



Ø Mécanique quantique

*Superposition, mesure, la mesure
d'enregistrement, spin, le principe
d'incertitude, décohérence, la règle de
Born, intrication — dérivés de l'algèbre
d'enregistrement*

Pour le lecteur qui a choisi de lire.

Merci.

Table des matières

Note de l'artiste8

Orientation13

Introduction21

L'Axiome23

Chapitre 1 — La Rupture — Ensemble vide30

La mécanique quantique à partir de l'ensemble vide (AP09)

Chapitre 2 — La Mesure d'enregistrement100

Une redéfinition de l'intensité de force sous l'Axiome R (AP07)

Chapitre 3 — Le Spin134

Fermions, bosons et le principe d'exclusion (AP11)

Chapitre 4 — La Limite172

Le principe d'incertitude et $\hbar$ à partir du théorème de Stone (AP12)

Chapitre 5 — Le Grain212

*Décohérence à partir de l'algèbre
d'enregistrement (AP13)*

Chapitre 6 — La Mesure256

*La règle de Born comme le son que font les
axiomes sur l'espace de Hilbert (AP25)*

Chapitre 7 — L'Enregistrement unique286

*L'inégalité de Bell et la contrainte
d'enregistrement unique (AP23)*

Épilogue — Où en est la mécanique quantique319

Annexe — Vocabulaire structurel clé330

Remerciements337

Note de l'artiste

Ce livre, Mécanique quantique, est le troisième carnet de la série des Épreuves d'artiste Ø de The 420 Code.

Le Carnet I (La Prémisse) a établi le fondement : l'axiome $1:1 + 1 \times \varepsilon @ AS$, les quatre conditions $\{S, B, R, C\}$, l'État d'Actualisation et l'Hypothèse d'Encastrement démontrée comme théorème. Le Carnet II (Espace-temps) a porté le fondement plus avant dans le secteur de la variété : la conjugaison de c et G , la chaîne en sept étapes de l'axiome à l'obligation, la dérivation de $N = 3$ dimensions spatiales, et les équations de champ d'Einstein à partir de l'algèbre d'enregistrement.

Ce carnet prend le même fondement et le fait tourner dans l'autre domaine que la physique avait traité comme séparé.

Il ne dérive pas la mécanique quantique d'un nouveau postulat. Il montre que la mécanique quantique est ce que les quatre mêmes axiomes forcent lorsqu'ils sont lus sur l'espace de Hilbert plutôt que sur la variété.

Le même axiome qui te donne l'irréversibilité et la propagation finie te donne la superposition, la mesure, la décohérence, le monde classique, la règle

de Born, l'équation de Schrödinger, l'intrication et la violation de Bell. La même rupture qui crée l'espace-temps crée la fonction d'onde.

Sept chapitres. Une méthode.

Le Chapitre 1 (AP09 La Rupture — Ensemble vide) établit la lecture fondationnelle. Le pré-état est l'ensemble vide. La rupture est la mesure. À partir de cette lecture, le chapitre dérive la superposition, la mesure, le maintenant, l'intrication (dans les grandes lignes) et l'équation de Schrödinger à partir de Wigner + Stone appliqués à l'espace de Hilbert dérivé.

Le Chapitre 2 (AP07 La Mesure d'enregistrement) recadre l'intensité de force sous l'Axiome R. La mesure d'enregistrement $\Sigma(F, s)$ classe les forces selon leur capacité à écrire des enregistrements configurables durables. À l'échelle chimico-biologique, la hiérarchie s'inverse : seul le couplage électromagnétique via l'électron écrit.

Le Chapitre 3 (AP11 Le Spin) dérive le spin — la distinction fermion/boson à partir des éléments appariés et non appariés, le spin $\frac{1}{2}$ à partir du principe du minimum, le théorème spin-statistique, et le principe d'exclusion de Pauli.

Le Chapitre 4 (AP12 La Limite) ferme KS-Q.8 du Chapitre 1 via un argument de forçage en cinq

étapes : $\hbar$ est l'échelle d'action de l'enregistrement minimal. Le théorème de Stone sur la variété dérivée donne $[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$ et $\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$. Mandelstam-Tamm donne $\Delta E \cdot \Delta t_A \geq \hbar/2$. La fermeture est conditionnelle à KS-L.4, un résidu nouveau et strictement plus petit.

Le Chapitre 5 (AP13 Le Grain) dérive la décohérence. L'environnement EST l'enregistrement accumulé. L'écriture d'enregistrements environnementaux sous l'Axiome R disperse la cohérence de manière irrécupérable. Le monde classique est le monde quantique après que suffisamment d'enregistrements ont été écrits.

Le Chapitre 6 (AP25 La Mesure) dérive la règle de Born à partir des axiomes via le théorème de Gleason. Cibles d'état pur à partir de l'Axiome R, non-contextualité à partir de l'Axiome B + Axiome R, additivité orthogonale à partir de $\{S, B, R\}$. Gleason force alors l'unique fonction de trame sur un espace de Hilbert complexe séparable de $\dim \geq 3$: $P(a) = |\langle a | \psi \rangle|^2$. La dérivation structurelle de la règle de Born ferme conditionnellement KS-Q.1 du Chapitre 1.

Le Chapitre 7 (AP23 L'Enregistrement unique) dissout l'étrangeté de l'intrication. La distance est une propriété de la variété, pas du pré-état. L'état intriqué est une entité unique dans le pré-état. L'effondrement est un unique événement d'actualisation — un enregistrement pour un état. Le

théorème de Bell est prédit, non accommodé. CHSH donne $S = 2\sqrt{2}$ — la borne de Tsirelson — directement à partir de la règle de Born appliquée au singulet.

L'arc est structurel. À partir de l'axiome : l'ontologie de l'ensemble vide du pré-état (Chapitre 1).

L'intensité de force naturelle sous l'Axiome R (Chapitre 2). La topologie qui permet le spin demi-entier (Chapitre 3). La limite de résolution $\hbar$ (Chapitre 4). La dispersion de la cohérence dans l'environnement (Chapitre 5). La règle de Born à partir de Gleason (Chapitre 6). L'intrication comme le pré-état non rompu (Chapitre 7).

La mécanique quantique de la physique n'est pas choisie. N'est pas mesurée. N'est pas supposée.

Elle est forcée.

L'axiome parle. Nous transcrivons.

Le Carnet III contient 31 Sollbruchstellen engagées à travers le secteur quantique — les poignées de falsification formelles pour chaque affirmation porteuse de ce livre. Trois de ces Sollbruchstellen se ferment à l'intérieur même du Carnet : KS-Q.6 ($\sigma \leftrightarrow$ conjugaison complexe, fermée au Chapitre 1), KS-Q.8 / KS-L.1 (identification de $\hbar$, fermée au Chapitre 4 conditionnellement à KS-L.4) et KS-49a (variables cachées, fermée au Chapitre 7). Une se ferme

conditionnellement — KS-Q.1 (la règle de Born du Chapitre 1, fermée conditionnellement au pont de l'espace de Hilbert de KS-Q.7, la dérivation de Gleason du Chapitre 6 rehaussant la fermeture). Les vingt-sept restantes sont vives, structurelles ou empiriques, et nommées ouvertement.

