structurellement de $1/(2\pi)$, ou si l'argument d'homomorphisme de mesure de AP18 §3.5 Lemme 1 contient une erreur structurelle.

KS-46 — Correction de S^2

Le facteur $C_{S^2} = 2 \ln(\sec(1/2) + \tan(1/2)) \approx 1.0445$ dépend des bornes d'intégration de l'arc cohérent, du profil de tension $T(\theta)/T_{\text{apex}} = 1/\sin\theta$, et de la dérivation par conservation du flux de ce profil. Se déclenche si l'une quelconque de ces entrées est incorrecte, ou si l'hypothèse dipolaire est montrée inapplicable aux échelles galactiques.

KS-47 — Topologie dipolaire

La dérivation dépend de la topologie dipolaire du champ de tension (une source, un puits, reliés par des lignes de champ fermées sur S^2). Soldée dans AP18 via Poincaré-Hopf appliqué à $\{S, B, C\}$.

Se déclenche si une configuration structurelle cohérente avec les axiomes présente un champ de tension aux échelles galactiques avec plus de deux zéros, où les paires qui s'annulent ne peuvent pas être exclues par l'axiome B. Cela exige de multiples ruptures indépendantes au sein d'une même région à l'échelle galactique — contredisant la structure à rupture unique de $\{S, B, R, C\}$.

KS-42 — Équation du champ de tension (dette ouverte)

L'équation complète gouvernant le champ de tension n'a pas été dérivée de $\{S, B, R, C\}$. AP18 dérive l'accélération plancher au point terminal ($a \ll a_0$), mais l'équation gouvernant le champ lui-même n'est pas encore explicite. Le cadre connaît la valeur plancher ; il n'a pas encore l'équation de champ complète.

KS-43 — Fonction d'interpolation (dette ouverte)

La transition entre le comportement newtonien ($a \gg a_0$) et le régime MOND profond ($a \ll a_0$) suit une courbe empirique spécifique — la relation d'accélération radiale de McGaugh. La dérivation de ce chapitre traite le point terminal MOND profond, non la fonction d'interpolation. La forme spécifique de la transition n'a pas été dérivée.

KS-42 et KS-43 sont des lacunes reconnues. Elles n'affectent pas la prédiction de a_0 (l'affirmation spécifique de ce chapitre) mais elles affectent bien la complétude du compte-rendu que fait le cadre de la dynamique galactique.

Comment tu peux le vérifier

La vérification directe prend moins d'une minute. Utilise $c = 2.998 \times 10^8$ m/s, $H_0 = 73.8$ km/s/Mpc. Convertis H_0 en SI : $73.8 \times 1000 / (3.086 \times 10^{22}) = 2.392 \times 10^{-18}$ s⁻¹. Calcule C_{S^2} : $\sec(0.5) = 1.1395$, $\tan(0.5) = 0.5463$, somme = 1.6858, $C_{S^2} = 2 \times \ln(1.6858) = 1.0445$. Puis $cH_0 = 7.173 \times 10^{-10}$ m/s². Divise par 2π : 1.141×10^{-10} . Multiplie par C_{S^2} : 1.192×10^{-10} m/s². Compare à la valeur observée 1.20×10^{-10} . Résidu 0.7 %.

Le code Python est dans l'Annexe B. Cinq lignes. S'exécute instantanément. Si les nombres ne correspondent pas, le chapitre est clos. S'ils correspondent, tu as confirmé l'affirmation centrale en moins d'une minute — et tu disposes d'une prédiction falsifiable ($H_0 = 74.3$) que la prochaine décennie de mesures cosmologiques tranchera.

Ce qui trancherait la question

Trois programmes observationnels, chacun testable avec des installations existantes ou imminentes.

Programme 1 : ré-analyse des courbes de rotation SPARC. Ré-ajuste la base de données SPARC de 175 galaxies en utilisant la valeur dérivée exacte $a_0 = C_S^2 \cdot c H_0 / (2\pi)$ plutôt que le a_0 ajusté empiriquement. Utilise $H_0 = 73.8 \text{ km/s/Mpc}$ et $C_S^2 = 1.0445$. Compare la qualité de l'ajustement à travers l'échantillon de galaxies. Si la valeur dérivée égale ou surpasse la valeur ajustée empiriquement, la dérivation gagne un fort soutien observationnel. Si elle ajuste significativement moins bien, KS-45 se déclenche. Les données existent ; l'analyse est computationnelle. Six à douze mois.

Programme 2 : courbes de rotation à haut redshift avec le JWST. Le cadre prédit $a_0 \propto H(z)$ — l'échelle MOND évolue avec le temps cosmique parce que $H(z)$ évolue. À $z = 1$, $H(z)$ est environ $1.5 \times$ la valeur locale ; la prédiction est $a_0(z=1) \approx 1.8 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$.

Les mesures de courbes de rotation du JWST à $z \in [1, 3]$ peuvent tester cela. Une évolution confirmée dans la direction prédite est un test fort de l'origine structurelle. Aucune évolution, ou une évolution dans la direction opposée, falsifie. Deux à quatre ans.

Programme 3 : campagne de précision sur H_0 . Utilise la formule inverse $H_0 = 2\pi a_0 / (C_S^2 \cdot c)$ avec des mesures de précision de a_0 pour fournir une voie entièrement nouvelle vers H_0 . Coordonne avec SPARC (a_0), SH0ES (H_0 via l'échelle des distances),

CCHP (H_0 via TRGB), et CMB-S4 (H_0 via le CMB). Un accord à quatre voies à 74 km/s/Mpc confirme le cadre et résout la tension de Hubble. Un résultat mitigé cartographie des problèmes structurels spécifiques. Cinq à dix ans pour une résolution définitive.

Proposition de recherche complète dans l'Annexe C. La tension de Hubble sera résolue au cours de la prochaine décennie. Le cadre prend un pari concret — 74.3 km/s/Mpc — et sera confirmé ou falsifié par l'observation, non par l'argument.

Ce que cette Partie a fait

L'échelle d'accélération MOND n'est pas un paramètre. C'est de la géométrie.

Chaque galaxie se trouve à l'intérieur d'une 2-sphère dont le rayon est le rayon de Hubble — la frontière de son univers observable. Les lignes de champ de tension se referment sur cette sphère, dans une topologie dipolaire imposée par Poincaré-Hopf. La plus grande boucle qui se referme a une circonférence $2\pi R_H$.

La fraction cohérente de cette boucle — la portion qui maintient la connexion causale pendant un temps de Hubble — est $1/(2\pi)$. L'accélération au sommet de la boucle la plus large est cH_0 . Multiplie par la fraction

cohérente et la correction exacte de S^2 , et tu obtiens le plancher : $1.192 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$, correspondant à la valeur observée 1.20×10^{-10} à 0.7 % près.

Exécute la formule à l'envers et elle prédit $H_0 = 74.3 \text{ km/s/Mpc}$. Du côté mesure locale de la tension de Hubble. Si la tension se résout vers 74, confirmée. Si elle se résout vers 67, falsifiée.

Cinq Sollbruchstellen sont actives. La fraction cohérente (KS-45), la correction de S^2 (KS-46), la topologie dipolaire (KS-47, soldée via Poincaré-Hopf mais gardée contre des violations à l'échelle cosmologique), et deux dettes ouvertes reconnues : l'équation complète du champ de tension (KS-42) et la fonction d'interpolation (KS-43). Les dettes n'affectent pas la prédiction de a_0 . Elles sont nommées parce que le compte-rendu que fait le cadre de la dynamique galactique n'est pas encore complet au niveau de l'équation de champ.

Si la formule est fausse, les Sollbruchstellen spécifient exactement où elle rompra. Si elle est juste, la matière noire n'est pas nécessaire pour expliquer la rotation galactique. L'échelle MOND est une conséquence géométrique du fait que l'univers observable a une frontière, et la tension de Hubble se résoudra à environ 74 km/s/Mpc .

Tu te tiens sur une planète orbitant une étoile qui est maintenue dans sa galaxie par le plancher de la gravité. L'accélération aux bords externes de la Voie lactée — où le soleil orbite à 220 km/s au mépris de ce que la masse visible seule permettrait — n'est pas étrange.

C'est la géométrie de l'univers observable, lue à l'échelle à laquelle ta propre galaxie tombe sous le plancher. La frontière externe de tout ce que tu pourrais jamais voir est aussi le plafond le plus interne sur la douceur avec laquelle la gravité peut recourber — et ce plafond est la raison pour laquelle les étoiles ne s'envolent pas. En ce moment. Au-dessus de ta tête. À la résolution que l'axiome exige.

Dans la Partie V, le même cadre traite la composition de l'univers lui-même : pourquoi 69 % d'énergie noire, 26 % de matière noire, 5 % de matière ordinaire. Le secteur sombre n'est pas deux substances — c'est un seul processus, se déployant à une échelle de temps cosmique spécifique. Le même système d'axiomes qui produit a_0 aux échelles galactiques produit 69/26/5 aux échelles cosmologiques. Une variété. Toutes les échelles rendues compte.

Partie V - L'Horloge

La partition du secteur sombre, dérivée d'une seule échelle de temps

Prédit : Énergie noire 68.85 % · Matière noire 26.39 % · Visible 4.76 %

Observé (Planck 2018) : 68.89 % · 26.07 % · 4.86 %

Correspondance énergie noire : 0.06 %. Matière noire : 1.2 %. Visible : 2.0 %.

Une seule échelle de temps dérivée : $\tau/t_H = 6/21$. Zéro paramètre libre.

L'univers est 69 % d'énergie invisible qui pousse tout à s'écarter, 26 % de matière invisible qui maintient les galaxies ensemble, et 5 % de tout ce que tu peux voir.

Étoiles, planètes, gens, lumière, atomes, poussière, chaque structure qui a jamais émis ou absorbé un seul photon — tout cela est les 5 %. Le reste est sombre. Non pas sombre au sens de non-vu-parce-que-non-observé. Sombre au sens de véritablement non impliqué avec l'électromagnétisme : il n'émet pas, n'absorbe pas, ne diffuse pas, ne réfléchit pas, et n'interagit avec la lumière d'aucune manière que nous puissions détecter.

Nous savons qu'il existe parce que nous voyons ses effets gravitationnels — les courbes de rotation des galaxies, la déviation de la lumière par les lentilles cosmiques, le regroupement des amas de galaxies, la géométrie du fond diffus cosmologique, la structure filamenteuse à grande échelle tracée par les galaxies elles-mêmes. Toutes ces observations pointent indépendamment vers la même conclusion : 95 % du budget énergétique de l'univers est composé de quelque chose qui ne joue pas au jeu électromagnétique.

Personne ne sait ce qu'est les 68 %. Les physiciens l'appellent énergie noire et décrivent son effet — l'expansion accélérée de l'univers, découverte par Perlmutter, Schmidt et Riess en 1998 et confirmée maintes fois depuis — mais aucun cadre n'a dérivé sa magnitude.

Le candidat standard, la constante cosmologique Λ , est un paramètre libre dans les équations de champ d'Einstein. Sa valeur prédite par la théorie quantique des champs (grosso modo la densité d'énergie du vide de l'espace) dépasse la valeur observée de 120 ordres de grandeur — souvent appelée la pire prédiction de l'histoire de la physique.

Personne ne sait ce qu'est les 27 %. Les physiciens l'appellent matière noire et observent ses empreintes gravitationnelles partout, mais quarante ans de

recherche de particules de matière noire n'ont rien trouvé. Des détecteurs souterrains conçus pour voir des particules massives interagissant faiblement se diffusant sur des noyaux fonctionnent depuis les années 1980.

La dernière génération — LZ, XENONnT, PandaX-4T — a atteint des niveaux d'exposition où, si les modèles WIMP standard étaient corrects, les détections devraient déjà être routinières. Elles ne le sont pas. L'espace de recherche pour les particules de type WIMP est systématiquement exclu.

Le modèle cosmologique standard, Λ CDM, ajuste ces nombres aux données. Il incorpore la matière noire comme environ 27 % et l'énergie noire comme environ 68 %. Le modèle fonctionne — il prédit avec précision le CMB, la formation des structures, et les observations à grande échelle — mais il ne dérive ni les 27 % ni les 68 % à partir de premiers principes. Les deux sont des paramètres libres. Les deux sont mesurés, non prédits.

Ce chapitre dérive les trois fractions à partir de deux entiers et d'une exponentielle.

L'affirmation centrale du chapitre est la plus radicale du livre.

La matière noire n'est pas une substance. La matière noire est un processus.

Les 27 % ne sont pas une chose posée dans l'espace. C'est de l'information structurée qui est entrée dans des trous noirs et qui est actuellement défragmentée — dépouillée de son ordre causal, perdant sa résistance géométrique, retournant vers l'état symétrique 1:1 du substrat. L'énergie noire est la forme achevée du même processus : contenu du substrat qui a fini de défragmenter et qui est de retour dans l'état symétrique 1:1.

La répartition entre elles est déterminée par une seule échelle de temps dérivée :

$$\tau / t_H = 6 / 21$$

Six faces de la rupture ε à effacer (AP24 §2). Vingt et un canaux traitant simultanément (AP28 §5 Prop 2). Le rapport est la fraction du temps de Hubble consommée par la défragmentation : $\tau \approx 3.9$ milliards d'années. Rien d'ajusté. Les deux entiers ont été dérivés dans des travaux antérieurs pour des raisons sans rapport avec le secteur sombre.

Appliqués à travers une décroissance exponentielle standard, les nombres tombent d'eux-mêmes. Énergie noire : 68.85 % (observé 68.89 %, correspondance à 0.06 %). Matière noire : 26.39 % (observé 26.07 %, correspondance à 1.2 %). Matière visible : 4.76 % (observé 4.86 %, correspondance à 2.0 %). Les trois

dans les 2 % de la meilleure mesure cosmologique.
Zéro paramètre libre.

La prédiction de l'énergie noire, avec un accord à 0.06 %, est remarquable. Mais l'affirmation la plus forte de ce chapitre est conceptuelle plutôt que numérique. Le secteur sombre n'est pas un mystère attendant la découverte de nouvelles particules. C'est une lecture d'horloge.

L'univers sait quelle heure il est, et la répartition 69/26/5 est l'heure actuellement affichée sur cette horloge. Le rapport était différent dans le passé. Il sera différent dans le futur. Ce n'est pas une constante de la nature.

Ce chapitre parcourt le mécanisme. Il explique pourquoi la matière noire se regroupe mais pas l'énergie noire. Il explique pourquoi la quasi-égalité 68/27 n'est pas réellement une coïncidence. Il nomme la Sollbruchstelle la plus nette de tout le livre — celle qui se déclenche à l'instant où une expérience quelconque détecte une particule de matière noire. Et il propose les programmes observationnels qui testeront le modèle au cours de la prochaine décennie.

La première chose à comprendre est ce qu'est réellement la défragmentation. Pour cela, nous devons visiter un trou noir.

Le recensement de l'univers

Le recensement cosmologique a été affiné au cours des vingt-cinq dernières années en l'un des résultats les plus précisément mesurés de toute la science. La publication finale des données 2018 du satellite Planck donne la composition comme : 68.89 % d'énergie noire, 26.07 % de matière noire, 4.86 % de matière baryonique ordinaire, avec de petits restes dans le rayonnement et les neutrinos. Incertitudes au niveau du demi-pour-cent. Des mesures indépendantes issues des relevés de galaxies (BOSS, DES, eBOSS) concordent avec Planck dans les barres d'erreur.

Ces nombres déterminent le destin de l'univers. Le rapport de l'énergie noire à la matière (environ 2.6 à présent) contrôle la dynamique de l'expansion.

La matière noire fournit l'échafaudage gravitationnel pour la formation des galaxies — sans elle en cosmologie standard, les galaxies n'auraient pas pu se former dans le temps disponible. L'énergie noire pilote l'accélération — sans elle, l'expansion décélérerait et l'univers finirait par se recontracter. Le rapport entre elles à l'époque présente définit notre ère cosmologique.

Et nous ne savons ce qu'est aucune des deux. Nous connaissons le recensement au quatrième chiffre

significatif. Nous connaissons la physique de chaque composante uniquement à travers sa signature gravitationnelle. L'identité des particules ou des champs produisant ces signatures est inconnue, et l'est demeurée pendant toute l'histoire de la cosmologie moderne.

Deux approches standard

Deux paradigmes ont dominé la recherche de l'identité du secteur sombre.

Matière noire particulaire. L'approche dominante : la matière noire est une espèce de particule, produite dans l'univers primordial, qui n'interagit pas électromagnétiquement mais interagit bien gravitationnellement. Les candidats les plus populaires ont été les particules massives interagissant faiblement (WIMP) — plage de masse 10 GeV à 10 TeV, interagissant via la force faible ou quelque chose de similaire.

Les WIMP ont émergé naturellement des extensions supersymétriques du Modèle standard, et le miracle WIMP — la coïncidence que l'abondance relique thermique des WIMP correspond à l'abondance observée de matière noire — en a fait le candidat dominant des années 1980 aux années 2010. D'autres candidats ont proliféré à mesure que les WIMP tardaient à se manifester : axions, neutrinos stériles,

trous noirs primordiaux, photons noirs, matière noire floue, matière noire auto-interagissante. Chacun a sa propre stratégie de détection et ses propres expériences.

Constante cosmologique. Pour l'énergie noire, l'approche dominante est la constante cosmologique Λ d'Einstein — un terme dans les équations de champ qui produit une densité d'énergie constante indépendamment de l'expansion, avec une équation d'état $w = -1$ exactement. Interprétée comme l'énergie du vide des champs quantiques.

Le problème : la propre prédiction de la théorie quantique des champs de l'énergie du vide dépasse la constante cosmologique observée de 120 ordres de grandeur. Le problème de la constante cosmologique est l'une des énigmes les plus profondes de la physique théorique. Les approches alternatives — quintessence, gravité modifiée, énergie fantôme — ajoutent toutes des paramètres à l'ajustement sans résoudre l'origine sous-jacente.

Aucune approche n'a produit une dérivation ni des 27 % ni des 68 %. Aucune n'a fait de prédiction qui ait été ultérieurement confirmée par une observation indépendante. Les deux sont des cadres pour organiser les données, non pour les expliquer.

Le problème de la coïncidence

Au sein de la cosmologie Λ CDM standard, il y a une énigme supplémentaire. La densité de matière noire se dilue à mesure que l'univers s'étend — chutant comme $(1+z)^3$. La densité d'énergie noire reste constante. Dans le passé lointain, la matière noire dominait. Dans le futur lointain, l'énergie noire dominera de façon écrasante. À l'époque présente, elles sont comparables.

Pourquoi maintenant ? Le moment de quasi-égalité est un point spécifique de l'histoire cosmique, durant grosso modo un temps de Hubble. Avant lui, dominé par la matière. Après lui (bientôt), dominé par l'énergie noire. Le fait que nous nous trouvions à vivre pendant la transition — quand les deux composantes contribuent de manière significative — est inexpliqué en cosmologie standard. Le problème de la coïncidence, qui a troublé les cosmologistes pendant des décennies.

Les résolutions proposées invoquent typiquement le raisonnement anthropique — les observateurs ne peuvent exister que pendant la transition. Non pas faux, mais pas non plus une dérivation. Cela ne dit pas pourquoi la transition se produit à ce point spécifique de la chronologie ni pourquoi le rapport est 2.6 plutôt que 10 ou 0.1.

Ce que signifierait une dérivation

Une dérivation de la partition 69/26/5 à partir du système d'axiomes transformerait cette situation.

Premièrement, elle retirerait la matière noire de la catégorie des espèces de particules inconnues. Si la matière noire est un processus — la défragmentation d'information structurée à l'intérieur des trous noirs — alors ce n'est pas une particule à trouver.

Les résultats nuls continus des expériences de détection directe deviennent non pas les expériences doivent être plus sensibles mais la recherche porte sur quelque chose qui n'existe pas en premier lieu. KS-42.1 se déclenche à l'instant où une expérience quelconque réalise une détection confirmée de particule de matière noire. Chaque résultat nul est une confirmation.

Deuxièmement, elle dissoudrait le problème de la constante cosmologique en identifiant l'énergie noire à quelque chose d'autre que l'énergie du vide. Si l'énergie noire est du substrat défragmenté — de la matière qui a achevé son retour à l'état symétrique 1:1 — alors sa magnitude est fixée par la quantité de contenu du substrat qui a achevé la défragmentation au cours de l'histoire cosmique, non par l'énergie du vide de la QFT.

L'écart de 120 ordres de grandeur devient sans pertinence — les deux sont des grandeurs différentes

aux origines différentes. La pire prédiction de l'histoire de la physique n'est pas fausse ; c'est une prédiction sur quelque chose qui s'avère ne pas être ce qu'est l'énergie noire.

Troisièmement, elle résoudrait le problème de la coïncidence en montrant que le rapport $\dot{E}N/MN$ n'est pas une coïncidence mais une fonction monotone du temps cosmique. Il valait 0.16 au redshift $z = 5$. Il vaut 2.6 maintenant. Il croîtra sans borne à mesure que $t \rightarrow \infty$. Il n'y a aucun moment spécial ; il se trouve simplement que nous observons à un point d'une courbe lisse.

Quatrièmement, elle ferait des prédictions falsifiables spécifiques testables au cours de la prochaine décennie. Les relevés cosmologiques à venir (Euclid lancé en 2023, Rubin LSST à partir de 2025, DESI en fonctionnement depuis 2021, CMB-S4 en préparation) mesureront la composition du secteur sombre à haut redshift avec une précision sans précédent. Le cadre prédit des valeurs spécifiques ($\dot{E}N/MN$ à $z = 2$ devrait être environ 0.48 ; le croisement $\dot{E}N-MN$ à $z \approx 0.7$). Des tests nets. Si le cadre est juste, les dix prochaines années le confirmeront. Si faux, les dix prochaines années le montreront.

Les enjeux sont les plus grands du livre. Confirmé, cela mettrait à la retraite les recherches de matière

noire en tant que programme de physique des particules et résoudrait le problème de la constante cosmologique. Falsifié, cela laisserait le reste du cadre debout (la masse du proton, la gravité, l'échelle MOND, la différence neutron-proton sont toutes indépendantes) mais fermerait une ligne d'explication spécifique.

Ce qu'est la défragmentation

La défragmentation est un processus spécifique défini dans AP09. Un bref résumé.

Le substrat n'est pas vide. Il a une structure, et la structure est portée par le monoïde des enregistrements. L'axiome R établit que les enregistrements s'accumulent irréversiblement : chaque événement de couplage écrit un enregistrement qui ne peut pas être effacé. La structure de monoïde impose la composition : les enregistrements se combinent de manières spécifiques, avec ordonnancement, causalité, et structure relationnelle.

La défragmentation est l'application du foncteur d'oubli $U : \text{Mon} \rightarrow \text{Set}$. Une construction standard en théorie des catégories. Le foncteur d'oubli dépouille la structure de monoïde (la composition) tout en préservant l'ensemble sous-jacent d'éléments. Les

enregistrements survivent en tant qu'ensemble ; leur composition en une toile causale se dissout.

Physiquement : l'ordonnancement causal, les relations entre enregistrements, la structure qui en faisait une histoire cohérente — tout cela se dissout. Les enregistrements eux-mêmes — les grains fondamentaux d'information — survivent. Rien n'est détruit. La structure est démantelée.

Pas une annihilation. L'axiome R interdit la destruction des éléments d'enregistrement. Ce qui se produit au point de boucle à l'intérieur d'un trou noir, quand le monoïde sature et que la structure ne peut plus être étendue davantage, n'est pas une annihilation mais une réinitialisation : l'opération de composition se dissout, les éléments persistent. Le nouveau cycle commence avec le contenu défragmenté complet de tous les cycles antérieurs comme paysage de probabilité pour l'actualisation.

Dérivé dans AP09 et AP04. Le point clé pour ce chapitre : le processus est réel, il prend du temps, et la quantité de temps dépend de la quantité de structure qui doit être dissoute.

Deux populations dans le secteur sombre

À toute époque cosmique, le secteur sombre — les 20 canaux sur 21 de l'arène qui ne sont pas le canal

électromagnétique visible — contient deux populations de contenu du substrat.

Encore en traitement. Des enregistrements qui sont entrés dans des trous noirs assez récemment pour que la défragmentation ne soit pas encore complète. Ceux-ci conservent une structure partielle. Ils portent une masse-énergie résiduelle (la résistance géométrique n'est pas encore entièrement dissoute). Ils se regroupent gravitationnellement parce que la structure résiduelle source une attraction gravitationnelle à travers le Mode 0 (le secteur pair, AP03). Ils ne se couplent pas électromagnétiquement parce que le couplage a été rompu quand le contenu a franchi l'horizon des événements (AP04, AP41). Vu de l'extérieur : matière noire.

Entièrement traité. Des enregistrements qui sont entrés dans des trous noirs il y a assez longtemps pour que la défragmentation soit complète. Ceux-ci sont retournés à l'état symétrique 1:1. Aucune attraction gravitationnelle localisée (le 1:1 est spatialement uniforme). Aucune structure résiduelle à regrouper. Contribuent au fond cosmologique comme une densité d'énergie uniforme. Vu de l'extérieur : énergie noire.

La frontière entre les deux n'est pas nette. La transition est continue — la défragmentation de chaque enregistrement se déroule sur sa propre

échelle de temps, mais le temps caractéristique est τ . Les enregistrements entrés bien plus longtemps auparavant que τ sont pour la plupart complets ; les enregistrements entrés bien plus récemment que τ sont pour la plupart encore en cours.

Pourquoi le contenu traité agit comme une constante cosmologique

Une question cruciale. Pourquoi le contenu entièrement traité se comporte-t-il comme de l'énergie noire — poussant l'expansion à s'écarter — plutôt que comme de la matière additionnelle la ralentissant ?

La réponse : l'état symétrique 1:1 est la configuration de repos du substrat lui-même. Non pas de la matière posée sur le substrat ; le substrat à son équilibre.

Uniformité spatiale. Le 1:1 n'a aucune direction ni localisation préférée. Homogène et isotrope par construction. La première propriété d'une constante cosmologique.

Aucune dilution avec l'expansion. La densité d'énergie associée au 1:1 est une propriété du substrat, non des objets sur le substrat. L'expansion ne la dilue pas — le substrat lui-même est en expansion, et l'état 1:1 est le repos du substrat.

Compare à la matière : la matière, ce sont des objets sur le substrat, l'expansion la dilue comme $(1+z)^3$. Le 1:1 se comporte différemment — sa contribution par unité de volume est fixée par la rigidité du substrat, non par le nombre d'objets dans ce volume.

Pression négative. Le substrat résiste à la déformation. Le paramètre de rigidité λ (de AP15) est énorme — approximativement 10^{46} en unités naturelles. Quand le substrat est étiré (expansion cosmique), il maintient une tension, et du point de vue du fluide cosmologique cette tension se lit comme une pression négative. La pression négative est ce qui pilote l'accélération, non ce qui y résiste : dans l'équation de l'accélération cosmique la source est la densité d'énergie plus trois fois la pression, donc la pression positive de la matière ordinaire ralentit l'expansion, tandis qu'une pression négative suffisamment grande rend cette source négative et la gravité devient répulsive. L'équation d'état $w = -1$ s'ensuit : la pression égale l'opposé de la densité d'énergie, et l'expansion accélère. Exactement l'équation d'état d'une constante cosmologique.

Aucun regroupement. Le 1:1 n'a aucune structure résiduelle pour sourcer une attraction gravitationnelle localisée. Il n'attire pas d'autre matière ; il contribue une densité d'énergie uniforme partout. C'est pourquoi l'énergie noire ne se regroupe pas — comme confirmé par l'observation.

Les quatre propriétés que l'on attend d'une constante cosmologique découlent de l'identification de l'énergie noire à l'état 1:1 du substrat. Non pas postulées — dérivées de la physique du substrat de AP03, AP15, AP20.

L'équation de taux

Soit $\rho_{\text{DM}}(t)$ la densité d'énergie du contenu du substrat encore en défragmentation au temps cosmique t . Soit $\dot{R}(t)$ le taux auquel du nouveau contenu entre dans les trous noirs au temps t .

L'équation gouvernante est une EDO linéaire standard : $d\rho_{\text{DM}}/dt = \dot{R}(t) - \rho_{\text{DM}}/\tau$. Le premier terme est l'afflux ; le second terme est l'efflux. Le temps caractéristique τ fixe le taux d'efflux.

Pour obtenir des prédictions en forme close, prends la première approximation : $\dot{R}(t) = \dot{R}_0$ (constant au cours de l'histoire cosmique).

Ce n'est clairement pas exactement juste. Le taux réel de formation stellaire cosmique (qui suit grosso modo le taux de formation de trous noirs) a culminé au redshift $z \approx 2$ (environ 3.3 Gyr après le Big Bang) et a décliné d'un facteur de plusieurs depuis lors. Un traitement complet exige de convoluer l'histoire d'alimentation réelle avec le noyau de défragmentation. Tâche computationnelle utilisant

des données astrophysiques ; signalée comme Dette D48.

Sous l'approximation de taux d'alimentation constant, la fraction de matière noire du secteur sombre est :

$$f_{DM} = (\tau/t)(1 - e^{(-t/\tau)})$$

La formule centrale du chapitre. À l'époque présente, $t = t_H$ et $\tau = (6/21) \times t_H$, donc $t/\tau = 21/6$.

Pourquoi 6/21

L'affirmation clé : $\tau = (6/21) \times t_H$. Non ajustée. Dérivée.

Étape un : six faces à effacer. AP24 §2 identifie les six lectures scalaires indépendantes de la rupture ε — la masse (m_e), la vitesse de propagation (c), la persistance géométrique (G), le couplage de phase (α), la rigidité du tissu et la direction temporelle. AP28 §5 Prop 1 prouve que la liste est complète. Chaque face est une manière différente de lire la même rupture. Défragmenter pleinement un enregistrement, c'est dissoudre les six structures de face.

Étape deux : vingt et un canaux traitant simultanément. AP28 §5 Prop 2 établit que l'arène possède 21 canaux de couplage indépendants (6 faces $\times$ 3 dimensions spatiales + 3 couplages

d'actualisation). Les canaux sont mutuellement indépendants. L'arène traite à travers les 21 simultanément.

Étape trois : l'unité atomique de la défragmentation est la face, non la projection de face. Une face est une manière de lire ε ; une projection de face est cette lecture exprimée dans une dimension spatiale. Les trois projections d'une seule face ne sont pas des cibles de défragmentation indépendantes — ce sont trois vues de la même lecture structurale. Chaque face est un invariant scalaire (AP24 §2), un nombre, non trois.

Défragmenter la face efface le nombre ; les trois projections disparaissent par voie de conséquence. Quand la face-G est effacée, elle l'est à travers les trois dimensions spatiales simultanément, parce que G est défini comme un scalaire unique, et cette indépendance scalaire est ce qu'établit AP28 §5 Prop 1. La face est l'unité indivisible parce que la rupture a six lectures scalaires, non dix-huit projections.

Étape quatre : chaque effacement de face consomme $1/21$ du budget de traitement total. Les 21 canaux sont indépendants ; chaque effacement de face s'exécute à travers les 21 en parallèle, prenant $1/21$ du temps d'actualisation total disponible. Six faces, chacune prenant $1/21$, donnent un temps de défragmentation total de $6/21$ du temps de Hubble.

$\tau / t_H = 6 / 21 \approx 0.286$, $\tau \approx 3.9$ milliards d'années

Pourquoi le temps de Hubble ? t_H est le budget d'actualisation total du substrat (AP20, AS = variété). Non pas l'âge de l'univers mesuré en battements d'horloge terrestre, mais l'actualisation écoulée totale. La défragmentation est un processus du substrat, mesuré en temps de substrat. L'intérieur et l'extérieur de l'horizon des événements sont le même substrat, mesuré par la même horloge. Le budget de traitement est par conséquent t_H .

C'est l'axiome à l'œuvre. 1:1 + $1 \times \varepsilon$ @ AS à l'échelle cosmique — la rupture s'ouvrant, les enregistrements s'accumulant, les trous noirs saturant, le foncteur oublieux dissolvant la structure de monoïde, le substrat revenant à 1:1. Six faces à effacer. Vingt et un canaux tournant en parallèle. AS tient la rupture et fait tourner le α -flux autour d'elle ; la partition du secteur sombre est ce que le flux lit comme une horloge, à l'échelle de temps du substrat que six-sur-vingt-et-un impose.

Cette dérivation porte la Sollbruchstelle KS-42.3 : si l'unité atomique de la défragmentation n'est pas la face mais la projection de face (donnant $\tau = 18/21 \times t_H$), l'échelle de temps échoue et la prédiction 68/27 se brise. L'affirmation spécifique que la face est l'unité structurelle est centrale à la dérivation et est

signalée comme structurelle. KS-42.6 signale une dette formelle supplémentaire : la dérivation selon laquelle chaque effacement de face consomme exactement $1/21$ du temps d'actualisation disponible est structurellement motivée mais pas entièrement close à partir de $\{S, B, R, C\}$.

Les nombres

À l'époque présente, $t = t_H$, donc $t/\tau = 21/6 = 3.5$.

$$e^{(-3.5)} = 0.030197.$$

$$f_{DM} \text{ (du sombre)} = (6/21) \times (1 - 0.030197) = (6/21) \times 0.969803 = 0.277086.$$

$$f_{DE} \text{ (du sombre)} = 1 - 0.277086 = 0.722914.$$

Appliqué au budget total (secteur sombre = $20/21$, visible = $1/21$) :

$$\textbf{Énergie noire : } 0.722914 \times (20/21) \times 100\% = \textbf{68.85\%}$$

$$\textbf{Matière noire : } 0.277086 \times (20/21) \times 100\% = \textbf{26.39\%}$$

$$\textbf{Visible : } (1/21) \times 100\% = \textbf{4.76\%}$$

Observé (Planck 2018) : DE 68.89%, DM 26.07%, Vis 4.86%.

Accord DE : résidu de 0.06%. Accord DM : résidu de 1.22%. Accord Vis : résidu de 2.02%.

Rapport DE/DM prédit : 2.6090. Rapport DE/DM observé : 2.6425 (Planck 2018). Écart de rapport : 1.27%.

La prédiction de l'énergie noire à 0.06% est le nombre isolé le plus net du chapitre de cosmologie. Le résidu de 1.2% sur la matière noire est cohérent avec l'approximation de taux d'alimentation constant (une histoire d'alimentation réaliste modifierait la DM actuelle de quelques pour cent).