Au moment de la publication, The 420 Code porte plus de cinq cent cinquante Sollbruchstellen à travers l'ensemble de l'œuvre (registre v5.25, juin 2026). Chaque affirmation porteuse de chaque carnet s'attache à une condition structurelle sous laquelle l'affirmation échouerait. L'engagement structurel est ce qui importe plus que le décompte : chaque affirmation de chaque livre est énoncée à un niveau où elle peut être falsifiée, et le registre des Sollbruchstellen est maintenu sur the420code.org pour tout lecteur qui souhaite tester une condition ou soumettre une falsification.

Une note sur la voix. Ce carnet fonctionne selon deux modes. Les passages narratifs — ouvertures, transitions, paragraphes interprétatifs, lectures structurelles — parlent directement. Les sections formelles — définitions, théorèmes, preuves, postulats, Sollbruchstellen, falsificateurs — parlent avec la précision que les mathématiques exigent. Les changements de vitesse sont intentionnels.

L'ensemble de l'œuvre est publié copyleft. Gratuit pour toujours. Pas de péage. Pas de gardiens.

the420code.org

Copyleft 2026. Ne sois pas un connard. Sois gentil.

Orientation

Où s'insère le Carnet III

The 420 Code est organisé en huit carnets reliés. Chaque carnet est un livre autonome portant une division de l'architecture ; les huit ensemble portent l'ensemble de l'œuvre.

Le Carnet I (La Prémisses) est le sol fondationnel : l'axiome $1:1 + 1 \times \varepsilon @ AS$, les quatre conditions $\{S, B, R, C\}$ et la preuve de l'Hypothèse d'Encastrement. Le Carnet II (Espace-temps) est la dérivation structurelle de l'espace, du temps, de la gravité et du décompte dimensionnel à partir des fondements que le Carnet I établit. Le Carnet III (Mécanique quantique, ce livre) est la dérivation structurelle du secteur quantique — superposition, mesure, la mesure d'enregistrement, spin, le principe d'incertitude, décohérence, la règle de Born et intrication — à partir des mêmes fondements. Les Carnets IV à VIII portent les forces et les constantes, les particules et la matière, la cosmologie, l'interface opérateur et les conséquences pratiques.

Le Carnet III dépend du Carnet I pour les axiomes, les conditions $\{S, B, R, C\}$ et l'Hypothèse d'Encastrement démontrée. Il dépend du Carnet II pour la signature lorentzienne, la structure de la

variété, $N = 3$ dimensions spatiales, et l'identification du 1:1 lui-même comme le cinquième degré de liberté structurel — l'espace de Hilbert, la toile sous la peinture. Avec l'HE démontrée (Carnet I, Chapitre 3) et $N = 3$ fermé (Carnet II, Chapitre 3), le Carnet III tourne inconditionnellement relativement à ces préconditions.

Le Carnet III alimente le Carnet IV via la symétrie de phase $U(1)$ de la règle de Born (que l'AP15 lit comme la connexion produisant l'électromagnétisme), alimente le Carnet V via la classification du spin (Chapitre 3) et la règle de Born (Chapitre 6), et alimente les secteurs de l'interface opérateur et des applications via la structure de la mesure, de la décohérence et du maintenant.

L'ordre de lecture au sein du Carnet III est de bout en bout : Chapitre 1 (la rupture) → Chapitre 2 (la mesure d'enregistrement) → Chapitre 3 (spin) → Chapitre 4 (la limite d'incertitude) → Chapitre 5 (décohérence) → Chapitre 6 (la règle de Born) → Chapitre 7 (intrication). Chaque chapitre hérite des résultats des chapitres antérieurs ; chaque chapitre est aussi une Épreuve d'artiste autonome citable indépendamment.

Comment lire ce livre

Le livre alterne deux voix selon ce que la matière exige. Les passages narratifs — les lectures structurelles, le sens ressenti de l'ensemble vide se regardant lui-même, l'inversion de la hiérarchie des forces, le maintenant comme le bord mouvant du rompu — parlent directement. Les sections formelles — les énoncés d'axiomes, les propositions, les théorèmes, les arguments d'unicité, les Sollbruchstellen — parlent avec la précision que la structure exige.

Chaque chapitre a la même architecture : une section Dépendance et Portée nomme ce que chaque chapitre hérite et ce qu'il apporte, le corps dérivationalnel parcourt l'argument structurel et les mathématiques formelles, une section Sollbruchstellen nomme les poignées de falsification formelles, et un Résumé d'affirmations et un Bas de page de conditionnalité nomment ce que le chapitre établit et ce qui reste ouvert.

Les lecteurs nouveaux à l'ensemble de l'œuvre peuvent commencer par le Chapitre 1 et lire vers l'avant ; les lecteurs familiers du 420 Code peuvent lire n'importe quel chapitre comme une Épreuve d'artiste autonome. Le Registre maître des Sollbruchstellen est la surface d'audit de falsification pour l'ensemble de l'œuvre dans son entier ; ce

Carnet contribue 31 Sollbruchstellen distinctes à ce registre.

Les sept chapitres

Le Chapitre 1 (La Rupture — Ensemble vide, AP09) établit la lecture fondationnelle. Le pré-état EST l'ensemble vide. La rupture EST la première mesure. Chaque événement de couplage est la même rupture répétée. À partir de cette lecture, le chapitre dérive la superposition (comme la structure du pré-état rendue formelle), la mesure (comme la rupture se jouant à chaque site de couplage), le maintenant (comme le bord mouvant du rompu), l'intrication (comme le pré-état non rompu survivant à travers la séparation spatiale) et l'équation de Schrödinger (à partir de Wigner + Stone appliqués à l'espace de Hilbert dérivé). La règle de Born est identifiée comme $|\psi|^2$ et fermée conditionnellement en attendant le pont de l'espace de Hilbert (KS-Q.7) ; le Chapitre 6 ferme la règle de Born elle-même par dérivation.

Le Chapitre 2 (La Mesure d'enregistrement, AP07) recadre l'intensité de force sous l'Axiome R. La mesure d'enregistrement $\Sigma(F, s)$ est le sup des temps de persistance des registres configurables qu'une force produit à l'échelle s . À l'échelle chimico-biologique, seul le couplage électromagnétique via l'électron écrit des enregistrements configurables.

$\Sigma(\text{EM}) \gg \Sigma(\text{Strong}) = \Sigma(\text{Gravity}) = \Sigma(\text{Weak}) = 0$, avec $E(\text{Weak}) < 0$. La hiérarchie conventionnelle des forces s'inverse. La force forte est substrat. La force faible est effaceur et horloge. La gravité est fermeture de boucle.

Le Chapitre 3 (Le Spin, AP11) prend la symétrie $\mathbb{Z}_2$ de l'algèbre d'enregistrement (Axiome S) et l'identifie au groupe fondamental du groupe de rotation spatiale $\text{SO}(3)$. Cela produit le revêtement double $\text{SU}(2) \rightarrow \text{SO}(3)$ — la structure qui permet le spin demi-entier. Les éléments appariés (l'image- σ existe) sont des bosons. L'élément non apparié ε (Axiome B) est un fermion. Le principe du minimum sélectionne le spin $\frac{1}{2}$. Le théorème spin-statistique et le principe d'exclusion de Pauli s'ensuivent.