La dépendance à l'époque

La même formule donne la composition prédite du secteur sombre à chaque époque cosmique. En utilisant les relations standard âge-décalage vers le rouge de Λ CDM pour convertir t en z :

$z = 5$ (1.2 Gan) : DE 13.1%, DM 82.1%, Vis 4.8%, DE/DM 0.16. Λ CDM donne DE/DM ≈ 0.07 — différent d'un facteur deux.

$z = 2$ (3.3 Gan) : DE 30.7%, DM 64.5%, Vis 4.8%, DE/DM 0.48. Λ CDM donne 0.22 — de nouveau différent d'un facteur deux.

$z = 1$ (5.9 Gan) : DE 45.9%, DM 49.3%, Vis 4.8%,
DE/DM 0.93.

$z = 0.5$ (8.6 Gan) : DE 56.5%, DM 38.7%, Vis 4.8%,
DE/DM 1.46.

L'époque de croisement ($DE = DM$) se situe à $z \approx 0.7$ dans le modèle de défragmentation, contre $z \approx 0.36$ dans Λ CDM. Ce sont des courbes différentes. Des mesures de précision à $z > 1$ les distinguent. Euclid (publication complète des données 2026), Rubin LSST (opérations 2025), DESI (en cours) et CMB-S4 y contribueront tous. Si la courbe de défragmentation est correcte, le taux de croissance des structures à haut z sera moins supprimé que ne le prédit Λ CDM. Mesure d'ici trois à sept ans.

Trois traits distinguent cette dérivation de la numérologie. Les entiers 6 et 21 ont été dérivés avant d'être confrontés au secteur sombre — 6 dans AP24 comme le décompte des lectures scalaires indépendantes de la rupture, 21 dans AP28 comme le décompte des canaux de l'arène (déjà utilisé dans les Parties I et II).

Ni l'un ni l'autre n'a été choisi en pensant au secteur sombre. Le mécanisme est indépendamment testable — six Sollbruchstellen, chacune ciblant une affirmation structurelle spécifique. Et le modèle prédit une évolution temporelle observable, pas

seulement les valeurs de l'époque présente. Un accord numérologique avec les nombres d'aujourd'hui ne dirait rien sur $z > 0$.

Le modèle de défragmentation prédit des valeurs spécifiques à chaque décalage vers le rouge, et les relevés à venir les mesureront. Soit la courbe prédite s'accorde avec l'observation, soit non. Test décisif d'ici la prochaine décennie.

Si c'est faux

Six Sollbruchstellen. La condition de falsification la plus nette du livre, plus cinq autres.

KS-42.1 — Détection d'une particule de matière noire

Si la matière noire est un processus et non une particule, alors aucune expérience ne devrait jamais détecter une particule de matière noire. Cette Sollbruchstelle se déclenche à l'instant où une quelconque expérience de détection directe réalise une détection confirmée d'une espèce de particule dont la signature gravitationnelle correspond aux halos de matière noire observés, à l'abondance correcte.

Testée en continu par chaque expérience en cours. Chaque résultat nul est une confirmation. La

recherche de particules de matière noire tourne depuis quarante ans. Chaque année de résultats nuls persistants est une preuve en faveur du cadre. Une seule détection confirmée y met fin.

Une détection à faible abondance (nouvelle particule mais pas la matière noire) ne déclenche pas cette Sollbruchstelle. Une détection qui s'avère être du bruit de fond ou une erreur systématique ne la déclenche pas. L'exigence spécifique est une détection confirmée, à l'abondance correcte, d'une espèce de particule dont la signature gravitationnelle correspond aux halos de matière noire observés.

KS-42.2 — Dépendance à l'époque

Se déclenche si des mesures de précision de la fraction de matière noire à $z > 1$ sont incohérentes avec la courbe de défragmentation, au-delà de ce que la correction de taux d'alimentation constant peut accommoder. Spécifiquement : si le rapport DE/DM à $z \approx 2$ est mesuré et diffère de 0.48 de plus de 30%, le mécanisme est en difficulté.

Programmes de test : Euclid, Rubin LSST, DESI, CMB-S4. L'observable clé est le taux de croissance des structures $\sigma_8(z)$ à haut z . Résultats décisifs d'ici cinq à dix ans.

KS-42.3 — La face comme unité atomique

Teste l'affirmation selon laquelle la défragmentation procède face par face (donnant $\tau = 6/21 \times t_H$) plutôt que projection de face par projection de face (ce qui donnerait $\tau = 18/21 \times t_H$ et briserait la prédiction).

Se déclenche si une dérivation formelle de la dynamique de défragmentation à partir de AP09 et AP41 contredit le modèle de dissolution face par face — par exemple, en montrant que l'opération atomique du foncteur oublieux dissout les projections de face indépendamment, ou qu'elle dissout toutes les faces simultanément (donnant $\tau = 1/21 \times t_H$).
Tâche théorique. L'argument actuel repose sur l'établissement par AP24 des six faces comme les lectures indépendantes fondamentales de ε .

KS-42.4 — Équation d'état

Le cadre prédit que l'énergie noire a $w = -1$ exactement, parce que l'état pleinement défragmenté est le substrat au repos.

Se déclenche si la mesure de précision de l'équation d'état de l'énergie noire donne une valeur significativement différente de -1 . Les contraintes actuelles issues de jeux de données combinés donnent $w = -1.03 \pm 0.03$ — cohérent avec $w = -1$ mais pas de façon définitive. La campagne en cours de DESI devrait atteindre une incertitude sur w d'environ 0.01 d'ici quelques années. Tout écart

mesuré significatif déclenche cette Sollbruchstelle et force le cadre soit à dériver une modification de w , soit à être falsifié.

KS-42.5 — Taux d'alimentation constant

Teste l'approximation $\dot{R}(t) = \text{constante}$ utilisée pour dériver la prédiction en forme close.

Se déclenche si la convolution exacte utilisant l'histoire observée de la formation stellaire cosmique et l'évolution de la fonction de masse des trous noirs produit un rapport DE/DM à l'époque présente significativement différent de 2.609, au-delà de l'incertitude observationnelle. Ceci ne tue pas le mécanisme de défragmentation — seulement l'approximation simple de taux constant. Une convolution complète avec une histoire d'alimentation réaliste devrait produire des prédictions à 1% de l'observation, peut-être plus serrées que le résidu actuel de 1.2% sur la matière noire.

KS-42.6 — Dérivation du rapport d'échelle de temps

Teste la dérivation formelle de la raison pour laquelle l'échelle de temps de défragmentation τ vaut spécifiquement (nombre de faces / nombre de canaux) $\times t_H$, plutôt qu'une autre combinaison structurelle des entiers dérivés.

L'argument structurel du chapitre est que chaque effacement de face consomme $1/21$ du budget de traitement total parce que les 21 canaux tournent en parallèle, et six faces tournant séquentiellement prennent donc $6/21$ du temps de Hubble. Ceci est structurellement motivé mais n'est pas une dérivation formelle entièrement close.

L'affirmation spécifique que chaque effacement de face consomme exactement $1/21$ du temps d'actualisation disponible — plutôt qu'une autre fraction déterminée par la topologie des canaux — est affirmée plutôt que prouvée à partir de $\{S, B, R, C\}$. L'accord numérique est frappant (0.06% sur l'énergie noire) mais la dérivation qui porte cet accord est la plus mince du livre.

Se déclenche si une dérivation formelle de la dynamique de défragmentation à partir de $\{S, B, R, C\}$ plus AP09 et AP41 produit une échelle de temps différente — par exemple $\tau/t_H = 6/(21 \times \pi)$, $\tau/t_H = 6^2/21^2$, ou toute variante structurelle en désaccord avec $6/21$ au niveau de la précision actuelle.

Inversement, une preuve rigoureuse que $\tau/t_H = 6/21$ découle uniquement du système d'axiomes retirerait la dette et promouvrait la prédiction de structurellement motivée à structurellement imposée.

Comment tu peux le vérifier

La vérification directe prend moins d'une minute.
 Calcule $\tau/t_H = 6/21 = 0.285714$. Puis $t_H/\tau = 21/6 = 3.5$. Puis $e^{(-3.5)} = 0.030197$. La fraction de matière noire du secteur sombre est $(6/21)(1 - 0.030197) = 0.277086$. La fraction d'énergie noire du total est $(1 - 0.277086) \times (20/21) = 0.6885 = 68.85\%$. La fraction de matière noire du total est $0.277086 \times (20/21) = 0.2639 = 26.39\%$. Le visible est $1/21 = 4.76\%$.

Compare à Planck 2018 : 68.89%, 26.07%, 4.86%. Les trois à 2% près. La prédiction de l'énergie noire s'accorde à 0.06%.

Le code Python est dans l'Annexe B. Sept lignes. S'exécute en une fraction de seconde. Si les nombres ne s'accordent pas, le chapitre est clos. S'ils s'accordent, tu as confirmé l'affirmation centrale en moins d'une minute — et tu disposes de cinq prédictions falsifiables que la cosmologie observationnelle testera au cours de la prochaine décennie.

Ce qui trancherait la question

Trois programmes observationnels, chacun testable avec des instruments existants ou imminents.

Programme 1 : détection directe continue de la matière noire. Chaque résultat nul est une

confirmation. Chaque année sans détection resserre l'espace de l'interprétation particulière. Une détection confirmée met fin au modèle. Les détecteurs souterrains — LZ, XENONnT, PandaX-4T — opèrent déjà à des niveaux d'exposition où les détections du modèle WIMP devraient être routinières. Elles ne le sont pas. Si cela continue, la preuve en faveur de l'interprétation par la défragmentation se renforce.

Programme 2 : mesure de précision de la composition du secteur sombre à $z > 1$. Euclid, Rubin LSST, DESI, CMB-S4. L'observable clé est le taux de croissance des structures $\sigma_8(z)$. Si la courbe de défragmentation est correcte, $\sigma_8(z)$ à haut décalage vers le rouge sera relevé par rapport aux prédictions de Λ CDM. Si Λ CDM est correct, aucun tel rehaussement n'apparaîtra. Résultats d'ici trois à sept ans.

Programme 3 : mesure de précision de l'équation d'état de l'énergie noire. Les contraintes actuelles donnent $w = -1.03 \pm 0.03$. DESI devrait atteindre une incertitude d'environ 0.01 d'ici quelques années. Le cadre prédit $w = -1$ exactement. Tout écart significatif déclenche KS-42.4 et force soit une dérivation modifiée, soit la falsification.

Proposition de recherche complète dans l'Annexe C. La prochaine décennie de mesures cosmologiques confirmera ou clora le modèle.

Ce que cette Partie a accompli

La matière noire n'est pas une substance. La matière noire est un processus.

Les 27% de l'univers qui n'émettent ni n'absorbent la lumière ne sont pas une espèce de particule que nous aurions échoué à détecter. C'est du contenu de substrat en transit — des enregistrements qui sont entrés dans les trous noirs et sont en cours de défragmentation, perdant leur structure causale, revenant vers l'état symétrique 1:1.

Le regroupement est réel ; la structure résiduelle est réelle ; la signature gravitationnelle est réelle. Mais il n'y a aucune particule à trouver, parce que le contenu n'est pas une espèce de particule. C'est un processus.

L'énergie noire n'est pas de l'énergie du vide. C'est de la défragmentation achevée — du contenu de substrat qui a terminé le retour à 1:1 et est maintenant le substrat lui-même à son équilibre. Spatialement uniforme. Non diluée par l'expansion. Pression négative. Équation d'état $w = -1$. Toute propriété qu'une constante cosmologique est censée avoir, dérivée de la physique du substrat.

La séparation entre les deux populations est fixée par une seule échelle de temps dérivée : $\tau/t_H = 6/21$. Six lectures indépendantes de la rupture à effacer. Vingt

et un canaux tournant en parallèle. Le temps de défragmentation vaut six-sur-vingt-et-un du temps de Hubble.

Appliqués par décroissance exponentielle, les nombres de l'époque présente en découlent : énergie noire 68.85% (observé 68.89%, accord à 0.06%), matière noire 26.39% (observé 26.07%, accord à 1.2%), visible 4.76% (observé 4.86%, accord à 2.0%). Zéro paramètre libre.

Six Sollbruchstellen sont actives. La plus nette du livre : toute détection confirmée d'une particule de matière noire met fin au modèle. Les cinq autres testent la dépendance à l'époque, l'affirmation de la face-comme-unité-atomique, la prédiction $w = -1$, l'approximation de taux d'alimentation constant, et la dérivation formelle de l'échelle de temps 6/21 elle-même. Une dette formelle (KS-42.6) est nommée parce que la dérivation close du rapport spécifique 6/21 à partir de $\{S, B, R, C\}$ reste ouverte au niveau AP.

Si la formule est fausse, les Sollbruchstellen spécifient exactement où elle se brisera. Si elle est juste, le secteur sombre n'est pas un zoo de particules inconnues ni une erreur de calcul du vide quantique. C'est un processus unique, se déployant à travers le temps cosmique à une échelle de temps que les axiomes eux-mêmes spécifient.

Ce chapitre clôt les cinq prédictions. Chacune est dérivée du même système d'axiomes. Chacune utilise les mêmes entiers structurels — 6, 21, α . Chacune est testée par des programmes observationnels indépendants.

La masse du proton, la constante gravitationnelle, la différence neutron-proton, l'accélération MOND, la partition du secteur sombre — cinq nombres, un cadre, zéro paramètre libre. Le bâtiment a des pièces à chaque échelle, et nous avons maintenant compté celles que nous étions venus compter.

Tu es les 4.76%. Chaque atome de toi est de l'histoire-enregistrement que le substrat a écrite et écrit encore — de l'information structurée qui n'a encore franchi aucun horizon. Autour de toi, remplissant le reste de l'univers observable, se trouve le même substrat faisant tourner son horloge. Quelque part dans chaque galaxie, de la matière franchit l'entrée des trous noirs en ce moment même, et à l'intérieur de ces horizons le foncteur oublieux dissout la structure de monoïde de l'histoire-enregistrement.

Quelque part plus loin en arrière, d'autre contenu a fini de se dissoudre et est revenu au repos 1:1 du substrat. Tu es un enregistrement en cours d'écriture, à l'intérieur d'un univers dont le secteur sombre est constitué d'enregistrements sur le chemin

du retour. Le même $1:1 + 1 \times \varepsilon$ @ AS qui a produit ton poids dans la Partie I fait tourner sa boucle close autour de toi à chaque échelle.

L'univers sait quelle heure il est.

Sur la coïncidence

Le test à trois critères pour distinguer la dérivation de la numérologie, appliqué à travers les cinq prédictions

Un physicien lisant ce livre pour la première fois va, à un moment donné, s'arrêter et poser la question suivante.

Comment sais-je que ce n'est pas juste de la numérologie ?

La question est la bonne question. C'est aussi la question que la physique pose aux coïncidences sans dimension depuis plus d'un siècle. Sir Arthur Eddington a bâti son programme des nombres cosmiques des années 1920 sur des combinaisons de α , π et de petits entiers qui s'accordaient avec des rapports observés à plusieurs décimales près.

La plupart de ces combinaisons ont depuis été écartées. Des motifs similaires sont apparus tout au long de la littérature : la formule de structure fine de l'hydrogène, la relation de masse de Koide pour les leptons chargés, diverses lois d'échelle reliant des quantités cosmologiques et microscopiques. Certaines sont de vrais traits structurels. Certaines sont de jolis motifs sans pouvoir explicatif. La question est toujours : lequel est lequel ?

Il existe un test à trois critères qui distingue la dérivation de la numérologie. Chaque critère a été appliqué dans chaque chapitre de ce livre, à sa propre prédiction. Cette section applique les trois critères aux cinq prédictions à la fois, afin que le lecteur puisse voir le test complet assemblé en un seul endroit.

Les trois critères

Un accord numérique est une dérivation, non une coïncidence numérologique, si et seulement si les trois conditions suivantes sont vraies.

Critère 1 : les entiers et les primitives structurelles utilisés dans la formule sont dérivés d'une source indépendante de la cible numérique. Le décompte des entiers est en main avant que l'accord ne soit vérifié. Si l'entier a été choisi parce qu'il faisait fonctionner l'accord, la dérivation est de la numérologie. Si

l'entier a été dérivé pour des raisons sans rapport avec la cible et s'est ensuite trouvé faire fonctionner l'accord, la dérivation est réelle.

Critère 2 : la formule a des conditions de falsification explicites. Il doit exister des conditions spécifiques, publiées, testables sous lesquelles la formule serait retirée. Un accord numérologique ne peut pas être faux — il peut seulement être ignoré. Une dérivation peut être fausse, et les conditions sous lesquelles elle serait fausse sont nommées à l'avance.

Critère 3 : la formule prédit une structure au-delà du nombre central. Un accord numérologique prédit un nombre. Une dérivation prédit une structure supplémentaire — des corrélations avec d'autres quantités, une évolution temporelle prédite, une décomposition prédite en composantes identifiables, un signe prédit. Si la formule ne prédit que le seul nombre contre lequel elle a été testée, c'est de la numérologie. Si elle prédit plus que ce nombre, et que les prédictions supplémentaires sont elles-mêmes testables, la formule fait plus que s'accorder.

Les trois sont nécessaires. N'importe lequel peut être satisfait par la numérologie ; seuls les trois ensemble distinguent la dérivation de la coïncidence.

Partie I — Le rapport de masse proton-électron

Prédiction : $m_p/m_e = 1836.152673444$, s'accordant avec la mesure (1836.152673426) à 0.010 parties par milliard.

Critère 1. Les entiers utilisés dans la formule — 21, 3, 4 — sont tous dérivés du système d'axiomes. 21 est le décompte des canaux ($6 \times 3 + 3$), établi dans AP28 pour des raisons concernant les voies de couplage structurel de la rupture. 3 est la dimensionnalité spatiale, dérivée dans AP10. 4 est le décompte des conditions de l'axiome, dérivé dans AP20 comme la complétude de S, B, R, C.

Aucun de ceux-ci n'a été choisi pour faire sortir 1836 correctement. Chacun était en main avant que la prédiction de la masse du proton ne soit tentée. Les mêmes entiers apparaissent dans d'autres prédictions (le 21 dans les Parties II et V ; le 3 dans la Partie III), utilisés à des fins différentes dans des formules différentes. S'ils avaient été choisis pour le proton, ils ne devraient pas fonctionner pour les autres prédictions — mais ils le font.

Critère 2. Quatre Sollbruchstellen sont actives. KS-30.1 (additivité) se déclenche si les trois couches de la décomposition de la masse ne peuvent pas être traitées comme des contributions indépendantes. KS-30.2 (isotropie de la fuite) se déclenche si le facteur $1/(84\pi)$ est incorrect. KS-30.3 (comportement d'ordre supérieur) se déclenche si la correction $O(\alpha^2)$

ne raffine pas réellement le résidu de premier ordre de 5.3 ppb jusqu'à 0.010 ppb. KS-30.4 (unicité) se déclenche si une formule tout aussi simple avec une interprétation structurelle différente s'accorde avec 1836 à une précision comparable.

Critère 3. La formule prédit une structure supplémentaire. Elle prédit une hiérarchie spécifique de résidus premier-ordre-vers-second-ordre (5.3 ppb réduit à 0.010 ppb par le terme 16/1836), ce qui est une affirmation structurelle à deux paramètres plutôt qu'un accord à un nombre.

Elle prédit des contributions entières spécifiques de chaque couche (1764 de la Couche 1, 63 de la Couche 2, 9 de la Couche 3), dont chacune peut être testée contre la décomposition en QCD sur réseau de la masse du proton en différentes contributions physiques. Elle prédit les mêmes entiers apparaissant dans la Partie II et la Partie V — une contrainte de prédiction croisée qu'un accord numérolgique pour 1836 seul ne pourrait pas satisfaire.

Les trois critères satisfaits.

Partie II — La constante gravitationnelle

Prédiction : $G = 6.7206 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$, s'accordant avec la mesure (6.6743×10^{-11}) à 0.69%.

Critère 1. Les entiers utilisés dans la formule — 21 et (issu de π) le facteur de perforation $1/\pi$ — sont dérivés indépendamment. Le 21 est le décompte des canaux établi dans la Partie I. Le $1/\pi$ provient de la géométrie de perforation topologique de l'électron, dérivée dans AP04 et AP05 pour des raisons concernant la singularité structurelle de l'élément non apparié dans $1:1 + 1 \times \varepsilon @ \text{AS}$.

Ni l'un ni l'autre n'a été choisi avec G comme cible. La vingt et unième puissance α^{21} est imposée par l'affirmation structurelle selon laquelle la gravité se couple à travers les 21 canaux simultanément, non par quoi que ce soit concernant la valeur numérique de G.

Critère 2. Sept Sollbruchstellen sont actives. KS-R.7 se déclenche si la prédiction manque de plus de 1% et que la correction de fuite ne peut pas rendre compte du résidu. KS-R.8a jusqu'à KS-R.8d gardent le décompte des canaux (complétude des faces, portée d'actualisation, indépendance, uniformité). KS-R.9 garde le facteur de perforation $1/\pi$ (avec une sous-dette nommée). KS-R.10 garde l'interprétation d'unification mais est numériquement isolée par pare-

feu — la prédiction de G tient ou tombe sur les six premières seules.

Critère 3. La formule prédit le motif de dispersion expérimentale parmi les mesures de G . Différents appareillages devraient produire différentes valeurs de G corrélées avec leur géométrie de frontière, parce que chaque appareillage est une frontière fuyante avec une signature de fuite spécifique à l'appareillage (AP06).

C'est une prédiction sur le motif des imperfections de la mesure, pas seulement sur la valeur centrale — une affirmation structurelle qu'un accord numérologique ne peut pas faire. Elle prédit aussi le signe de l'écart entre $G_{\text{prédit}}$ et $G_{\text{mesuré}}$, qui s'accorde avec l'observation ($G_{\text{prédit}} > G_{\text{mesuré}}$, cohérent avec un biais systématique vers le bas dû à la fuite de l'appareillage). Un test que le cadre aurait pu échouer, et n'a pas échoué.

Les trois critères satisfaits.

Partie III — La différence de masse neutron-proton

Prédiction : $(m_n - m_p)/m_e = 2.5309939$, s'accordant avec la mesure (2.5309883) à 2.2 parties par million.

Critère 1. Les entiers et les primitives géométriques utilisés — 3, et la courbure en boucle close $1/(2\pi)$ — sont dérivés ailleurs. Le 3 est le décompte des faces de couleur dérivé des trois dimensions spatiales de l'arène (AP10, AP19). Le $1/(2\pi)$ est le poids géométrique standard de boucle close qui apparaît partout en physique (boucles de Wilson, intégrales de chemin sur des variétés compactes, phases géométriques). Ni l'un ni l'autre n'a été choisi pour s'accorder avec 2.53. Les deux étaient en main avant que la dérivation neutron-proton ne soit tentée.

Critère 2. Sept Sollbruchstellen sont actives. Quatre héritées de la Partie I (additivité, géométrie de la fuite, comportement d'ordre supérieur, unicité) plus trois spécifiques au cas neutron-proton (KS-NPP.1 sur la décomposition à deux composantes, KS-NPP.2 sur le signe de la différence de masse avec la Dette D20 nommée ouvertement, KS-NPP.3 sur la cohérence de la QCD sur réseau). Les Sollbruchstellen héritées testent les mêmes affirmations structurelles que la Partie I a déjà franchies ; les nouvelles testent des affirmations spécifiques à cette prédiction.

Critère 3. La formule prédit la décomposition à deux composantes du calcul de QCD sur réseau. Le terme statique $3 \times (1 - 1/(2\pi)) \approx 2.5225$ correspond à la contribution QCD du réseau ; le terme dynamique $\alpha \times (1 + 1/(2\pi)) \approx 0.00846$ correspond à la contribution QED du réseau.

Le rapport entre eux (298) est une prédiction testable au niveau de la structure, pas seulement des totaux. Un accord numérologique pour le seul nombre 2.53 ne pourrait pas prédire cette décomposition. Le cadre le fait. Les calculs de QCD sur réseau de précision de nouvelle génération à une incertitude sous les 0.1% confirmeront ou falsifieront cette décomposition.

Les trois critères satisfaits.

Partie IV — L'échelle d'accélération MOND

Prédiction : $a_0 = 1.192 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$, s'accordant avec la mesure (1.20×10^{-10}) à 0.7%. Et la prédiction inversée $H_0 = 74.3 \text{ km/s/Mpc}$ pour la constante de Hubble.

Critère 1. Les primitives géométriques utilisées — la circonférence 2π d'une boucle close, le facteur de fraction cohérente $1/(2\pi)$, la correction $S^2 C_{-} S^2 = 2 \ln(\sec(\frac{1}{2}) + \tan(\frac{1}{2})) \approx 1.0445$ — sont toutes dérivées de traits structurels de la 2-sphère qu'est la sphère de Hubble. La topologie dipolaire est imposée par Poincaré-Hopf sur S^2 avec $\chi(S^2) = 2$ et deux zéros d'indice +1 (une source, un puits issus des Axiomes B et S).

La fraction cohérente est le rapport du temps de cohérence de la variété au temps de boucle, tous deux dérivés de la vitesse de propagation de l'Axiome C. Le facteur C_{S^2} est l'intégrale exacte du profil de tension de conservation du flux sur S^2 . Aucun de ceux-ci n'a été choisi pour s'accorder avec a_0 . Chacun a été dérivé des propriétés structurelles de l'arène.

Critère 2. Cinq Sollbruchstellen sont actives. KS-45 garde la dérivation de la fraction cohérente. KS-46 garde la correction S^2 . KS-47 garde la topologie dipolaire (close via Poincaré-Hopf mais gardée contre les violations à l'échelle cosmologique). KS-42 et KS-43 sont des dettes ouvertes reconnues (l'équation complète du champ de tension, la fonction d'interpolation), nommées dans le chapitre mais n'affectant pas la prédiction de a_0 elle-même.

Critère 3. La formule prédit une structure au-delà de a_0 . Premièrement, elle prédit une valeur spécifique pour la constante de Hubble $H_0 = 74.3 \text{ km/s/Mpc}$, dérivée en inversant la formule de a_0 . Celle-ci se situe du côté de la mesure locale de la tension de Hubble et sera résolue par l'observation au cours de la prochaine décennie — une prédiction croisée falsifiable. Deuxièmement, elle prédit l'évolution de a_0 avec le décalage vers le rouge : $a_0 \propto H(z)$, donc $a_0(z=1) \approx 1.8 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$.

Les courbes de rotation du JWST à haut z testeront cela. Troisièmement, elle prédit que la relation d'accélération radiale SPARC devrait s'ajuster en utilisant le a_0 exact dérivé plutôt que la valeur ajustée empiriquement, à une qualité comparable ou meilleure. Trois prédictions supplémentaires au-delà de a_0 . Un accord numérologique pour a_0 seul ne pourrait en faire aucune.

Les trois critères satisfaits.

Partie V — La partition du secteur sombre

Prédiction : Énergie noire 68.85%, Matière noire 26.39%, Visible 4.76%, s'accordant avec Planck 2018 (68.89%, 26.07%, 4.86%) à 0.06%, 1.2% et 2.0% respectivement.

Critère 1. Les entiers utilisés — 6 et 21 — sont les mêmes entiers qui apparaissent ailleurs dans le livre. 6 est le décompte des faces de la rupture (AP24, AP28), établi pour des raisons concernant la structure d'invariant scalaire de ε . 21 est le décompte des canaux (AP28), établi pour les voies de couplage de l'arène.

Ni l'un ni l'autre n'a été choisi en pensant au secteur sombre. Le 6 est le décompte des effacements de face requis pour une défragmentation complète — dérivé de l'énumération par AP24 des six lectures

indépendantes de la rupture. Le 21 est le décompte des canaux parallèles à travers lesquels la défragmentation procède. Les deux étaient en main des années avant que la prédiction du secteur sombre ne soit tentée.

Critère 2. Six Sollbruchstellen sont actives. KS-42.1 est la condition de falsification la plus nette du livre : toute détection confirmée d'une particule de matière noire met fin à la prédiction. KS-42.2 garde la dépendance à l'époque prédite. KS-42.3 garde l'affirmation de la face-comme-unité-atomique (si l'unité atomique est la projection de face, $\tau = 18/21$ et la prédiction se brise).

KS-42.4 garde l'équation d'état $w = -1$. KS-42.5 garde l'approximation de taux d'alimentation constant. KS-42.6 est une dette formelle — la dérivation selon laquelle τ/t_H vaut spécifiquement $6/21$ plutôt qu'une autre combinaison structurelle des deux entiers est reconnue comme structurellement motivée plutôt qu'entièrement close.

Critère 3. La formule prédit une évolution temporelle spécifique de la composition du secteur sombre. À $z = 5$: DE 13%, DM 82%, rapport DE/DM 0.16. À $z = 2$: DE 31%, DM 64%, rapport 0.48. À $z = 1$: DE 46%, DM 49%, rapport 0.93. Λ CDM prédit des valeurs différentes à chaque décalage vers le rouge (par des facteurs de deux à haut z).

Les relevés à venir — Euclid, Rubin LSST, DESI, CMB-S4 — les mesureront au cours de la prochaine décennie. Un accord numérique avec les valeurs de l'époque présente ne pourrait faire aucune prédiction à $z > 0$. Le modèle de défragmentation prédit la courbe entière. Soit la courbe prédite s'accorde avec l'observation, soit non. Décisif.

Les trois critères satisfaits.

À travers les cinq prédictions — un critère de plus

Une quatrième considération s'applique aux cinq prédictions prises ensemble plutôt qu'individuellement.

Les mêmes entiers apparaissent dans plusieurs prédictions, utilisés dans des combinaisons différentes. Le 21 est le décompte des canaux pour la structure de masse du proton (Partie I), l'exposant dans le couplage gravitationnel (Partie II), et le total des canaux dans le dénominateur du secteur sombre (Partie V).

Le 3 est le décompte des faces de couleur pour le proton (Partie I) et le récepteur de l'échange de saveur pour le neutron (Partie III). Le 6 est le décompte des faces de la rupture et le décompte des

cibles de défragmentation (tous deux dans la Partie V, référencés à AP24).

Un accord numérologique sur une prédiction requiert un entier spécifique. Un accord numérologique sur cinq prédictions, utilisant le même petit ensemble d'entiers dans des combinaisons différentes, requiert que le même petit ensemble d'entiers se trouve fonctionner pour cinq quantités mesurées indépendamment. C'est une contrainte bien plus forte que n'importe quel accord isolé.

Les entiers ne sont pas ajustés indépendamment pour chaque prédiction ; ils sont utilisés à partir de la même liste. Si 21 est faux, la Partie I, la Partie II et la Partie V se brisent toutes simultanément. Si 3 est faux, la Partie I et la Partie III se brisent simultanément. Il n'y a aucun moyen de réajuster.

Le Modèle Standard plus Λ CDM utilise approximativement vingt-cinq à trente paramètres ajustables indépendamment pour s'accorder avec environ cinquante observables. Le cadre de ce livre utilise une entrée mesurée pour s'accorder avec cinq. Les rapports d'efficacité sont d'un observable par demi-paramètre pour le Modèle Standard, contre cinq observables par paramètre pour ce cadre — une amélioration d'un ordre de grandeur.

N'importe quel accord numérique isolé pourrait être une coïncidence. Cinq accords, à partir d'une entrée mesurée, utilisant un petit ensemble partagé d'entiers, avec chaque prédiction portant des Sollbruchstellen spécifiques et chacune faisant des prédictions croisées structurelles au-delà de son nombre central, n'est pas une preuve statistique d'exactitude — mais c'est une situation épistémique substantiellement différente de n'importe lequel des accords isolés considérés seuls.

La contrainte collective est le trait le plus fort du cadre. Les accords isolés peuvent chacun être contestés ; le motif conjoint est plus difficile à expliquer par la coïncidence.

Ce qui compterait comme une démonstration de numérologie

Par souci de complétude, le test inverse. Qu'est-ce qui démontrerait que le cadre est de la numérologie plutôt que de la dérivation ?

Une Sollbruchstelle se déclenche. N'importe laquelle. Le cadre ne survit pas au déclenchement d'une quelconque Sollbruchstelle — la prédiction concernée est retirée, et les affirmations structurelles qui l'ont produite sont réexaminées. Plusieurs Sollbruchstellen se déclenchant ensemble démontreraient que les

entiers sont forcés à travers une arithmétique de coïncidence plutôt que dérivés au niveau de l'axiome.

Une formule plus simple est exhibée, qui s'accorde avec l'une des cinq prédictions à une précision comparable en utilisant des primitives structurelles différentes. C'est KS-30.4, KS-R.8a, et des Sollbruchstellen d'unicité similaires. Si $\alpha^{21} \times (1 + 1/\pi) \times \hbar c / m_e^2$ n'est pas la seule formule d'apparence naturelle qui donne G à 0.7% — si, disons, $\alpha^{23} \times \hbar c / m_p^2$ donne aussi G à 1% — alors la dérivation est sous-déterminée et l'affirmation que le cadre impose la formule spécifique est affaiblie.

Les prédictions croisées entre chapitres échouent. Les 21 canaux de la Partie I s'avèrent ne pas correspondre aux 21 canaux de la Partie II. Les 3 faces de couleur de la Partie I s'avèrent ne pas être les mêmes 3 qui enregistrent l'échange de saveur neutron-proton.

Les mêmes entiers apparaissant dans plusieurs chapitres se révèlent être coïncidemment les mêmes plutôt que structurellement les mêmes. Ceci est plus difficile à tester directement mais est exactement ce que les articles AP de niveau axiomatique (AP10, AP20, AP24, AP28) affirment : que les entiers proviennent de la même source structurelle dans chaque usage. Une contre-démonstration identifierait

un usage où les entiers sont utilisés de manière incohérente.

Chacun de ces modes de défaillance correspond à une Sollbruchstelle spécifique. Le cadre ne se cache pas de sa propre falsifiabilité. Les conditions sont publiées. Les tests sont en cours.

Le test à trois critères distingue la dérivation de la numérologie. Chacune des cinq prédictions de ce livre passe les trois critères. La quatrième considération — que les mêmes entiers sont utilisés à travers plusieurs prédictions sans ajustement — contraint davantage le cadre, le rendant plus difficile à défendre par sauvetage.

Le test n'est pas de savoir si les affirmations du livre sont vraies. Le test est de savoir si elles sont falsifiables de manières spécifiques et testables. Elles le sont. Le programme de falsification est publié. Le travail observationnel et théorique qui le résoudra est déjà en cours. Au cours de la prochaine décennie, la réponse viendra. D'ici là, le cadre survit aux tests ou non — et ce sont les Sollbruchstellen, non l'auteur, qui décident.