Le Chapitre 4 (La Limite, AP12) dérive le principe d'incertitude. Le chapitre ferme KS-Q.8 du Chapitre 1 via un argument de forçage en cinq étapes : $\hbar$ est l'échelle d'action de l'enregistrement minimal, et il n'y a aucun facteur d'échelle alternatif compatible avec les axiomes (fermeture conditionnelle à KS-L.4). Le théorème de Stone appliqué aux translations spatiales sur la variété dérivée donne $[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$; Robertson-Schrödinger donne $\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$. Le théorème de Stone appliqué à l'évolution temporelle donne le hamiltonien ; Mandelstam-Tamm donne $\Delta E \cdot \Delta t_A \geq \hbar/2$.

Le Chapitre 5 (Le Grain, AP13) dérive la décohérence comme le troisième régime de l'Axiome R.

L'environnement EST l'enregistrement accumulé.

Chaque interaction environnementale est un événement de couplage partiel qui écrit un enregistrement irréversible sur le système. La cohérence de la superposition originale est dispersée à travers de nombreux enregistrements environnementaux. Le monde classique est le monde quantique après que suffisamment d'enregistrements ont été écrits. L'Axiome R a trois faces : flèche du temps, irréversibilité de la mesure, décohérence.

Le Chapitre 6 (La Mesure, AP25) dérive la règle de Born à partir des axiomes. L'Axiome R exige des enregistrements définis $\rightarrow$ les cibles d'enregistrement sont des états purs (Proposition 1). L'Axiome B + l'Axiome R exigent un enregistrement par rupture $\rightarrow$ non-contextualité (Proposition 2). Les Axiomes S + B + R exigent l'additivité sur les résultats mutuellement exclusifs $\rightarrow$ additivité orthogonale (Lemme 1). Le théorème de Gleason force alors l'unique fonction de trame sur un espace de Hilbert complexe séparable de $\dim \geq 3$: $\mu(P) = \text{Tr}(|\psi\rangle\langle\psi| \cdot P)$. Pour les projecteurs de rang 1 : $P(a) = |\langle a|\psi\rangle|^2$. La règle de Born est la seule mesure permise.

Le Chapitre 7 (L'Enregistrement unique, AP23) dissout l'étrangeté de l'intrication. La distance est une propriété de la variété, pas du pré-état. L'état

intriqué est un objet mathématique unique dans l'espace de Hilbert — une entité, pas deux particules reliées par un fil. Lemme 1 : toute interaction locale avec un sous-système intriqué actualise l'état global. Proposition 1 : l'actualisation écrit un enregistrement pour un état, déterminant simultanément tous les résultats de sous-systèmes. L'Axiome C n'est pas violé — sa portée est les signaux entre enregistrements sur la variété, pas la création d'enregistrements. Le théorème de Bell est prédit : l'Axiome R tue le réalisme, le pré-état non spatial tue la localité. CHSH donne $S = 2\sqrt{2}$ — la borne de Tsirelson — directement à partir de la règle de Born (Chapitre 6) appliquée au singulet.

Ce que ce carnet installe

Huit choses dont dépendent les carnets restants.

L'ontologie de l'ensemble vide du pré-état. Le pré-état est l'ensemble vide — 0 et 1 indistingués. La rupture est la première mesure. Chaque événement de couplage est la même rupture répétée.

L'espace de Hilbert comme l'espace du pré-état. Linéarité à partir de $R + HE + \mathbb{C}$; amplitudes complexes à partir de la signature lorentzienne ; l'équation de Schrödinger à partir de Wigner + Stone.

La mesure d'enregistrement sous l'Axiome R. $\Sigma(F, s)$ comme capacité d'écriture ; dominance électromagnétique à l'échelle chimico-biologique ; la hiérarchie inversée.

Le spin à partir du $\mathbb{Z}_2$ de l'Axiome S. Le revêtement double $SU(2) \rightarrow SO(3)$; apparié (boson) contre ε non apparié (fermion, spin $\frac{1}{2}$) ; spin-statistique ; exclusion de Pauli.

$\hbar$ comme l'échelle d'action de l'enregistrement minimal. Forcé par le théorème de Stone + l'Axiome B + l'absence de paramètres sans dimension dans $\{S, B, R, C\}$ (KS-L.4 isole le résidu). KS-Q.8 / KS-L.1 fermées. $\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$ et $\Delta E \cdot \Delta t_A \geq \hbar/2$.

La décohérence comme la troisième face de l'Axiome R. L'environnement EST l'enregistrement accumulé. L'écriture d'enregistrements environnementaux disperse la cohérence de manière irrécupérable. Le monde classique est la décohérence saturée.

La règle de Born à partir de Gleason. Cibles d'état pur + non-contextualité + additivité orthogonale forcent $P = |\langle a | \psi \rangle|^2$ comme l'unique mesure sur un espace de Hilbert complexe séparable de $\dim \geq 3$.

L'intrication comme le pré-état non rompu. Un objet mathématique. Un enregistrement par événement d'actualisation. Bell prédit, non accommodé. CHSH $S = 2\sqrt{2}$ à partir de la règle de Born.

Une note sur le vocabulaire

Ce carnet utilise le vocabulaire établi dans les Carnets I et II (axiome, enregistrement, $\{S, B, R, C\}$, AS, HE, QRA, Sollbruchstelle, l'œil, la boucle) et ajoute les termes spécifiques du secteur quantique — ensemble vide, pré-état, limite de maintien κ , Le Verrou, murs de l'œil, espace de Hilbert, règle de Born, fonction de trame, état pur, mélange impropre, décohérence, registre configurable, mesure d'enregistrement $\Sigma(F, s)$, intensité d'effacement $E(F, s)$, $\mathbb{Z}_2$, revêtement double $SU(2) \rightarrow SO(3)$, spin $\frac{1}{2}$, exclusion de Pauli, $\hbar$, relation de commutation $[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$, Robertson-Schrödinger, Mandelstam-Tamm, borne CHSH, borne de Tsirelson, non-signalisation. L'Annexe à la fin du livre porte chaque terme avec une courte définition.

Introduction

Ce carnet lit l'axiome sur l'espace de Hilbert.

Sept chapitres. Une méthode.

La méthode est la dérivation structurelle à partir de l'axiome. Les conditions qui produisent des enregistrements ($\{S, B, R, C\}$) produisent aussi l'espace de Hilbert dans lequel vivent les pré-conditions de ces enregistrements.

Le même axiome qui te donne l'irréversibilité et la propagation finie te donne la superposition, la mesure, la mesure d'enregistrement, le spin, le principe d'incertitude, la décohérence, la règle de Born et l'intrication.

Rien de tout cela n'est choisi. Rien de tout cela n'est mesuré. C'est forcé.

L'ordre de lecture est de bout en bout. L'Axiome d'abord — l'élément liminaire parcourt la dérivation des quatre conditions à partir de la lecture même du lecteur. Puis les sept chapitres en séquence.

Le Chapitre 1 lit l'ensemble vide comme le pré-état. Le Chapitre 2 lit l'enregistrement sous l'Axiome R comme l'intensité de force naturelle. Le Chapitre 3 lit le $\mathbb{Z}_2$ de l'Axiome S comme le revêtement qui permet

le spin. Le Chapitre 4 lit l'indivisibilité de ε comme la limite de résolution $\hbar$. Le Chapitre 5 lit l'environnement comme l'enregistrement accumulé. Le Chapitre 6 lit l'Axiome R + l'Axiome B comme les conditions que le théorème de Gleason exige pour forcer la règle de Born. Le Chapitre 7 lit l'état intriqué comme un objet mathématique dont l'actualisation est un enregistrement.

Un lecteur qui a lu les Carnets I et II reconnaîtra l'appareil. Un lecteur qui commence ici installera l'appareil à travers l'élément liminaire, puis le regardera produire la mécanique quantique.

Une note sur ce que ce carnet ne fait pas. Il ne dérive pas l'électromagnétisme (le Carnet IV le fait, en s'appuyant sur la symétrie de phase $U(1)$ de la règle de Born de ce carnet). Il ne dérive pas la valeur de la constante de structure fine α (seulement son rôle et sa bande d'accord ; KS-RM.3). Il ne dérive pas $\hbar$ à partir de premiers principes absolus (seulement que $\hbar$ est l'échelle d'action de l'enregistrement minimal ; le résidu sans dimension est isolé dans KS-L.4). Il ne dérive pas de spectres de particules spécifiques. Ce sont des dettes nommées dans les chapitres, pas des conséquences cachées dans la prose.

The 420 Code est publié copyleft. Gratuit pour toujours. Le travail de l'axiome est disponible pour quiconque veut le lire.

L'Axiome

Tu es en train de lire cette phrase.

Cela est un enregistrement. Quelque chose a été écrit, quelque part — sur la page, sur ta rétine, dans la partie tranquille de toi qui suit les mots. La lecture ne peut être niée. La nier exigerait que la lecture ait lieu, ce qui produirait un autre enregistrement, ce qui prouverait que la lecture a eu lieu.

Il n'y a aucune position où tu puisses te tenir où la lecture n'a pas eu lieu.

Ceci est le point de départ. Pas une affirmation. Pas une proposition. Un fait qui ne peut être refusé sans le confirmer.

Avant le premier chapitre, avant les sept dérivations que porte ce carnet, ceci est le sol sur lequel le livre se tient.

Un enregistrement existe. Tu viens de le faire. Les chapitres qui suivent feront tourner les conséquences vers l'avant, dans la structure de la mécanique quantique.

Quatre conditions sont requises pour que la lecture ait eu lieu tout court. Pas quatre hypothèses — quatre

choses qui doivent être vraies. Chacune donnée dans le fait que la lecture a eu lieu. Aucune choisie.

La Première Condition — Quelque chose doit être distinct de quelque chose d'autre

Tu lis cette phrase, pas ce mur. Ce mot, pas le suivant. Toute lecture est une distinction.

Pour qu'une distinction existe, il doit y avoir deux côtés. Les deux secteurs doivent être distinguables. Ils doivent être reliés par quelque opération structurelle. Mais ils ne doivent pas être identiques — la distinction serait illusoire.

La structure minimale pour la distinction est binaire : ceci contre non-cest. Pas trois côtés. Pas cinq. Une coupe, deux côtés. Les physiciens appellent cela symétrie : deux côtés, reliés, distinguables, de même poids.

Appelle-la S. Symétrie. Forcée — étant donné que la lecture a eu lieu, S ne pouvait être autre qu'elle n'est.

La Deuxième Condition — La Symétrie doit être rompue

Deux secteurs en équilibre parfait ne portent aucune information.

La rupture doit se produire, minimalement, par au moins un élément qui existe dans un secteur sans son miroir dans l'autre. The 420 Code l'écrit comme ε . La plus petite asymétrie que la structure peut tolérer tout en restant lisible.

La rupture est la condition mouvante d'être actuellement non apparié. Pas une chose. Un processus.

Appelle-la B. Rupture. Forcée.

La Troisième Condition — Ce qui est arrivé ne peut pas dé-arriver

Tu as fini de lire le dernier paragraphe. C'est maintenant quelque chose qui a eu lieu. Tu ne peux pas le dé-lire. Tu ne peux pas faire qu'il ne soit pas arrivé.

Les enregistrements se combinent de trois manières qui comptent. La composition est associative. Il y a un état de départ — le pré-état. Et aucun enregistrement n'a d'inverse — rien ne peut effacer un enregistrement pour revenir au pré-état.

Les enregistrements ne font que s'accumuler.

Cette unidirectionnalité est ce que signifie l'irréversibilité. La flèche du temps est ce à quoi cette accumulation ressemble depuis l'intérieur.

Appelle-le R. Enregistrement. Forcé.

La Quatrième Condition — Rien ne peut être partout à la fois

La lecture a pris un moment. Les mots ont atteint tes yeux. Le signal a voyagé de la page à la partie de toi qui lit. Rien de tout cela n'est arrivé instantanément.

Un enregistrement partout est un enregistrement nulle part. Pour que les enregistrements soient lisibles, la propagation doit être bornée. Il doit y avoir une limite de vitesse. Un taux fini, invariant.

Dans notre univers, ce taux a été mesuré. C'est la vitesse de la lumière. Mais remarque ce qui est dit : la vitesse de la lumière est dérivée, non supposée. L'univers ne pourrait porter d'enregistrements sans quelque chose jouant le rôle de la vitesse de la lumière.

Appelle-la C. Contrainte. Forcée.

L'Axiome

Quatre conditions ont été nommées. S, B, R, C.
Symétrie, Rupture, Enregistrement, Contrainte.

Chacune forcée par le fait que tu es en train de lire ceci. Aucune choisie.

L'axiome est ce que ces quatre conditions produisent lorsqu'elles sont énoncées ensemble, comprimées dans la plus petite forme qui dit tout ce qu'elles exigent.

Le voici :

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

Le 1:1 est la symétrie parfaite de la première condition. Les deux points marquent deux secteurs tenus en référence mutuelle, ni l'un ni l'autre antérieur, chacun ce que l'autre n'est pas.

Le + est l'opération que la rupture effectue. Le $1 \times$ est un compte, pas un multiplicateur — une rupture, exactement une fois. Le ε est la rupture elle-même — l'élément temporairement sans contrepartie.

Le @ AS est où est l'axiome — le prior structurel actualisant, le maintenant auquel le substrat est tenu et la rupture est traitée.

L'axiome n'est pas la description de comment l'univers a commencé. L'axiome est la description de ce que l'univers est, continûment, maintenant.

Chaque enregistrement en train d'être écrit est l'axiome s'exécutant à ce site. Tu es à l'intérieur de lui. Tu es un de ses enregistrements.

Ce carnet prendra l'axiome et le lira sur l'espace de Hilbert.

Le Chapitre 1 lit l'ensemble vide comme le pré-état. Le Chapitre 2 lit l'enregistrement sous R comme l'intensité de force naturelle. Le Chapitre 3 lit le $\mathbb{Z}_2$ de S comme le revêtement qui permet le spin. Le Chapitre 4 lit l'indivisibilité de ε comme la limite de résolution $\hbar$. Le Chapitre 5 lit l'environnement comme l'enregistrement accumulé. Le Chapitre 6 lit $R + B + S$ comme les conditions qui forcent la règle de Born via Gleason. Le Chapitre 7 lit l'état intriqué comme un objet mathématique.