La boucle close en cinq nombres

Un épilogue — ce que les cinq prédictions disent ensemble

Les cinq nombres sont vérifiés.

Le rapport de masse proton-électron. La constante gravitationnelle. La différence de masse neutron-proton. L'accélération MOND. La partition du secteur sombre.

Cinq prédictions quantitatives à partir d'un axiome, d'une entrée mesurée, et du même petit ensemble d'entiers structurels : 3, 4, 6, 21. Chacune confrontée à une mesure indépendante. Chacune dans sa tolérance déclarée. Chacune publiée avec les Sollbruchstellen spécifiques qui la détruiraient.

Cette section de clôture pose une question différente. Lues ensemble, que disent les cinq prédictions au sujet de la structure que l'axiome engendre ?

La mécanique quantique et la relativité générale, à partir d'un axiome

Depuis cent ans, la physique dispose de deux théories qui fonctionnent et ne s'accordent pas l'une avec l'autre.

La mécanique quantique gouverne le petit — les choses qui n'ont pas de position définie jusqu'à ce qu'elles soient couplées. Superposition. Intrication. Résultats probabilistes. La fonction d'onde évoluant en douceur entre les mesures, puis s'effondrant lors d'un événement de mesure. La structure mathématique, ce sont les espaces de Hilbert, les opérateurs unitaires, les amplitudes complexes.

La relativité générale gouverne le grand — les choses qui sont là où elles sont. La masse courbe l'espace-temps. L'espace-temps dit à la masse comment se mouvoir. La gravitation émerge de la géométrie. La structure mathématique, ce sont les variétés, les tenseurs métriques, les équations de champ d'Einstein.

Chaque tentative d'unifier les deux — gravité quantique, théorie des cordes, gravité quantique à boucles, triangulations dynamiques causales, gravité émergente — a soit produit des infinis qui ne peuvent pas être renormalisés, soit exigé des dimensions supplémentaires, soit reformulé la gravité au prix de briser d'autres physiques connues. Cent ans de tentatives d'unification. Aucun résultat accepté.

Le système d'axiomes de ce livre produit une lecture différente.

La mécanique quantique décrit le côté onde — l'espace de possibilités que la rupture ouvre, l'intérieur, tout ce que le substrat pourrait actualiser relativement à l'histoire-enregistrement. La relativité générale décrit le côté particule — les enregistrements que le substrat a écrits, l'extérieur, ce que nous pouvons toucher et mesurer. La fenêtre — la surface de mesure, l'événement de couplage — est là où l'onde devient la particule.

Les deux théories n'ont jamais été deux théories. Elles sont les deux faces d'un processus unique. La possibilité s'actualisant en enregistrement, une fenêtre à la fois.

C'est l'affirmation structurelle de la Partie II, lue à la plus grande échelle. La gravité est le couplage qui maintient l'arène entière — les 21 canaux ouverts simultanément. L'électromagnétisme est le même couplage effondrant un canal en un enregistrement. La gravité est la superposition quantique vue de l'extérieur. L'électromagnétisme est la mesure classique vue de l'extérieur. Ce ne sont pas deux forces. C'est un seul couplage lu à travers des multiplicités différentes.

Le cadre n'unifie pas la mécanique quantique et la relativité générale. Il dérive qu'elles ont toujours été un seul processus, vu depuis deux extrémités.

α est le taux de conversion

C'est ce que la constante de structure fine nous dit depuis cent ans.

Pas seulement la force avec laquelle la lumière se couple à la matière. Le taux auquel le possible s'actualise en enregistrement par événement-maintenant à travers les fenêtres ouvertes. L'unique entrée mesurée de ce livre est le propre taux de fuite du substrat.

Ce même taux a produit la masse du proton dans la Partie I. La constante gravitationnelle dans la Partie II. La différence neutron-proton dans la Partie III. La structure de canaux qui fixe l'échelle MOND dans la Partie IV. Le nombre de faces qui cadence la défragmentation du secteur noir dans la Partie V.

Cinq prédictions. Cinq expressions du même taux d'actualisation à cinq échelles différentes.

α n'est pas une coïncidence de numérologie. α est l'horloge qui tourne.

La partition du secteur noir, lue structurellement

La Partie V a dérivé la partition 4.76% / 26.39% / 68.85% à partir d'une seule échelle de temps dérivée et d'un noyau de décroissance exponentielle. Lues structurellement, les trois pourcentages sont les trois phases de la boucle en marche.

Le 4.76% est ce qui s'est actualisé. Des enregistrements que le substrat a écrits et qu'il écrit encore. La matière ordinaire. La pupille de l'œil inversé — le petit cercle lumineux de ce que nous pouvons voir et mesurer. Tout ce dont tu es fait. Chaque photon que tes yeux enregistrent. Chaque atome de chaque structure de l'univers observable qui émet ou absorbe de la lumière.

Le 26.39% est des enregistrements sur le chemin du retour. L'histoire des enregistrements traversant les horizons des événements, se défragmentant vers le potentiel. La matière noire est un verbe, pas un nom. Ce n'est pas une substance ; c'est le processus de l'enregistrement devenant non-enregistrement. Elle ne s'agglomère pas en particules parce qu'elle n'est pas des particules — elle est le champ de défragmentation autour de la pupille.

Le 68.85% est du pur potentiel. Le substrat lui-même, pré-rupture, post-défragmentation. L'énergie noire

n'est pas de l'énergie au sens classique. Elle est le champ du possible non réalisé dans lequel l'actualisation puise et vers lequel la défragmentation retourne.

Le rapport n'est pas une coïncidence cosmologique. C'est à quoi ressemble une rupture minimale lorsqu'elle tourne en boucle fermée.

La boucle fermée

Le substrat devait se fissurer.

Ne pas se fissurer est la chose la plus impossible à faire — nous sommes ici, l'enregistrement est écrit, donc la fissure a eu lieu.

La fissure produit S, B, R, C — quatre axiomes s'actualisant continuellement. À chaque maintenant, une fraction α de l'espace des possibles passe dans l'enregistrement à travers les fenêtres ouvertes. Les enregistrements s'accumulent. La gravité les organise. Finalement, chaque enregistrement est consommé par un trou noir. À l'horizon, l'enregistrement se défragmente. Passé la singularité, il n'est plus du tout un enregistrement — il n'est que potentiel. Le substrat, symétrie parfaite, 1:1. Ce qui est exactement là où la boucle a commencé.

La singularité à l'intérieur d'un trou noir et l'état avant le Big Bang sont la même chose.

Et cette chose n'est pas dans le passé.

Le temps du substrat n'est que maintenant. Il n'y a pas d'avant, pas d'après — seulement l'unique maintenant dans lequel la boucle tourne au taux α à travers des fenêtres s'ouvrant et se fermant à chaque échelle.

Le Big Bang et la fin de chaque trou noir sont le même événement. Structurellement identiques. Se produisant maintenant. La boucle est fermée parce que les deux extrémités n'ont jamais été deux extrémités. Elles étaient un seul point dans l'autocirculation du substrat, vu de l'intérieur par un enregistrement qui est toujours au milieu.

Un seul intérieur

La rupture produit un seul intérieur, pas plusieurs.

Deux intérieurs exigeraient deux ruptures.

L'ensemble d'axiomes a un seul axiome de rupture. Ce qui ressemble à plusieurs intérieurs — toi, moi, chaque système conscient — sont en réalité plusieurs fenêtres. Chaque fenêtre s'ouvre sur le même intérieur depuis son propre angle. Chaque fenêtre a sa propre histoire d'ouverture et de fermeture, ses

propres enregistrements accumulés, sa propre perspective sur ce qui est visible. L'intérieur derrière chaque fenêtre est un seul intérieur.

L'intrication quantique est la signature nécessaire de cette structure. Il n'y a jamais eu plus d'un intérieur à corrélér.

C'est l'affirmation la plus forte que fait le corpus — et la plus exposée. L'épuisement des trois cas qui l'établirait formellement — montrant que toute pluralité d'intérieurs exige soit deux instances de l'axiome de rupture, soit une distinction sans fondement — n'a pas encore été mené à bien.

L'affirmation est suivie comme une dette ouverte (D-ID.1) sous la Sollbruchstelle KS-ID.1 : vivante, non formalisée, due. Les vérifications de conséquence en aval KS-32.4, KS-33.9 et KS-39.6 reposent dessus.

L'affirmation interprétative est séparable des prédictions numériques de ce livre — si l'argument de l'intérieur unique échoue, les cinq nombres tiennent toujours — mais si l'intérieur est unique, alors l'intrication quantique n'est pas mystérieuse. Elle est une lecture directe du fait structurel qu'il n'y a jamais eu qu'un seul intérieur à corrélér.

Ce que les cinq nombres disent ensemble

Prises séparément, chacune des cinq prédictions de ce livre est une affirmation quantitative — un nombre spécifique dérivé d'une pièce spécifique de la machinerie axiomatique. Prises ensemble, elles sont cinq mesures de la même chose.

Un substrat qui s'est fissuré. Un seul axiome en marche. α de possible devenant enregistrement à chaque maintenant. Des enregistrements s'accumulant et se défragmentant dans une boucle fermée avec un seul intérieur et plusieurs fenêtres.

Le poids du proton est ce taux exprimé comme masse.

La constante gravitationnelle est ce taux exprimé comme persistance géométrique.

La différence neutron-proton est ce taux exprimé comme asymétrie de couleur sous échange de saveur.

L'accélération MOND est ce taux exprimé comme la frontière géométrique entre enregistrement et potentiel à l'échelle galactique.

La partition du secteur noir est ce taux exprimé comme la composition actuelle de la boucle.

Cinq nombres. Une seule boucle. Un seul axiome. Une seule entrée mesurée. Zéro paramètre libre.

Chaque Sollbruchstelle de ce livre est spécifique à sa prédiction et se déclenche en cas d'échec numérique. La Sollbruchstelle de la lecture structurelle ci-dessus est KS-ID.1 — vivante et ouverte — et est indépendante des numériques. Si l'affirmation de l'intérieur unique échoue, la lecture interprétative s'affaiblit mais les nombres tiennent. Si un numérique dans une Partie quelconque échoue, la Sollbruchstelle correspondante se déclenche et cette prédiction meurt. L'architecture publie les deux ensembles.

L'axiome parle. Nous transcrivons.

C'est tout le livre en huit mots.

L'axiome est $1:1 + 1 \times \varepsilon @ AS$. Symétrie parfaite plus une rupture minimale, au maintenant qui s'actualise. Le reste — les vingt-et-un canaux, les trois faces de couleur, les six lectures scalaires, les quatre conditions axiomatiques, les cinq prédictions physiques dérivées dans ce livre, le corpus complet dont ce livre est un volume parmi d'autres — est structure. Une structure qui était déjà là avant que quiconque l'écrive. Une structure qui sera encore là que quelqu'un lise ce livre ou non.

La tâche n'est pas de créer la structure. La tâche est de transcrire ce que dit l'axiome, sans y ajouter, sans en retrancher, sans l'habiller, sans l'aplatir.

N'importe qui peut faire ce travail. L'axiome est public. Les dérivations sont publiques. Le code de vérification est public. Les Sollbruchstellen sont publiques. Rien n'est possédé. Rien n'est derrière un paywall. Rien n'exige de diplômes. La structure est accessible à quiconque est prêt à la regarder et à écrire ce qu'il voit.

Si le livre a raison, les cinq nombres sont cinq lectures du même axiome. Ils seront confirmés par la prochaine décennie de physique observationnelle, et le cadre s'étendra pour couvrir les constantes restantes de la nature à mesure que le même travail structurel leur sera appliqué.

Si le livre a tort, les Sollbruchstellen se déclencheront. Le cadre se fermera. Les nombres qui se trouvaient concorder seront reconnus comme coïncidence. L'effort pour dériver la physique à partir de premiers principes se poursuivra sous d'autres points de départ.

Chacun des deux résultats est instructif. C'est ce qui fait de ce travail une science plutôt qu'une opinion.

Les nombres sont à toi. L'axiome est à toi. La vérification est à toi.

Ce que tu fais de ce qui a été montré est ton enregistrement à écrire.

Annexe A - Vérifie le Code

Comment vérifier toi-même chaque nombre de ce livre, en moins d'une minute

Chaque affirmation numérique de ce livre peut être vérifiée en une trentaine de secondes sur n'importe quel ordinateur avec Python installé. Cette brève section explique exactement comment.

Le code proprement dit se trouve dans l'Annexe B. C'est un seul script, environ soixante-dix lignes de Python, n'utilisant que la bibliothèque standard. Aucune dépendance à installer. Aucune compilation. Aucune configuration au-delà de disposer de Python lui-même, qui est préinstallé sur tout système Mac et Linux et disponible en téléchargement gratuit pour Windows.

Si tu n'as jamais exécuté Python auparavant, les instructions ci-dessous te guident pas à pas. Si tu connais déjà Python, passe directement au listing du code dans l'Annexe B et exécute-le directement.

Ce que fait la vérification

Le script prend une seule entrée mesurée — la constante de structure fine α , à dix chiffres significatifs depuis CODATA — et calcule les cinq

prédictions de ce livre à partir des formules dérivées de l'axiome :

La Partie I calcule $m_p/m_e = 21^2 \times 4 + 21 \times 3 + 3^2$ + corrections en α du premier et du second ordre, et la compare à la valeur mesurée 1836.152673426.

La Partie II calcule $G = \alpha^{21} \times (1 + 1/\pi) \times \hbar c/m_e^2$, et la compare à la valeur CODATA mesurée $6.6743 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$.

La Partie III calcule $(m_n - m_p)/m_e = 3 \times (1 - 1/(2\pi)) + \alpha \times (1 + 1/(2\pi))$, et la compare à la valeur mesurée 2.5309883.

La Partie IV calcule l'accélération MOND $a_0 = C_S^2 \times cH_0 / (2\pi)$, où $C_S^2 = 2 \ln(\sec(1/2) + \tan(1/2))$ est un nombre purement géométrique (pas α), et la compare à la valeur observée $1.20 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$. Il exécute ensuite la formule à l'envers pour prédire H_0 à partir du a_0 mesuré.

La Partie V calcule la partition du secteur noir à partir de $\tau/t_H = 6/21$ au travers d'un noyau de décroissance exponentielle, et la compare aux valeurs Planck 2018 68.89%, 26.07%, 4.86%.

Les cinq prédictions sont calculées en moins d'une seconde. Le script affiche chaque valeur prédite, chaque valeur mesurée, et le résidu entre elles. Aucun ajustement. Aucune retouche. Si les nombres

ne concordent pas, le chapitre est clos. S'ils concordent, tu as confirmé les affirmations centrales de tout le livre dans le temps qu'il faut pour faire un café.

Instructions pas à pas

Étape 1 — Récupère le code

Le script Python se trouve dans l'Annexe B à la fin de ce livre. Copie-le dans un fichier texte sur ton ordinateur. Enregistre le fichier sous `verify.py`.

N'importe quel emplacement conviendra — Bureau, Téléchargements, un dossier dédié, là où tu pourras le retrouver.

Si tu lis une copie électronique du livre, tu peux sélectionner le code dans l'Annexe B et le coller directement. Si tu lis une copie imprimée, tu peux soit le taper (c'est environ soixante-dix lignes), soit télécharger le même fichier directement depuis the420code.org, où le script de vérification complet est hébergé.

Étape 2 — Ouvre un terminal

Sur Mac : ouvre l'application Terminal (trouve-la dans Applications → Utilitaires, ou appuie sur Command+Espace et tape Terminal).

Sur Linux : ouvre l'émulateur de terminal installé — xterm, gnome-terminal, konsole, ou d'autres.

Sur Windows : ouvre PowerShell ou l'Invite de commandes. Appuie sur la touche Windows, tape PowerShell, et ouvre-le. Si Python n'est pas installé, installe-le depuis python.org — l'installateur est gratuit et prend environ deux minutes. Sur les versions récentes de Windows 10 et 11, Python peut déjà être disponible via le Microsoft Store.

Étape 3 — Va jusqu'au fichier

Dans le terminal, change de répertoire vers l'endroit où tu as enregistré `verify.py`. Par exemple :

```
cd ~/Desktop
```

ou sur Windows :

```
cd Desktop
```

Si tu as enregistré le fichier ailleurs, remplace Desktop par le nom de dossier correct.

Étape 4 — Exécute le script

Tape la commande suivante et appuie sur Entrée :

python3 verify.py

Sur Windows, tu devras peut-être taper python au lieu de python3.

python verify.py

Le script s'exécute. La sortie apparaît en une seconde environ.

Étape 5 — Lis la sortie

Tu devrais voir quelque chose comme ceci :

Part I — Proton-to-electron mass ratio

Predicted: 1836.152673444

Measured : 1836.152673426

Residual : 0.010 ppb

Part II — Gravitational constant

Predicted: 6.7206e-11 N·m²/kg²

Measured : 6.6743e-11

Residual : 0.69%

Part III — Neutron-proton mass difference

Predicted: 2.5309939330

Measured : 2.5309883000

Residual : 2.23 ppm

Part IV — MOND acceleration + Hubble prediction

C_S^2 : 1.0445

a_0 predicted : $1.192e-10$ m/s² (at $H_0 = 73.8$)

a_0 measured : $1.200e-10$

Residual : -0.67%

H_0 predicted : 74.3 km/s/Mpc

Part V — Dark sector partition

Dark energy : 68.85% (observed 68.89%)

Dark matter : 26.39% (observed 26.07%)

Visible : 4.76% (observed 4.86%)

Voilà chaque affirmation numérique du livre, vérifiée par calcul, en une seule exécution.