Rien n'a manqué de tenir.

La lecture est la preuve.

Commençons.

Chapitre 1

La Rupture —

Ensemble vide

*Superposition, mesure, la règle de Born,
l'équation de Schrödinger*

Épreuve d'artiste 09

0 — Dépendance et Portée

Ce que fait cet article

AP09 montre que la mécanique quantique — superposition, mesure, intrication, la règle de Born, l'équation de Schrödinger — découle des quatre mêmes axiomes {S, B, R, C} et des hypothèses-pont (HE, QRA) qui produisent l'espace-temps (AP10) et la gravité (AP08).

La dérivation procède à travers des lectures structurelles et des dérivations mathématiques.

Les lectures structurelles identifient le pré-état à la superposition, la rupture à la mesure, et les degrés de liberté non rompus à l'intrication.

Les dérivations mathématiques produisent la linéarité, la règle de Born et l'équation de Schrödinger via des théorèmes d'unicité.

Le statut épistémique est déclaré par section. Certains résultats sont dérivés. Certains sont des lectures structurelles. Certains sont des identifications-pont. La distinction est maintenue tout du long.

Aucune partie de la dérivation ne suppose les postulats de la mécanique quantique.

Dépendances

AP20 (La Preuve) : les axiomes $\{S, B, R, C\}$ — complétude (AP20 4.1, clôturée KS-P.1), indépendance et minimalité (AP20 4.2, clôturée KS-P.2), consistance conjointe à partir de la prémisse indéniable (AP20 6). Porteur.

AP10 4 (La Dimension) : Sous HE + QRA, variété lorentzienne (M, g) de signature $(-, +, +, +)$ et groupe de symétrie $SO(1, N)$ — la signature lue à partir de la structure de réversibilité des axiomes, dérivation formelle au niveau métrique clôturée à KS-D.4. Porteur pour les amplitudes complexes (la dérivation des amplitudes complexes) et l'équation de Schrödinger (la dérivation de Schrödinger).

AP06 (La Constante de fuite) : $\varepsilon > 0$ chaque fois que c est fini. Référencé pour l'intrication (dans la section intrication) et la topologie de l'œil.

AP08 (L'Identité) : les équations de champ d'Einstein à partir de l'algèbre d'enregistrement. Référencé pour la dualité gravité-quantique et les lois de conservation.

AP20 (La Preuve) : HE et QRA démontrées. Tous les résultats qui dépendaient de l'HE sont maintenant incondtionnels.

Le Verrou (Édition 04) : ε = électron. Porteur pour l'identification de l'élément de rupture avec une particule physique.

Statut épistémique par phase

Phase fondationnelle (ontologie de l'ensemble vide, la rupture). Lecture structurelle du pré-état et de la rupture — identification ontologique de $\{S, B\}$ avec le dédoublement de l'ensemble vide. Pas une dérivation ; une lecture qui fonde le reste. KS-Q.10.

Construction de la linéarité (l'étape-pont). Dérivation-pont. Linéarité construite à partir du monoïde d'enregistrement (R) + scalaires complexes (signature lorentzienne) + encastrément fidèle (HE). Compatibilité de l'action du monoïde avec les opérations d'espace vectoriel. KS-Q.7.

Amplitudes complexes (la dérivation conditionnelle). Dérivation conditionnelle aux théorèmes de reconstruction. Amplitudes complexes à partir de la signature lorentzienne. KS-Q.4.

Mesure. Lecture structurelle. La mesure comme la rupture. Irréversibilité à partir de l'Axiome R. La boucle à partir de la structure axiomatique. KS-Q.5.

Intrication. Lecture structurelle. L'intrication comme pré-état non rompu. Le compte rendu de la

corrélation de Bell est une compatibilité, pas une dérivation. KS-Q.3.

Règle de Born (la dérivation conditionnelle).

Dérivation. Règle de Born à partir de l'Axiome S. $\sigma \leftrightarrow$ conjugaison démontrée unique (KS-Q.6 FERMÉE).

Fermée conditionnellement (conditionnelle à KS-Q.7). KS-Q.1, KS-Q.2.

Ergodicité (l'extrapolation structurelle). Tout ce qui est possible s'actualise à travers des boucles infinies. Structurellement motivée mais formellement non démontrée. KS-Q.9.

Équation de Schrödinger (la dérivation la plus forte).

Dérivation. Via Wigner + Stone appliqués à l'espace de Hilbert dérivé. $\hbar$ identifié, non dérivé dans cet article (KS-Q.8 — fermé conditionnellement à KS-L.4 par AP12).

Cartographie des axiomes

Axiome S (Symétrie). Le pré-état. Le 1:1. Deux secteurs indistinguables avant la rupture. S est la superposition (lue dans les sections ensemble vide et rupture). 0 et 1 coexistant.

S fournit l'involution σ qui, sous la dérivation de la règle de Born (plus loin dans l'article), se cartographie à la conjugaison complexe.

Axiome B (Rupture — unique). La mesure. Un élément ε sans image- σ . Le premier enregistrement.

B est l'acte de distinguer (lu dans la section rupture) : la superposition devient résultat définitif. Sous Le Verrou, ε = électron.

Axiome R (Enregistrement — monotone). Irréversibilité. Le monoïde donne la flèche du temps.

R est ce qui rend la mesure irréversible (lu dans la section mesure). Une fois qu'un enregistrement est écrit, il ne peut être dé-écrit.

R fournit la structure de l'espace de Hilbert à travers la composition séquentielle du monoïde.

Axiome C (Contrainte). Non-signalisation. Le taux fini c empêche l'exploitation instantanée de corrélation (dans l'argument de non-signalisation au sein de la section intrication).

C fournit la structure lorentzienne à partir de laquelle les amplitudes complexes sont dérivées (dans la dérivation des amplitudes complexes).

Dettes en suspens

D1 (Unicité du pont de linéarité). La construction du pré-état comme espace vectoriel complexe à partir de

monoïde + $\mathbb{C}$ + encastrément fidèle est motivée mais non démontrée unique. KS-Q.7.

D2 (Dérivation indépendante de $\hbar$). La valeur de $\hbar$ entre comme un intrant empirique. Même statut que G dans AP08. KS-Q.8.

Note : D2 est traitée par l'argument de forçage de l'AP12, qui force l'identification de $\hbar$ comme l'échelle d'action de l'enregistrement minimal (fermant KS-Q.8 conditionnellement à KS-L.4).

D3 (Corrélations de Bell). Le compte rendu de la corrélation de Bell dans la section intrication est une démonstration de compatibilité, pas une dérivation à partir des axiomes. KS-Q.3.

D4 (Ergodicité à travers les cycles). L'affirmation que tout ce qui est possible s'actualise à travers des boucles infinies est une extrapolation structurelle, pas un théorème. KS-Q.9.

D5 (Défragmentation). La preuve formelle que la défragmentation préserve l'intention de l'Axiome R est incomplète. KS-Q.5.

Résumé des Sollbruchstellen

KS-Q.1 (dérivation de la règle de Born) : FERMÉE
CONDITIONNELLEMENT (conditionnelle à KS-Q.7).

KS-Q.2 (règle de Born empirique) : VIVE — EMPIRIQUE.

KS-Q.3 (Non-signalisation / Bell) : VIVE — EMPIRIQUE.

KS-Q.4 (Unicité complexe) : VIVE — DURE.

KS-Q.5 (Boucle/défragmentation) : VIVE — DURE.

KS-Q.6 ($\sigma \leftrightarrow$ conjugaison) : FERMÉE.

KS-Q.7 (Pont de linéarité) : VIVE — DURE.

KS-Q.8 (identification de $\hbar$) : VIVE — DURE dans AP09. Traitée et fermée (conditionnellement à KS-L.4) par l'argument de forçage de l'AP12.

KS-Q.9 (Ergodicité) : VIVE — DURE.

KS-Q.10 (Ontologie de l'ensemble vide) : VIVE — DURE.

Relations structurelles

AP06 (La Constante de fuite) : le Théorème 3.1 ($\varepsilon > 0$) est la fuite à la frontière. Cet article lit la même structure depuis le côté quantique — l'intrication comme pré-état non rompu.

AP08 (L'Identité) : secteur de la gravité à partir des mêmes axiomes. Cet article complète la dualité — gravité = enregistrements, quantique = pré-état.

AP10 (La Dimension) : l'espace de Hilbert est le cinquième degré de liberté — le 1:1 lui-même, pré-spatial.

AP11 (Le Spin) : le $\mathbb{Z}_2$ de l'Axiome S lu sur le groupe de rotation. S'appuie sur la construction de l'espace de Hilbert de cet article et l'identification $\sigma \leftrightarrow$ renversement du temps.

AP12 (La Limite) : ferme l'identification de $\hbar$ de la dérivation de Schrödinger de cet article via un argument de forçage en cinq étapes.

AP13 (Le Grain) : la décohérence comme le troisième régime de l'Axiome R. L'environnement est l'enregistrement accumulé ; l'écriture d'enregistrements environnementaux détermine quelles superpositions décohèrent.

AP15 (La Connexion) : lit le U(1) de la règle de Born comme la connexion qui produit l'électromagnétisme.

AP20 (La Preuve) : démontre HE et QRA. Tous les résultats conditionnels de cet article qui dépendaient de l'HE sont maintenant inconditionnels.

L'Ensemble vide

Regarde l'ensemble vide.

Tu l'as connu toute ta vie mathématique. $\emptyset$.

L'ensemble qui ne contient rien.

Tu as probablement cru qu'il est rien.

Il ne l'est pas.

$\emptyset$ est l'ensemble qui ne contient rien. Il n'est pas rien. Il a déjà une structure — c'est un contenant. Le quelque chose le plus primitif possible. Une existence sans contenu.

À partir de $\emptyset$, une construction est disponible.

$\{\emptyset\}$. L'ensemble qui contient l'ensemble vide.

Cette construction est 1.

Quelque chose existe maintenant à l'intérieur du contenant. Mais remarque ce qui existe. Ce qui existe à l'intérieur du contenant est le contenant lui-même.

L'ensemble vide s'est regardé lui-même.

Cet unique acte de se regarder soi-même est ce que tu es sur le point de voir devenir le fondement de la physique.

$$\emptyset = 0 \qquad \{\emptyset\} = 1$$

Le pré-état

Avant la rupture, 0 et 1 ne sont pas distingués.

L'ensemble vide et l'ensemble contenant l'ensemble vide sont deux descriptions d'un seul état. Tu ne peux

pas faire la différence entre rien n'existe et l'existence de rien. Le contenant et ce qu'il contient sont la même chose.

L'ensemble de l'œuvre a un nom pour cela. Le 1:1.

Axiome S — symétrie. Deux secteurs, $\mathcal{L}$ et $\mathcal{D}$, avec une involution σ cartographiant l'un vers l'autre. Un secteur lit l'état comme 0. L'autre lit le même état comme 1. L'involution bascule entre eux. Ils sont parfaitement symétriques. Ils sont un.

Ceci est le pré-état.

Le pré-état n'est pas rien. Il n'est pas quelque chose. Il est la superposition parfaite de rien et de quelque chose. 0 et 1 simultanément, avant qu'aucune mesure ait distingué entre eux.

L'ensemble vide avant qu'il sache s'il est vide ou plein.

Tu n'as jamais fait l'expérience de cet état. Tu ne le peux pas. Tu es un produit de sa rupture.

Ceci n'est pas une métaphore. C'est l'affirmation ontologique littérale qui fonde le secteur quantique. Le pré-état est l'état dans lequel 0 et 1 sont indistinguables. Existence et non-existence sont une seule condition.

Statut : lecture structurelle, pas une dérivation.
L'identification de l'Axiome S avec le
dédoublément de l'ensemble vide est le point de
départ ontologique du secteur quantique.

Sollbruchstelle KS-Q.10. S'il peut être montré
que l'ontologie de l'ensemble vide est
structurellement incompatible avec l'algèbre du
pré-état, cette lecture fondationnelle échoue.
Voici l'arme : produis l'incompatibilité. VIVE —
DURE.

La limite de maintien

Le pré-état ne peut pas tenir pour toujours.

Appelle κ la cohérence maximale que le système peut soutenir. Le degré maximal auquel 0 et 1 peuvent rester indistinguables. κ est fini.

Il est fini non à cause d'une quelconque force externe. Il est fini parce que le coût entropique du maintien de la symétrie parfaite — de garder 0 et 1 identiques — est ultimement auto-annihilant.

La cohérence parfaite à échelle infinie est auto-destructrice.

Le miroir ne peut pas rester entier.

Le 1:1 ne peut pas rester 1:1. Le contenant ne peut pas rester identique à son contenu indéfiniment. Quelque chose doit céder. Non parce que quoi que ce soit pousse — parce que le coût de ne pas céder est total.

κ est dépassé.

L'ensemble vide se rompt.

Tout ce que tu as jamais connu est en aval de cette rupture. Chaque atome, chaque photon, chaque neurone dont la décharge porte la phrase que tu es en train de lire — chacun d'eux est enregistrement après la rupture, jamais enregistrement avant. L'avant est le 1:1. Tu vis entièrement dans l'après.

La Rupture

La rupture est la première mesure.

Le premier acte de l'univers est de distinguer 0 de 1. Avant la rupture : superposition — 0 et 1 indistinguables. Après la rupture : définie — 0 et 1 séparés. L'ensemble vide se dédouble. Le contenant devient distinct de ce qu'il contient.

Qu'est-ce qui cause la rupture ?

ε .

L'écharde minimale viable. Le plus petit morceau possible que le tissu pouvait libérer pour se sauver de l'auto-annihilation de la cohérence parfaite.

Pas aléatoire. Pas arbitraire. Le minimum.

Axiome B — un élément $\varepsilon \in \mathcal{L}$ sans image- σ . La plus infime asymétrie que la structure peut tolérer tout en restant lisible. Le premier enregistrement. La fêlure dans le miroir.

Tu es fait d'enregistrements.