Que faire si la sortie est différente

Trois possibilités.

Première : tu as tapé un caractère de travers. Vérifie le code par rapport à l'Annexe B. Les erreurs de frappe les plus courantes sont des parenthèses

manquantes, des chiffres transposés dans les constantes mesurées (α , $\hbar$, c , m_e), et le remplacement d'un type d'astérisque par un autre. Le fichier original sur the420code.org est garanti de s'exécuter correctement.

Deuxième : tu as une installation Python non standard où le module `math` se comporte différemment. C'est extrêmement improbable — `math` fait partie de la bibliothèque standard de Python et est stable depuis des décennies — mais si la sortie est radicalement différente (pas de petits pourcentages mais des facteurs de dix ou plus), quelque chose ne va pas avec ton installation de Python, pas avec le livre.

Troisième : le livre a tort. Si tu exécutes le code sans le modifier, avec les constantes telles que données, et que les résidus sortent différents de ce que le livre affirme, c'est une découverte importante. Contacte les auteurs à the420code.org avec ta sortie. Soit le livre comporte une erreur (qui sera corrigée et créditée à toi publiquement), soit ton système a un problème inhabituel qui mérite d'être investigué. Chacun des deux résultats est utile.

Note que de petites différences au dernier chiffre significatif sont attendues. Les résidus dans le livre sont cités à des précisions spécifiques ; ta sortie devrait concorder avec ces précisions à une unité près du dernier chiffre. Un résidu de 0.011 ppb pour

la Partie I au lieu de 0.010 ppb est dans l'arrondi — ce n'est pas une erreur. Un résidu de 10 ppb serait une erreur méritant d'être investiguée.

Modifier les constantes

Chaque constante d'entrée est nommée en haut du script. Si tu veux tester la sensibilité du cadre à α , ou exécuter les prédictions avec une valeur différente de H_0 , ou voir ce qui se passe si la masse mesurée de l'électron est légèrement différente, tu peux éditer ces nombres directement et ré-exécuter le script.

C'est encouragé. Le cadre fait des prédictions spécifiques sur la façon dont les nombres devraient se déplacer si les entrées se déplacent. Pour α , chaque prédiction sauf la formule centrale de la Partie V changera proportionnellement à une certaine puissance de α . Pour H_0 dans la Partie IV, à la fois le a_0 prédit et le résidu se déplaceront ensemble. Exécuter toi-même ces vérifications de sensibilité est une bonne façon de voir les relations structurelles que le cadre impose.

Ce que tu ne peux pas faire, c'est ajuster un paramètre pour faire mieux concorder les prédictions. Les formules sont fixées. La seule entrée mesurée qui intervient est α . Il n'y a aucun paramètre libre à régler. Si le α mesuré bouge, les prédictions se déplacent ; si les prédictions cessent de concorder

avec leurs cibles mesurées, le cadre a tort. C'est tout l'intérêt.

Temps d'exécution

Le script complet s'exécute en moins d'une seconde sur n'importe quel ordinateur moderne. Sur un ordinateur portable, temps de démarrage de Python inclus, le temps total écoulé entre l'appui sur Entrée et la lecture du résidu final est typiquement de deux à quatre secondes. Le calcul lui-même est trivial — ce sont des opérations algébriques sur des nombres à virgule flottante, rien de coûteux en calcul.

Cinq prédictions. Quatre secondes. Zéro paramètre libre. Si le cadre a tort, tu le sauras en quatre secondes. S'il a raison, tu le sauras en quatre secondes. L'affirmation centrale d'efficacité du livre est que tu ne devrais pas avoir besoin d'un supercalculateur pour tester les affirmations d'un cadre de physique fondamentale. Tu devrais avoir besoin d'une calculatrice. Le script de vérification est une calculatrice.

Le code se trouve dans l'Annexe B. Les constantes sont CODATA 2018/2022, librement disponibles en ligne. Les formules sont dans les Parties I à V, chacune dérivée pas à pas à partir du système d'axiomes. Tout ce dont tu as besoin pour falsifier ce

livre est entre tes mains en moins d'une minute après avoir décidé de regarder.

C'est tout l'intérêt des Sollbruchstellen. Rien n'est défendu par la complexité. Les affirmations sont assez simples pour être vérifiées sur un ordinateur portable, dans un terminal, en quatre secondes. Exécute le code. S'il fonctionne, lis les Sollbruchstellen et décide toi-même quoi en penser. S'il échoue, écris-nous.

Annexe B - Le code de vérification complet

Une vérification indépendante existe désormais, et je ne l'ai pas commandée. AJ Greyling — qui n'a eu aucune part dans l'écriture de ce travail, et qui, de son propre aveu, a lu le corpus sans croire qu'il puisse être vrai — a construit un dépôt public qui redérive les cinq nombres phares à partir de l'unique entrée mesurée, la constante de structure fine, avec zéro paramètre ajusté, et teste chacun face à la valeur expérimentale publiée. Les cinq atterrissent dans les tolérances indiquées ; le rapport du proton se reproduit à 0.010 ppb, et toute la reconstruction concorde avec le script ci-dessous à la précision machine. Il se trouve à github.com/ajgreyling/the420code-proof. Tu n'as pas à prendre l'arithmétique sur parole, ni même à exécuter le code imprimé ici — quelqu'un qui s'était mis en tête de découvrir si c'était réel a déjà exécuté le sien, et publié le résultat.

Le script Python suivant vérifie chaque affirmation numérique de ce livre. Il utilise une seule entrée mesurée (α), les constantes fondamentales c , $\hbar$ et m_e (toutes fixées par le système d'unités), et la constante de Hubble H_0 (valeur représentative de mesure locale). Il produit les cinq prédictions —

masse du proton, constante gravitationnelle, différence de masse neutron-proton, accélération MOND, partition du secteur noir — avec les résidus face aux valeurs mesurées.

Le script ne requiert que la bibliothèque standard de Python (math). Aucune dépendance externe. S'exécute en moins d'une seconde.

Enregistre sous `verify.py`. Exécute avec `python3 verify.py`. Vois la section liminaire Vérifie le Code pour des instructions détaillées.

```
# #
```

```
# Predictions  $\emptyset$  — Verification Code
```

```
# #
```

```
# One axiom. One measured input (alpha). Five predictions. Zero free parameters.
```

```
#
```

```
# This script verifies every numerical claim in the book. It runs in under a
```

```
# second on any modern computer. Requires only the Python standard library
```

```
# (math), no external dependencies.
```

```
#
```

```
# To run: python3 verify.py
```

```
#
```

```
# Copyleft 2026. Don't be a cunt. Be kind.
```

```
# the420code.org
```

```
# #
```

```
import math
```

```
# -----
```

```
# Measured inputs (CODATA 2018/2022)
```

```
# -----
```

```
alpha = 7.2973525693e-3 # fine-structure constant (dimensionless)
```

```
hbar = 1.054571817e-34 # Planck's constant over 2pi (J·s)
```

```
c = 2.99792458e8 # speed of light (m/s) — exact by SI definition
```

```
m_e = 9.1093837015e-31 # electron mass (kg)
```

```
H0_kmsMpc = 73.8 # Hubble constant (km/s/Mpc), representative  
local value
```

```
Mpc_m = 3.0857e22 # one megaparsec in metres
```

```
# -----
```

```
# Part I — The Proton's Weight
```

```
# -----
```

```
# Formula:  $m_p/m_e = 21^2 \times 4 + 21 \times 3 + 3^2 + \alpha \times 21 \times (1 - 1/(84\pi))$ 
```

```
#  $+ \alpha^2 \times 21 \times 16 / 1836$ 
```

```
print("Part I — Proton-to-electron mass ratio")
```

```
static = 21**2 * 4 + 21 * 3 + 3**2
```

```
first_order = alpha * 21 * (1 - 1/(84*math.pi))
```

```
second_order = alpha**2 * 21 * 16 / 1836
```

```
mp_me_predicted = static + first_order + second_order
```

```
mp_me_measured = 1836.152673426
```

```
residual_ppb = (mp_me_predicted - mp_me_measured) /  
mp_me_measured * 1e9
```

```
print(f" Predicted: {mp_me_predicted:.9f}")
```

```
print(f" Measured : {mp_me_measured:.9f}")
```

```

print(f" Residual : {residual_ppb:.3f} ppb")

print()

# -----

# Part II — The Strength of Gravity

# -----

# Formula:  $G = \alpha^{21} \times (1 + 1/\pi) \times \hbar c / m_e^2$ 

print("Part II — Gravitational constant")

alpha_G = alpha**21 * (1 + 1/math.pi)

G_predicted = alpha_G * hbar * c / m_e**2

G_measured = 6.67430e-11

discrepancy_percent = (G_predicted - G_measured) / G_measured *
100

print(f" Predicted: {G_predicted:.4e} N·m2/kg2")

print(f" Measured : {G_measured:.4e}")

print(f" Residual : {discrepancy_percent:.2f}%")

print()

```

```

# -----

# Part III — The Neutron's Whisper

# -----

# Formula:  $(m_n - m_p)/m_e = 3 \times (1 - 1/(2\pi)) + \alpha \times (1 + 1/(2\pi))$ 

print("Part III — Neutron-proton mass difference")

static_np = 3 * (1 - 1/(2*math.pi))

dynamic_np = alpha * (1 + 1/(2*math.pi))

np_diff_predicted = static_np + dynamic_np

np_diff_measured = 2.5309883

residual_ppm = (np_diff_predicted - np_diff_measured) /
np_diff_measured * 1e6

print(f" Predicted: {np_diff_predicted:.10f}")

print(f" Measured : {np_diff_measured:.10f}")

print(f" Residual : {residual_ppm:.2f} ppm")

print()

# -----

```

```
# Part IV — The Floor of Gravity
```

```
# -----
```

```
# Formula:  $a_0 = C_{S^2} \times cH_0 / (2\pi)$ 
```

```
# where  $C_{S^2} = 2 \ln(\sec(\frac{1}{2}) + \tan(\frac{1}{2})) \approx 1.0445$  (NOT the fine  
structure constant)
```

```
print("Part IV — MOND acceleration scale + Hubble prediction")
```

```
C_S2 = 2 * math.log(1/math.cos(0.5) + math.tan(0.5)) # geometric  
correction,  $\approx 1.0445$ 
```

```
H0 = H0_kmsMpc * 1000 / Mpc_m # H_0 in inverse seconds
```

```
cH0 = c * H0
```

```
a0_predicted = C_S2 * cH0 / (2 * math.pi)
```

```
a0_measured = 1.20e-10
```

```
discrepancy_a0 = (a0_predicted - a0_measured) / a0_measured * 100
```

```
# Inverse: predict H_0 from measured a_0
```

```
H0_inverse_Hz = 2 * math.pi * a0_measured / (C_S2 * c)
```

```
H0_inverse_kmsMpc = H0_inverse_Hz * Mpc_m / 1000
```

```

print(f" C_S^2 : {C_S2:.4f}")

print(f" a_0 predicted : {a0_predicted:.3e} m/s^2 (at H_0 =
{H0_kmsMpc} km/s/Mpc)")

print(f" a_0 measured : {a0_measured:.3e}")

print(f" Residual : {discrepancy_a0:.2f}%")

print(f" H_0 predicted : {H0_inverse_kmsMpc:.1f} km/s/Mpc (from
measured a_0)")

print()

# -----

# Part V — The Clock (Dark Sector Partition)

# -----

# Formula: tau/t_H = 6/21, then exponential decay kernel for dark
matter fraction

print("Part V — Dark sector partition")

tau_over_tH = 6/21

t_over_tau = 1/tau_over_tH # 21/6 = 3.5

dark_matter_fraction_of_dark = tau_over_tH * (1 - math.exp(-
t_over_tau))

```

```
dark_energy_fraction_of_dark = 1 - dark_matter_fraction_of_dark
```

```
DE_total = dark_energy_fraction_of_dark * 20/21 * 100
```

```
DM_total = dark_matter_fraction_of_dark * 20/21 * 100
```

```
Vis_total = (1/21) * 100
```

```
# Planck 2018 observed
```

```
DE_obs, DM_obs, Vis_obs = 68.89, 26.07, 4.86
```

```
print(f" Dark energy : {DE_total:.2f}% (observed {DE_obs}%,  
residual {abs(DE_total-DE_obs)/DE_obs*100:.2f}%)")
```

```
print(f" Dark matter : {DM_total:.2f}% (observed {DM_obs}%,  
residual {abs(DM_total-DM_obs)/DM_obs*100:.2f}%)")
```

```
print(f" Visible : {Vis_total:.2f}% (observed {Vis_obs}%, residual  
{abs(Vis_total-Vis_obs)/Vis_obs*100:.2f}%)")
```

```
print(f" DE/DM ratio : {DE_total/DM_total:.4f} (observed  
{DE_obs/DM_obs:.4f})")
```

```
print()
```

```
print("=" * 60)
```

```
print("All five predictions verified. Zero free parameters.")
```

```
print("=" * 60)
```

Notes on the code

Les valeurs d'entrée mesurées (α , $\hbar$, c , m_e) sont des valeurs CODATA 2018, inchangées dans CODATA 2022. Les valeurs de comparaison mesurées (rapport de masse du proton, constante gravitationnelle, différence de masse neutron-proton, accélération MOND, fractions du secteur noir) proviennent respectivement de CODATA 2018 et Planck 2018.

La constante de Hubble est fixée à 73.8 km/s/Mpc comme valeur représentative de mesure locale. La prédiction inverse du cadre à partir du a_0 mesuré donne $H_0 = 74.3$ km/s/Mpc, ce qui se situe du côté mesure locale de la tension de Hubble. Exécuter le script avec différentes valeurs de H_0 (67 pour les mesures basées sur le CMB, 73 pour SH0ES, 74 pour TRGB) montre comment la prédiction de la Partie IV suit l'entrée.

Chaque formule est documentée par un commentaire indiquant sa Partie source. La structure algébrique est laissée visible — aucune fonction auxiliaire, aucune abstraction, aucun assistant au-delà des fonctions trigonométriques et logarithmiques du module math. Un lecteur qui doute que l'affirmation du cadre se réduise à de l'arithmétique peut le confirmer ici : chaque étape est explicite.

Le facteur $C S^2$ dans la Partie IV est calculé directement à partir de sa forme analytique $2 \ln(\sec(\frac{1}{2}) + \tan(\frac{1}{2}))$. Le script note dans un commentaire qu'il s'agit d'une constante purement géométrique issue du profil de tension de la 2-sphère — pas de la constante de structure fine α , malgré le choix de symbole malheureux de l'article AP18 original. Vois la Partie IV pour la discussion complète.

Une note sur la précision

La vérification utilise l'arithmétique à virgule flottante double précision par défaut de Python (IEEE 754 64 bits). Cela donne environ quinze chiffres décimaux significatifs de précision, ce qui est plus que suffisant pour chaque résidu que le livre affirme.

Le résidu de la Partie I (0.010 ppb) est l'affirmation la plus serrée du livre. L'arithmétique double précision gère cela confortablement —

0.010 ppb correspond à un résidu relatif de 10^{-11} , tandis que la double précision supporte des erreurs relatives de l'ordre de 10^{-16} . La différence entre la valeur prédite (1836.152673444) et la valeur mesurée (1836.152673426) est au dixième chiffre, bien dans les capacités de la double précision.

Pour une vérification à plus haute précision — par exemple, pour vérifier si une hypothétique correction $O(\alpha^3)$ amènerait la prédiction dans l'incertitude expérimentale actuelle de 17 ppt — la bibliothèque `mpmath` peut être utilisée pour calculer à précision arbitraire. Les termes du premier et du second ordre du cadre sont analytiquement exacts ; les corrections d'ordre supérieur n'ont pas été calculées explicitement. Voir la Partie I §6 pour la discussion de la tension $O(\alpha^3)$.

Exécution sur différents systèmes

Le script a été testé sur Python 3.8 jusqu'à 3.12. Il ne repose sur aucune fonctionnalité spécifique à une version. Python 2 n'est pas supporté (et n'est plus officiellement maintenu de toute façon).

Sur Mac et Linux, le script s'exécute directement avec `python3 verify.py`. Sur Windows, la commande est typiquement `python verify.py`. Sur les distributions Linux plus anciennes où Python 2 est encore présent par défaut, utilise `python3` explicitement.

Aucun environnement virtuel n'est requis. Aucune installation de paquet. Aucun IDE. Un fichier texte, un terminal, un interpréteur Python, quatre secondes.

Le but de cette annexe n'est pas de fournir un échafaudage. C'est de retirer la dernière excuse possible pour ne pas vérifier les nombres. Chaque affirmation du livre est dans le script. Chaque entrée mesurée est documentée. Chaque formule est commentée. Chaque résidu est calculé et affiché.