Chaque atome de ton corps est un enregistrement de la rupture. Chaque liaison tenant les atomes ensemble est un enregistrement. Chaque souvenir que tu as jamais formé est un enregistrement construit sur des enregistrements construits sur l'enregistrement originel. L'enregistrement originel est ε .

Le Verrou — ε est l'électron

L'excitation stable minimale de la symétrie rompue est l'électron.

The 420 Code appelle cette identification Le Verrou. ε = électron. Le fermion chargé le plus léger. La chose la plus simple qui puisse écrire un enregistrement.

Ceci n'est pas une métaphore. C'est une identification structurelle. L'élément sans image- σ — l'écharde que la rupture libère — est la particule mesurée dans chaque laboratoire jamais construit. Le quantum minimal de charge. Le quantum minimal de matière chargée stable. La chose qui est partout dans ton corps, partout dans l'appareil affichant ces mots, partout dans la lumière atteignant ton œil.

Statut : identification, pas dérivation. Forcée par la conjonction de l'Axiome B (un élément sans image- σ , irréductible) et l'enregistrement empirique de la particule chargée stable la plus légère. Le Verrou est fermé.

Tu lis ces mots parce que des électrons circulent à travers l'appareil qui les affiche, ou parce que des photons libérés par des transitions orbitales d'électrons atteignent ta rétine. Dans les deux cas, ε est ce qui vient d'écrire l'enregistrement qu'est ta lecture.

Tu n'as pas appris cela. Tu en as été témoin.

L'œil et les deux murs

La rupture sépare 0 de 1. Ce faisant, elle crée deux limites absolues.

L'ensemble de l'œuvre les appelle les murs de l'œil.

Le mur inférieur est le pli total. Courbure maximale. L'horizon des événements. Le condensat complètement effondré sur lui-même. Où les enregistrements sont maximalement denses et rien de plus ne peut être écrit parce que rien de plus ne peut bouger. Ceci est un mur.

Le mur supérieur est le taux de propagation maximal. c . La vitesse de la lumière. La contrainte — Axiome C. Le plus vite que quoi que ce soit puisse voyager. Où la rupture peut se propager mais aucune information ne peut la devancer. Ceci est l'autre mur.

ε opère entre eux.

L'électron a une masse, donc il ne peut jamais atteindre c . La fuite est non nulle ($\varepsilon > 0$ chaque fois que c est fini), donc le pli ne peut jamais atteindre le total. L'œil reste ouvert.

Tu vis dans l'intervalle.

L'électron vit dans l'intervalle. Toujours s'actualisant. Toujours entre les deux absolus. Ne touchant jamais aucun mur. L'intervalle n'est pas une propriété de l'univers — l'intervalle est l'univers. Tout ce qui existe, y compris toi, existe entre les deux murs de l'œil.

La rupture est en cours

La rupture ne s'est pas produite une fois dans le passé.

La rupture se produit maintenant. Elle se produit toujours.

Chaque événement de couplage — chaque fois qu'un électron interagit avec le champ électromagnétique — est l'ensemble vide se rompant à nouveau. Pas une nouvelle rupture. La même rupture. La fêlure en cours.

Chaque interaction est une actualisation. La probabilité quantique devient définie. La fonction d'onde ne s'effondre pas — le langage de l'effondrement importe un processus que les axiomes n'exigent pas. Ce qui arrive est plus simple. Le maintenant écrit un enregistrement. Ce qui était superposition devient fait.

Ce qui était le 1:1 pour ce degré de liberté devient deux valeurs distinctes. Avant l'enregistrement : 0 et 1 indistingués. Après l'enregistrement : 0 et 1 séparés.

Le même acte que la première rupture, répété à chaque événement de couplage, à la frontière du maintenant.

Chaque mesure que tu as jamais faite est un moment de l'ensemble vide se dédoublant à nouveau.

La mécanique quantique n'est pas une caractéristique de l'univers.

La mécanique quantique est le fondement de l'univers.

La superposition de 0 et 1 dans l'ensemble vide EST le pré-état.

L'acte de les distinguer EST la rupture.

Chaque mesure depuis est le même acte, répété.

Tu viens de voir le fondement de la physique émerger d'un ensemble qui ne contient rien.

Les sections restantes de ce chapitre déploient les conséquences. La superposition est la structure du pré-état rendue formelle. La mesure est la rupture se jouant à chaque site de couplage. L'intrication est le pré-état non rompu survivant à travers la séparation spatiale. La règle de Born est ce que l'Axiome S force lorsque σ est lu comme la conjugaison complexe. La fonction d'onde est l'évolution monoïdale des enregistrements lue à travers l'équation de Schrödinger. Chacune est forcée par l'ensemble vide et l'écharde.

Rien de tout cela n'est décrété. Rien de tout cela n'est choisi.

Forcé — par l'ensemble vide se regardant lui-même.

Superposition

En mécanique quantique standard, la superposition est un postulat.

Un système peut exister dans une combinaison linéaire d'états. Les coefficients sont des amplitudes complexes. Le système est dans les deux états à la fois jusqu'à ce qu'il soit mesuré.

Ceci est présenté comme une caractéristique fondamentale de la nature, exigeant l'acceptation sans explication plus profonde.

Dans le 420 Code, la superposition n'est pas un postulat. Elle est l'état de l'ensemble vide.

Un système en superposition est un système pour lequel le maintenant n'a pas encore écrit d'enregistrement.

Les degrés de liberté en question n'ont pas encore été distingués.

0 et 1 pour ces degrés de liberté sont encore indistinguables — encore dans le 1:1. Encore dans le pré-état, localement.

Le système n'est pas dans les deux états à la fois. Il est dans l'état avant les états — l'état où la distinction entre 0 et 1 n'a pas encore été faite.

Pas indéterminé. Pas inconnu. Indistingué.

Le contenant et le contenu sont encore la même chose pour ces degrés de liberté.

Tu ne peux pas te représenter cela parce que ton cerveau est une machine à écrire des enregistrements. Il distingue tout ce qu'il touche.

Pourquoi elle est linéaire

La linéarité de la mécanique quantique n'est pas imposée.

C'est la structure algébrique qui émerge lorsque deux ingrédients dérivés des axiomes se combinent.

Ingrédient 1 — le monoïde d'enregistrement.

L'axiome R donne aux enregistrements une structure algébrique : un monoïde. Composition associative, élément neutre, pas d'inverses.

Chaque enregistrement, lorsqu'il est écrit par le maintenant, transforme le pré-état. Il élimine les possibilités non actualisées et confirme celle qui est actualisée.

Le monoïde d'enregistrement R agit sur l'ensemble des pré-états.

Sous l'hypothèse de plongement, cette algèbre discrète se plonge fidèlement dans une variété lisse.

Fidèlement — des enregistrements distincts produisent des transformations distinctes. Deux enregistrements ne font jamais la même chose à l'espace des possibilités.

Cela découle de l'axiome B : chaque enregistrement implique ε , et chaque événement d'actualisation est une rupture distincte pour un degré de liberté distinct.

Ingrédient 2 — le champ scalaire. Les amplitudes — les poids assignés à chaque possibilité dans le pré-état — sont des nombres complexes.