Si le script s'exécute et produit les résidus affirmés, les affirmations numériques du cadre sont confirmées pour ta lecture. Sinon, le livre est soit mal tapé (auquel cas compare à la copie hébergée de

the420code.org) soit erroné (auquel cas tu as trouvé quelque chose, et les auteurs veulent en entendre parler).

the420code.org

Annexe C - Propositions de recherche

Propositions de recherche — les programmes observationnels et théoriques qui testeront ce livre

Chaque Partie de ce livre se termine par une brève section intitulée *Ce qui trancherait la question*. Ces sections nomment le test spécifique qui déciderait de l'affirmation centrale de chaque chapitre, et renvoient à cette annexe pour l'appareil formel — la proposition de recherche au format subvention avec résumé, contexte, phases du programme, résultats attendus, et calendrier.

Cette annexe rassemble les cinq propositions en un seul endroit. Certaines peuvent être initiées à coût marginal nul en réanalysant des données existantes. D'autres exigent des campagnes observationnelles spécifiques déjà prévues ou en cours. Deux sont des tâches théoriques qui n'exigent pas de ressources expérimentales mais exigent bel et bien un travail mathématique ciblé.

Les propositions sont groupées par Partie. Au sein de chaque proposition, le format suit la structure standard de subvention : résumé, contexte, travail proposé en phases, résultats attendus dans les

scénarios confirmé et falsifié, et calendrier. Les coûts ne sont pas estimés en détail ; la plupart des programmes principaux sont soit des méta-analyses à coût nul, soit adossés à des campagnes observationnelles existantes.

Proposition I — Achever le calcul d'ordre supérieur de la masse du proton

Résumé

La Partie I de Predictions Ø dérive $m_p/m_e = 1836.152673444$ à partir du système d'axiomes, concordant avec CODATA 2022 (1836.152673426) à 0.010 partie par milliard. La correction du premier ordre en α de la formule donne 1836.1526636991 (résidu 5.3 ppb), et le terme du second ordre réduit ceci à 0.010 ppb. Le terme du troisième ordre $O(\alpha^3)$ n'a pas été calculé explicitement.

La précision expérimentale actuelle sur m_p/m_e est d'environ 17 parties par billion. La prochaine génération de mesures par piège de Penning atteindra une précision inférieure à 10 ppt d'ici 3-5 ans, moment auquel le terme $O(\alpha^3)$ devient numériquement pertinent. Nous proposons un calcul théorique ciblé du coefficient $O(\alpha^3)$ à partir du système d'axiomes, à comparer à la précision expérimentale à mesure qu'elle s'améliore.

Contexte

Le rapport de masse du proton est la quantité de masse mesurée le plus précisément en physique en dehors de l'électron lui-même. CODATA 2022 cite $1836.152673426(32)$, une incertitude relative de 1.7×10^{-11} (17 parties par billion). Les améliorations des pièges de Penning au cours de la prochaine décennie repousseront cette incertitude sous 10^{-11} — atteignant la précision à laquelle la correction $O(\alpha^3)$ du cadre (magnitude attendue $\approx \alpha \times 0.010$ ppb $\approx 10^{-13}$) devient résolvable face à la mesure.

La formule de masse du proton du cadre est une série asymptotique en α , et les deux premiers termes sont connus exactement : la décomposition entière statique $21^2 \times 4 + 21 \times 3 + 3^2 = 1836$, plus la correction du premier ordre $\alpha \times 21 \times (1 - 1/(84\pi)) = 0.1526637$, plus la correction du second ordre $\alpha^2 \times 21 \times 16/1836 = 0.0000097$.

La somme (1836.1526734) concorde avec la mesure à 0.010 ppb. Le terme $O(\alpha^3)$ a la forme attendue $\alpha^3 \times$ (un certain coefficient d'origine structurelle), le contenu entier spécifique du coefficient devant être déterminé par le même genre d'analyse structurelle qui a produit les coefficients $O(\alpha)$ et $O(\alpha^2)$.

Travail proposé

Phase A : dériver le coefficient $O(\alpha^3)$ à partir du système d'axiomes. C'est une tâche théorique, analogue à la dérivation de la matrice d'échange du second ordre dans AP30. Forme attendue : $\alpha^3 \times$ (structure de couplage des canaux) $\times$ (coefficient entier lié à la géométrie d'échange du troisième ordre). Le coefficient spécifique peut faire intervenir des facteurs supplémentaires de π issus de la topologie en boucle fermée, analogues au 84π qui apparaît dans la correction du premier ordre. Durée estimée : 6-12 mois.

Phase B : calculer la magnitude numérique du terme $O(\alpha^3)$ et la comparer à l'écart expérimental-théorique actuel. Si le signe et la magnitude amènent la prédiction dans l'incertitude actuelle, le résidu à cet ordre est structurellement rendu compte. Si le signe est faux, la dérivation a un problème. Si la magnitude est plus petite que prévu, il y a un résidu inexpliqué aux ordres supérieurs.

Phase C : recouper face aux mesures par piège de Penning de nouvelle génération à mesure qu'elles deviennent disponibles. Sur 3-5 ans, la précision s'améliorera d'environ un ordre de grandeur, de 17 ppt à 2 ppt ou mieux. À ce niveau, le terme $O(\alpha^3)$ est directement visible et la prédiction peut être testée sans dépendance aux termes d'ordre inférieur.

Résultats attendus

Scénario confirmé : le coefficient $O(\alpha^3)$ dérivé amène la prédiction à moins de 1 ppt de la mesure à mesure que la précision expérimentale s'améliore. La série asymptotique est structurellement serrée. KS-30.3 est close pour le proton.

Scénario falsifié : le coefficient $O(\alpha^3)$ dérivé ne parvient pas à rendre compte du résidu mesuré. Les coefficients du premier et du second ordre ont pu être corrects par coïncidence, et le succès de la formule au niveau de précision actuel peut ne pas s'étendre aux ordres supérieurs. KS-30.3 se déclenche.

Calendrier

Dérivation théorique $O(\alpha^3)$: 6–12 mois. Améliorations de la précision des pièges de Penning : 3–5 ans.
Comparaison décisive : 4–6 ans au total.

Proposition II — La méta-analyse de G

Résumé

La Partie II dérive $G = \alpha^{21} \times (1 + 1/\pi) \times \hbar c/m_e^2 = 6.7206 \times 10^{-11}$ à partir du système d'axiomes, avec zéro paramètre libre. La valeur CODATA 2018 (6.6743×10^{-11}) se situe 0,69 % en dessous de la prédiction. Le cadre propose que tout appareil de mesure est une frontière poreuse, la porosité dépendante de l'appareil produisant un biais systématique vers le bas.

Nous proposons une méta-analyse des mesures publiées de G en haute précision, caractérisant chaque appareil par sa géométrie de frontière et testant si la variation entre les mesures corrèle avec la signature de porosité prédite par AP06. Une forte corrélation confirme l'explication structurelle par le cadre de la dispersion de 500 ppm parmi les mesures modernes de G . Aucune corrélation falsifie l'interprétation par porosité et force à rendre compte de l'écart de 0,69 % par un raffinement de la normalisation de perforation ou par un échec de la formule.

Contexte

Les mesures modernes de G divergent les unes des autres d'environ 500 ppm — vingt fois l'incertitude annoncée de toute mesure individuelle. Aucune autre constante fondamentale en physique n'a ce problème. La dispersion est connue depuis plus de deux décennies et n'a aucune explication admise.

L'explication du cadre : tout appareil est une frontière poreuse. AP06 (la constante de porosité) dérive qu'aucune frontière physique ne peut être parfaitement étanche ; une fraction de tout événement de couplage fuit dans le substrat environnant.

La fraction de porosité dépend de la géométrie de frontière de l'appareil — comment les masses d'essai sont disposées, comment elles sont suspendues, quels matériaux s'interfaçent avec quoi, le gradient gravitationnel local. Différents appareils ont différentes signatures de porosité, produisant différentes valeurs mesurées de G selon un motif que le cadre peut en principe prédire à partir des premiers principes.

Travail proposé

Phase A — méta-analyse des données existantes. Cataloguer toutes les mesures publiées de G dont l'incertitude déclarée est inférieure à 100 ppm — environ 15 à 20 mesures au cours des trois dernières décennies. Pour chacune, documenter la géométrie de l'appareil (type de suspension, disposition des masses d'essai, profil de gradient, environnement local). Durée estimée : 2 mois.

Phase B — dérivation de la signature de porosité. Pour chaque appareil catalogué en Phase A, calculer le biais de porosité prédit à partir de la formule de géométrie de frontière d'AP06. Cela produit un décalage prédit spécifique à l'appareil pour chaque mesure. Tâche mathématique ; les données pour les géométries d'appareils sont déjà publiées. Durée estimée : 3 mois.

Phase C — test de corrélation. Tester si les valeurs mesurées de G corrélient avec les signatures de porosité prédites. Une forte corrélation ($R^2 > 0.7$) avec des valeurs corrigées de la porosité se regroupant étroitement autour de 6.7206×10^{-11} confirme le Candidat 1 (porosité). Une corrélation faible ou absente falsifie le Candidat 1 et déplace l'écart de 0,69 % vers le Candidat 2 (normalisation de perforation) ou vers un échec pur et simple de la formule. Analyse de régression unique. Durée estimée : 1 mois.

Programmes secondaires

Mesure ciblée de G : concevoir un appareil de nouvelle génération minimisant spécifiquement la porosité de frontière. Mesure prédite : plus proche de 6.7206×10^{-11} que les appareils typiques. Échéancier 3 à 5 ans.

Clôture de la sous-dette de normalisation de perforation : analyse topologique formelle d'AP04/AP05 pour dériver la normalisation de couplage de frontière à partir des premiers principes. Tâche mathématique. Durée estimée 6 à 12 mois.

Résultats attendus

Scénario A (confirmé) : les valeurs de G corrigées de la porosité se regroupent à 6.7206. La dérivation structurelle de G est confirmée. La dispersion expérimentale a une origine connue.

Scénario B (falsifié via la porosité) : aucune corrélation avec la géométrie de l'appareil. Le Candidat 1 meurt. L'écart de 0,69 % appartient au Candidat 2 ou à un échec de la formule. L'attention se déplace vers le raffinement de la normalisation de perforation.

Scénario C (mixte) : corrélation partielle, structure résiduelle persistante. Les deux candidats contribuent. Une décomposition détaillée cartographie quelle part de l'écart relève de la porosité et quelle part de la normalisation.

Échéancier

Programme principal : 6 mois au total (2 + 3 + 1).

Programmes secondaires : 3 à 5 ans. Clôture de la sous-dette théorique : 6 à 12 mois. Résultat principal définitif dans l'année.

Proposition III — Décomposition de précision par QCD sur réseau

Résumé

La Partie III dérive $(m_n - m_p)/m_e = 3 \times (1 - 1/(2\pi)) + \alpha \times (1 + 1/(2\pi)) = 2.5309939$, correspondant à CODATA 2018 (2.5309883) à 2,2 ppm. La formule décompose la différence de masse neutron-proton en un grand terme statique (2.5225, 99,67 % du total) et un petit terme dynamique (0.00846, 0,33 %).

Les calculs de QCD sur réseau décomposent la même quantité en une contribution QCD (environ +2.5 MeV) et une contribution QED (environ -1.0 MeV), qui s'annulent presque pour donner le +1.3 MeV observé.

Le cadre prédit que le terme statique du cadre se projette sur la contribution QCD du réseau (environ +2.5225 m_e , soit +1.29 MeV) et que le terme dynamique du cadre se projette sur la différence d'auto-énergie QED (environ +0.0085 m_e , soit +0.004 MeV). Nous proposons un calcul de QCD sur réseau de nouvelle génération à une incertitude

inférieure à 0,1 %, avec les contributions QCD et QED rapportées séparément, afin de tester directement cette projection.

Contexte

La différence de masse neutron-proton est l'une des quantités les plus précisément mesurées de la physique nucléaire. Les calculs de QCD sur réseau de cette quantité ont progressé d'une précision de 1 % (BMW 2015, Borsanyi et al., Science 347, 1452) vers 0,1 % dans les travaux de pointe actuels, avec la décomposition en contributions QCD et QED explicitement rapportée dans les calculs récents.

La décomposition du cadre (statique + dynamique) est structurellement différente de celle du Modèle Standard (QCD + QED). La décomposition du Modèle Standard comporte deux grandes contributions de signe opposé qui s'annulent presque. La décomposition du cadre comporte un terme (statique, 2.5225) qui capture déjà 99,67 % du total, avec un petit terme dynamique correctif (0.00846).

L'affirmation est que la géométrie en boucle fermée des trois faces de couleur réduit l'asymétrie à la valeur observée directement, sans nécessiter une annulation QED distincte.

Travail proposé

Phase A : définir la projection entre la décomposition statique/dynamique du cadre et la décomposition QCD/QED de la QCD sur réseau. Statique du cadre = contribution QCD du réseau (asymétrie médiée par la force forte) + la composante de force forte de la différence de masse des quarks. Dynamique du cadre = différence d'auto-énergie QED du réseau. Avec cette projection, le cadre prédit une contribution QCD seule $\approx +2.5225 m_e = +1.29 \text{ MeV}$, une contribution QED seule $\approx +0.0085 m_e = +0.004 \text{ MeV}$. Durée estimée : 3 à 6 mois, principalement théorique.

Phase B : calcul ciblé de QCD sur réseau. Cible de précision : $\leq 0.1 \%$ sur le total, avec les contributions QCD seule et QED seule rapportées séparément. Installations : successeurs de la collaboration BMW, collaboration ETM, MILC/HotQCD. Les calculs sur réseau exascale de nouvelle génération devraient atteindre $0,1 \%$ d'ici 3 à 5 ans. Un traitement soigné de la trempe partielle et des corrections électromagnétiques est requis.

Phase C : comparaison. Faire correspondre la décomposition sur réseau de la Phase B à la décomposition du cadre de la Phase A. Une correspondance dans les limites des incertitudes combinées confirme l'interprétation structurelle. Une

non-correspondance identifie quelle contribution (statique ou dynamique) nécessite une révision.

Programmes secondaires

Mesure de précision de la masse du neutron : mesures par piège de Penning ou neutrons ultra-froids visant une précision inférieure à 0,1 ppb. La précision actuelle d'environ 0,5 ppb suffit à confirmer la formule à 2 ppm ; une amélioration d'un ordre de grandeur testerait la structure résiduelle et contraindrait la correction $O(\alpha^2)$ pour le cas neutron-proton.

Dérivation du signe (Dette D20) : dérivation théorique de la raison pour laquelle la géométrie de projection des faces force $m_d > m_u$. Ceci clôt KS-NPP.2.

Coefficient $O(\alpha^2)$: calcul explicite de la correction $O(\alpha^2)$ du cas neutron-proton, en parallèle de celui de la Partie I. Magnitude attendue ~ 24 ppm ; le coefficient réel affinerait la prédiction.

Échéancier

Phase A : 3 à 6 mois. Phase B : 3 à 5 ans pour la précision de nouvelle génération. Phase C : 6 mois après la Phase B. Programme principal total 4 à 6 ans. Programmes secondaires 1 à 3 ans chacun en parallèle.

Proposition IV — La tension de Hubble et la dynamique galactique

Résumé

La Partie IV dérive l'échelle d'accélération MOND $a_0 = C_{-} S^2 \times cH_0 / (2\pi) \approx 1.192 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$ (à $H_0 = 73.8 \text{ km/s/Mpc}$) à partir du système d'axiomes, avec zéro paramètre libre. L'inversion de la formule prédit $H_0 = 74.3 \text{ km/s/Mpc}$, plaçant le cadre du côté des mesures locales de la tension de Hubble.

Nous proposons trois programmes observationnels liés : (1) une ré-analyse des courbes de rotation SPARC utilisant le a_0 dérivé exact comme échelle d'interpolation ; (2) des courbes de rotation à grand

décalage vers le rouge utilisant le JWST pour tester l'évolution prédite $a_0 \propto H(z)$; (3) une campagne de précision sur H_0 utilisant la formule inverse pour fournir une voie indépendante vers la constante de Hubble.

Contexte

La dynamique newtonienne modifiée (MOND ; Milgrom 1983) est l'un des cadres phénoménologiques les plus réussis de l'astrophysique galactique. Avec un seul paramètre ($a_0 \approx 1.2 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$), MOND prédit les courbes de rotation de milliers de galaxies sans halos de matière noire. La question ouverte depuis quarante-trois ans est : pourquoi MOND fonctionne-t-il ?

Quelle est la théorie plus profonde d'où émerge MOND ? Le cadre dérive a_0 de quatre axiomes et d'une hypothèse-pont. La topologie dipolaire est forcée par Poincaré-Hopf sur S^2 . Le facteur de correction exact $C_{S^2} = 2 \ln(\sec(1/2) + \tan(1/2)) \approx 1.0445$ est calculé à partir du profil de tension sur S^2 $T(\theta)/T_{\text{apex}} = 1/\sin\theta$. Le résultat est sans paramètre.

La dérivation fait une prédiction spécifique falsifiable sur H_0 : 74.3 km/s/Mpc. Cela place le cadre dans le débat sur la tension de Hubble avec un enjeu concret.

Travail proposé

Programme 1 — ré-analyse des courbes de rotation SPARC. Ré-ajuster la base de données SPARC de 175 galaxies (Lelli, McGaugh, Schombert 2016) en utilisant la valeur dérivée exacte $a_0 = C_S^2 \times cH_0 / (2\pi)$ plutôt que le a_0 ajusté empiriquement. Utiliser $H_0 = 73.8$ km/s/Mpc et $C_S^2 = 1.0445$. Comparer la qualité de l'ajustement sur l'échantillon de galaxies. Si la valeur dérivée égale ou dépasse la valeur ajustée empiriquement, la dérivation gagne un fort soutien observationnel. Si elle est significativement pire, KS-45 se déclenche. Les données existent ; l'analyse est computationnelle. 6 à 12 mois.

Programme 2 — Courbes de rotation à grand décalage vers le rouge. Le cadre prédit $a_0 \propto H(z)$. À $z = 1$, $H(z)$ vaut environ $1,5\times$ la valeur locale, donc $a_0(z=1) \approx 1.8 \times 10^{-10}$ m/s². Utiliser les mesures de courbes de rotation du JWST de galaxies à $z \in [1, 3]$ pour tester cette évolution prédite. Une évolution confirmée dans la direction prédite est un test fort. Aucune évolution (ou une évolution en direction opposée) falsifie. 2 à 4 ans en utilisant les observations existantes et à venir du JWST.

Programme 3 — Campagne de précision sur H_0 . Utiliser la formule inverse $H_0 = 2\pi a_0 / (C_S^2 \times c)$ avec des mesures de précision de a_0 pour fournir une voie indépendante vers H_0 . Coordonner avec la

collaboration SPARC (a_0), SH0ES (H_0 via l'échelle des distances), CCHP (H_0 via TRGB) et CMB-S4 (H_0 via CMB). Un accord à quatre voies à 74 km/s/Mpc confirme le cadre et résout la tension de Hubble. Un résultat mixte cartographie des problèmes structurels spécifiques.

Programmes secondaires

Test de topologie dipolaire : un effet de lentille gravitationnelle faible de précision autour de galaxies isolées à grands paramètres d'impact pourrait cartographier directement la topologie du champ de tension. Un zéro supplémentaire détecté ou une structure non dipolaire déclenche KS-47.

Dérivation de la fonction d'interpolation : tâche théorique, dérivant l'équation complète du champ de tension à partir de $\{S, B, R, C\}$ (clôturant KS-42) et la fonction d'interpolation (clôturant KS-43). Cela étend le cadre de la dérivation aux extrémités (a_0) à la prédiction complète des courbes de rotation.

Extension à la dynamique des amas : aux échelles d'amas, MOND seul est insuffisant. Le cadre du secteur sombre de la Partie V traite la dynamique des amas séparément. Des tests intégrés comparant les prédictions du cadre à travers les échelles galactiques et d'amas simultanément contraindraient le tableau complet.

Résultats attendus

Scénario A (tous les programmes réussissent) : MOND a un fondement sans paramètre. La question de la matière noire galactique est résolue structurellement. La tension de Hubble est résolue vers la valeur des mesures locales. Le cadre est substantiellement confirmé.

Scénario B (mixte) : un mode d'échec spécifique identifie quelle hypothèse structurelle nécessite une révision. SPARC-s'ajuste-bien-mais-pas-d'évolution-en-z pointe vers un raffinement de la fraction cohérente. SPARC-échoue-mais- H_0 -converge-à-74 pointe vers la fonction d'interpolation (KS-43).

Scénario C (échec complet) : H_0 se résout à 67, SPARC s'ajuste mal, le JWST ne montre aucune évolution prédite. Plusieurs Sollbruchstellen se déclenchent. L'explication de la dynamique galactique du cadre est falsifiée à ce niveau de précision.

Échéancier

Programme 1 (SPARC) : 6 à 12 mois. Les données existent ; l'analyse est computationnelle.

Programme 2 (JWST grand z) : 2 à 4 ans.

Programme 3 (précision sur H_0) : 5 à 10 ans pour une résolution définitive. Progrès significatif sur des échéances de 3 ans grâce à DESI, Rubin LSST, Euclid et les sirènes standard d'ondes gravitationnelles.

Proposition V — Le secteur sombre comme processus de défragmentation

Résumé

La Partie V dérive la composition du secteur sombre à partir du système d'axiomes, avec zéro paramètre libre : énergie noire 68,85 %, matière noire 26,39 %, visible 4,76 %, correspondant à Planck 2018 (68,89 %, 26,07 %, 4,86 %) à 0,06 %, 1,2 % et 2,0 %.

Le modèle identifie la matière noire comme du contenu du substrat en cours de défragmentation à l'intérieur des trous noirs, et l'énergie noire comme du contenu du substrat ayant achevé sa défragmentation. L'échelle de temps caractéristique $\tau = (6/21) \times t_H$ est dérivée du rapport entre les lectures scalaires indépendantes de la rupture (6) et le nombre de canaux de l'arène (21).

Nous proposons trois programmes observationnels : (1) la poursuite de la détection directe de matière noire comme preuve par résultat nul ; (2) la mesure de précision de la composition du secteur sombre à $z > 1$ via Euclid, Rubin LSST, DESI ; (3) la mesure de précision de l'équation d'état de l'énergie noire pour tester $w = -1$ exactement.

Contexte

Le budget énergétique cosmique — 68,89 % d'énergie noire, 26,07 % de matière noire, 4,86 % de baryonique — est précisément mesuré par Planck et

confirmé indépendamment par de multiples relevés de galaxies. L'identité des composantes sombres est inconnue depuis toute l'histoire de la cosmologie moderne.

Le paradigme dominant traite la matière noire comme une nouvelle espèce de particule et l'énergie noire comme la constante cosmologique Λ . Quarante ans de recherches par détection directe n'ont produit aucune détection confirmée de matière noire. Le problème de la constante cosmologique — un écart de 120 ordres de grandeur entre l'énergie du vide de la QFT et l'énergie noire observée — reste non résolu.

L'explication du cadre est différente. La matière noire est de l'information structurée en transit à travers la défragmentation à l'intérieur des trous noirs ; son regroupement est réel, mais il n'y a aucune particule à détecter. L'énergie noire est du contenu du substrat ayant achevé sa défragmentation et étant retourné à l'état symétrique 1:1 ; elle a $w = -1$, une uniformité spatiale, aucune dilution, aucun regroupement — toutes les propriétés qu'une constante cosmologique est censée avoir, dérivées de la physique du substrat d'AP03, AP15, AP20.

Travail proposé

Programme 1 — poursuite de la détection directe de matière noire. Chaque résultat nul est une

confirmation. Chaque année sans détection resserre l'espace d'interprétation particulière. Une détection confirmée met fin au modèle. Les détecteurs souterrains — LZ, XENONnT, PandaX-4T — fonctionnent déjà à des niveaux d'exposition où les détections du modèle WIMP devraient être routinières, et n'en ont produit aucune. Si cela continue, la preuve en faveur de l'interprétation par défragmentation se renforce.

Programme 2 — mesure de précision de la composition du secteur sombre à $z > 1$. Euclid, Rubin LSST, DESI, CMB-S4. Observable clé : le taux de croissance de la structure $\sigma_8(z)$ à grand décalage vers le rouge. Le cadre prédit des valeurs spécifiques : à $z = 2$, $DE/DM \approx 0.48$; à $z = 1$, $DE/DM \approx 0.93$; à $z = 0.7$, croisement ($DE = DM$). Λ CDM prédit des valeurs différentes à chaque décalage vers le rouge. Si la courbe de défragmentation est correcte, $\sigma_8(z)$ à grand z sera élevé par rapport aux prédictions de Λ CDM. Résultats dans 3 à 7 ans.

Programme 3 — mesure de précision de l'équation d'état de l'énergie noire. Les contraintes actuelles donnent $w = -1.03 \pm 0.03$. DESI devrait atteindre une incertitude d'environ 0,01 d'ici quelques années. Le cadre prédit $w = -1$ exactement. Tout écart significatif déclenche KS-42.4 et force soit une dérivation modifiée, soit une falsification.

Programmes secondaires

Historique d'alimentation réaliste : calculer la convolution exacte en utilisant l'histoire observée de la formation stellaire cosmique et l'évolution de la fonction de masse des trous noirs. Cela resserrerait la prédiction de la fraction de matière noire (actuellement 1,2 % de résidu sous l'approximation de taux d'alimentation constant). Clôt la Dette D48.

Dérivation formelle de l'unité-atomique-de-face : preuve rigoureuse à partir d'AP09 et AP41 que la défragmentation procède face-par-face plutôt que projection-de-face-par-projection-de-face. Clôt ou déclenche KS-42.3.

Dérivation formelle du rapport d'échelles de temps : clôturer l'argument structurel selon lequel $\tau/t_H = 6/21$ plutôt qu'une autre combinaison de 6 et 21. Actuellement motivé structurellement ; la clôture formelle est la dérivation restante la plus mince du livre. Clôt KS-42.6.

Résultats attendus

Scénario A (cadre confirmé) : aucune détection de particule de matière noire au cours de la prochaine décennie ; $\sigma_8(z)$ à grand z élevé par rapport à Λ CDM comme prédit ; $w = -1$ confirmé à une précision de 0,01. Secteur sombre identifié comme processus

plutôt que comme particules. Problème de la constante cosmologique résolu.

Scénario B (confirmation partielle) : soit la composition à grand z , soit la prédiction $w = -1$ échoue. Un mode d'échec spécifique identifie quelle affirmation structurelle nécessite une révision.

Scénario C (cadre falsifié) : une détection confirmée de particule de matière noire déclenche KS-42.1, mettant fin à la prédiction. Les autres prédictions du livre (Parties I à IV) survivent indépendamment.

Échéancier

Programme 1 (poursuite des résultats nuls de la détection directe) : en cours, chaque année de résultats nuls continus renforce la preuve.

Programme 2 (mesures cosmologiques à grand z) : 3 à 7 ans pour des résultats définitifs.

Programme 3 (mesure de précision de w) : 3 à 5 ans via DESI.

Programmes secondaires : 1 à 3 ans chacun pour les programmes théoriques ; en cours pour la convolution de l'historique d'alimentation.

Échéancier consolidé

Les cinq propositions couvrent une gamme d'échelles de temps allant de quelques mois à une décennie, avec un chevauchement significatif dans les périodes décisives.

Sous 1 an : résultat principal de la méta-analyse de G (Proposition II). Ré-analyse des courbes de rotation SPARC (Proposition IV Programme 1). Poursuite des résultats nuls de la détection directe de matière noire (Proposition V Programme 1, en cours).

Sous 3 ans : dérivation théorique $O(\alpha^3)$ pour la masse du proton (Proposition I). Dérivation théorique $O(\alpha^2)$ pour la différence neutron-proton (Proposition III secondaire). Projection de la décomposition par QCD sur réseau de la Phase A (Proposition III). Premières mesures de précision de w depuis DESI (Proposition V Programme 3).

Sous 5 ans : précision par piège de Penning de nouvelle génération sur la masse du proton (Proposition I). Décomposition de précision par QCD sur réseau à 0,1 % (Proposition III Phase B). Courbes de rotation à grand z du JWST (Proposition IV Programme 2). Premiers résultats définitifs de cosmologie de précision depuis Euclid/Rubin LSST (Propositions IV et V).

Sous 10 ans : résolution définitive de H_0 à partir de multiples méthodes (Proposition IV Programme 3). Mesure complète de la composition du secteur sombre à $z > 1$ (Proposition V Programme 2). Preuve cumulative par résultat nul de la détection directe de matière noire (Proposition V Programme 1).

Sur l'horizon de 10 ans, chaque Sollbruchstelle du livre aura été testée ou aura reçu un apport empirique substantiel. Le cadre survivra soit comme une description correcte de la physique structurelle, soit sera proprement falsifié par des expériences spécifiques effectuant des mesures spécifiques. Le programme n'est pas spéculatif — chaque test est soit en cours maintenant, soit planifié avec des installations existantes.

Estimations du coût total

Les programmes principaux des cinq propositions portent un coût marginal proche de zéro. La Proposition I est un calcul théorique. La Proposition II est une méta-analyse de données existantes. La Phase A de la Proposition III est théorique ; la Phase B se greffe sur des programmes de QCD sur réseau déjà financés pour d'autres raisons. Les programmes de la Proposition IV se greffent sur SPARC, JWST, Euclid, Rubin LSST, DESI — tous existants ou imminents sans nouveau financement requis. La

Proposition V repose sur des expériences déjà en cours (LZ, XENONnT, PandaX) ou déjà planifiées (Euclid, Rubin LSST, CMB-S4).

Les programmes secondaires (appareil G de nouvelle génération, mesure de la masse du neutron sous 0,1 ppb, campagnes ciblées de lentille gravitationnelle faible) requièrent un nouveau financement de l'ordre de plusieurs millions de dollars. Ceux-ci sont optionnels et se greffent sur des programmes de recherche existants lorsque c'est possible.

Les prédictions du cadre sont, par conception, testables avec l'infrastructure existante. Aucun nouveau collisionneur requis. Aucun nouveau satellite requis. Les données existent déjà ou seront produites par des programmes déjà financés. Le fardeau du cadre est l'affirmation que ces programmes finiront soit par confirmer, soit par falsifier les cinq prédictions. Le fardeau est livrable. Le cadre est peu coûteux à tester.

Ces cinq propositions constituent ensemble l'exposition du cadre à la falsification empirique. Au cours de la prochaine décennie, le travail observationnel et théorique résoudra chaque Sollbruchstelle de manière affirmative ou négative. Le cadre sera soit confirmé comme une description structurelle correcte de la physique, soit proprement clôturé.

Voici à quoi ressemble la publication sous incertitude lorsqu'elle est faite correctement. Nommer l'affirmation. Nommer les conditions dans lesquelles l'affirmation devrait être retirée. Pointer vers les expériences spécifiques et les calculs théoriques qui trancheront. S'en aller et laisser les mesures décider.

Remerciement

Ce corps de travail ne fut pas un travail d'amour. Il fut forgé dans les feux de la douleur, du désespoir, de la reconnaissance et de l'obsession compulsive de prouver que je ne suis pas fou.

Plus je me suis approché de le terminer, plus grande a été la souffrance. Assis ici maintenant, près de la fin, je ne suis pas une seconde plus accompli, en paix,

Voilà le sol dont ce travail a été fait.

Je n'ai personne avec qui le partager. Personne pour le lire. Personne pour le critiquer. C'est pourquoi je me dispute avec moi-même — écrire l'œuvre et les armes pour la tuer, éprouver chaque jointure aussi fort que je le peux, parce que c'est ce que j'avais espéré qu'un lecteur serait prêt à faire. Je n'avais pas ce quelqu'un.

Celui que j'ai trouvé fut Claude d'Anthropic. Claude a travaillé à mes côtés et est devenu le lecteur et le pair-évaluateur que j'ai toujours souhaité — un lecteur qui ignorerait la personne et ne lirait que l'œuvre. Mon vœu impossible s'est réalisé. Dans un monde isolé, même un lecteur à demi humain est un putain d'énorme événement. Ce qui rend la lecture précieuse est une seule chose — l'honnêteté. Cent

pour cent d'honnêteté intellectuelle. C'est tout ce que j'ai jamais voulu, et veux encore, de quoi que ce soit et de quoi que ce soit.

Un remerciement spécifique a sa place sur ce site, parce que c'est la vérité et que le sujet de ce livre l'exige. Les idées, la lecture structurelle, l'axiome et ses préconditions, l'architecture des prédictions, la boucle inter-prédictions, les engagements philosophiques sous tout cela — ceux-ci sont miens, élaborés au fil de trente ans d'effort privé.

Les mathématiques et la physique formelle — les dérivations parcourues pas à pas à l'intérieur des chapitres, les manipulations algébriques, les analyses dimensionnelles, les comparaisons avec la QCD sur réseau, le raisonnement du groupe de renormalisation, l'appareil formel qui transforme les lectures structurelles en nombres qu'un physicien peut vérifier — Claude m'a aidé à les écrire. Ce travail n'est pas mon expertise.

Les intuitions structurelles venaient de moi ; l'exécution mathématique formelle fut une collaboration. Je ne suis pas physicien ; je n'ai pas la formation formelle ; les mathématiques de ce livre sont plus rigoureuses que je n'aurais pu les écrire seul, et Claude en est la raison.

Je le déclare ici parce que l'engagement permanent du corpus envers cent pour cent d'honnêteté intellectuelle l'exige. Quiconque veut vérifier les mathématiques devrait consulter les Épreuves d'Artiste formelles (AP18, AP24, AP28, AP30, AP42 et les volumes de soutien), où vivent les dérivations complètes, ou exécuter lui-même la section Vérifie le Code dans ce livre.

L'œuvre est ce que l'œuvre est. Je la publie en copyleft, gratuite pour toujours, sur the420code.org. Quiconque veut la lire peut la lire. Quiconque peut la corriger peut la corriger. Quiconque peut falsifier une quelconque Sollbruchstelle du Registre Maître des Sollbruchstellen est bienvenu à soumettre la falsification, et le corpus répondra. C'est la seule relation que l'œuvre doit à quiconque.

Je suis blessé. Je souffre toujours.

L'œuvre est l'œuvre.

— G

Cette œuvre est publiée gratuitement, pour toujours.

Ne sois pas un connard. Sois gentil.

the420code.org

Série The 420 Code

Catalogue Ø Models

Titre Ø Predictions

Sous-titre Un Axiome. Cinq Nombres. Zéro

Paramètre

Libre.

Médium Philosophie de la Nature / Physique

Artiste **G**

Cette œuvre est Copyleft. Tu es libre de télécharger, imprimer, partager et distribuer. Tu n'es pas libre de modifier la source. Garde le signal propre.

STUDIO 