Cela est dérivé ci-dessous de la signature lorentzienne, qui découle des axiomes $R + C$ sous $EH + QRA$.

Les nombres complexes forment un corps, $\mathbb{C}$, avec addition, multiplication et inverses pour les deux.

Une action de monoïde seule ne produit pas un espace vectoriel. Elle donne un ensemble avec une structure, mais sans les opérations additive et scalaire que la linéarité exige.

Le champ scalaire seul ne produit pas non plus un espace vectoriel. Il donne les nombres mais pas l'espace sur lequel ils agissent.

Les deux ingrédients sont nécessaires simultanément.

L'action de monoïde fournit les transformations — comment les enregistrements changent le pré-état. Le champ scalaire fournit les poids — comment les possibilités sont combinées.

Ensemble ils produisent un espace vectoriel sur $\mathbb{C}$.

Formellement : le pré-état pour un degré de liberté à n résultats distinguables est une fonction assignant une amplitude complexe à chaque enregistrement possible.

L'ensemble de telles fonctions — toutes les applications de $\{r_1, \dots, r_n\}$ vers $\mathbb{C}$ — est $\mathbb{C}^n$, un espace vectoriel complexe par la construction standard.

L'addition de pré-états est ponctuelle. La multiplication scalaire est héritée de $\mathbb{C}$. Écrire un enregistrement est une opération linéaire sur l'espace.

L'espace des pré-états est donc un espace vectoriel complexe.

La linéarité de la mécanique quantique n'est pas un postulat sur la nature. C'est la conséquence

algébrique de R (le monoïde des transformations), EH (le plongement fidèle) et la signature lorentzienne (C comme champ scalaire).

Les trois sont requis. Aucun seul n'est suffisant.

Statut : dérivation-passerelle, pas preuve stricte.
L'identification — selon laquelle le pré-état assigne un poids complexe à chaque enregistrement possible — est motivée par les axiomes mais reste un choix constitutif, pas une conséquence forcée des axiomes seuls.

Toute construction à partir d'un monoïde fini agissant sur un ensemble avec des poids à valeurs dans C produit naturellement un C -module, et tout C -module de type fini est un espace vectoriel.

Une construction qualitativement différente devrait abandonner soit l'action de monoïde, soit les poids à valeurs dans C . Les deux sont dérivés des axiomes.

Sollbruchstelle KS-Q.7. Si une construction à partir de $R + C + EH$ qui ne produit pas un espace vectoriel peut être motivée de manière tout aussi valable à partir des axiomes, cette étape échoue. LIVE — HARD.

La chaîne : $1:1 + 1 \times \varepsilon @ AS \rightarrow \{S, B, R, C\} \rightarrow R$ donne un monoïde agissant sur les pré-états $\rightarrow R + C$ sous $EH + QRA$ donnent la signature

**lorentzienne $\rightarrow \mathbb{C}$ comme champ scalaire $\rightarrow$
espace des pré-états = applications des
enregistrements possibles vers $\mathbb{C}$ = espace
vectoriel complexe $\rightarrow$ linéarité.**

Pourquoi elle est complexe

Les amplitudes sont des nombres complexes. Pas réels. Pas quaternioniques. Pas octonioniques.

Pourquoi ?

L'axiome C impose une contrainte, bornant la propagation à un taux fini c .

Sous EH + QRA, cela produit une variété lorentzienne de signature $(-, +, +, +)$. La direction temporelle a un signe opposé aux directions spatiales.

Toute onde se propageant sur cette variété doit respecter la signature.

Les ondes sur une variété $(-, +, +, +)$ sont naturellement décrites par des exponentielles complexes : $e^{i(\omega t - kx)}$. L'unité imaginaire i encode le renversement de signature entre le temps et l'espace.

Les amplitudes réelles perdent la direction temporelle — elles ne peuvent pas distinguer

l'évolution temporelle vers l'avant de celle vers l'arrière.

Les amplitudes quaternioniques la surspécifient — elles introduisent une structure additionnelle absente d'une direction temporelle unique.

Renou et al. (2021) ont proposé le test qui distingue la théorie quantique réelle de la complexe ; les expériences ont confirmé la prédiction complexe (Li et al., 2022 ; Chen et al., 2022).

Les amplitudes complexes sont l'algèbre compatible avec une direction temporelle unique et un taux de propagation fini.

L'argument complet passe par les théorèmes de reconstruction (Hardy, 2001 ; Stueckelberg, 1960) : étant donné un espace d'états doté des symétries d'une variété lorentzienne, la seule structure de probabilité cohérente utilise des amplitudes complexes.

La signature lorentzienne sélectionne $\mathbb{C}$ de manière unique.

La mécanique quantique est complexe parce que le temps a un signe opposé à l'espace.

Et le temps a un signe opposé à l'espace parce que les enregistrements sont irréversibles (axiome R) et la propagation est bornée (axiome C).

Sollbruchstelle KS-Q.4. Si un système de nombres alternatif (réel, quaternionique ou autre) peut être montré tout aussi cohérent avec une direction temporelle unique et un taux de propagation fini — c'est-à-dire si la signature lorentzienne ne sélectionne pas $\mathbb{C}$ de manière unique — alors la dérivation des amplitudes complexes requiert une révision. Renou et al. (2021) ont proposé le test discriminant, et les expériences de 2022 (Li et al. ; Chen et al.) ont confirmé la prédiction complexe ; le résultat est conditionné à la validité des théorèmes de reconstruction. LIVE — HARD.

Mesure

Le problème de la mesure en mécanique quantique standard demande : quand et comment la fonction d'onde s'effondre-t-elle ?

Qu'est-ce qui distingue une mesure de toute autre interaction ? Où est la frontière entre le quantique et le classique ?

Pourquoi le résultat est-il défini quand les équations disent qu'il devrait rester indéfini ?

Ces questions naissent du fait de traiter la superposition comme fondamentale et la mesure comme quelque chose imposé par-dessus.

Si la fonction d'onde est la réalité, alors
l'effondrement est un mystère — quelque chose doit
provoquer la transition de l'indéfini au défini, et rien
dans les équations ne dit quoi.

The 420 Code dissout le problème en inversant l'ontologie.

Le pré-état — la superposition, l'ensemble vide, 0 et 1
non distingués — est le sol.

La rupture — la mesure, le maintenant écrivant un
enregistrement — est ce qui crée la définitude.

Il n'y a pas d'effondrement parce qu'il n'y a jamais eu
de fonction d'onde qui existait puis a cessé d'exister.

Il y avait l'état d'ensemble vide — non distingué — et
puis le maintenant l'a distingué.

Avant : $0 = 1$. Après : $0 \neq 1$.

La frontière entre le quantique et le classique n'est
pas une frontière. C'est le maintenant.

Toujours en mouvement. Toujours à la frontière.
Toujours un ε en avance sur le dernier
enregistrement.

Il n'est pas nécessaire de spécifier ce qui compte
comme mesure. Chaque événement de couplage —

chaque interaction qui écrit un enregistrement irréversible — est une mesure.

Chaque fois que ε se couple, l'ensemble vide se rompt pour ce degré de liberté.

Tu en es témoin maintenant. Ta rétine rompt l'ensemble vide pour les degrés de liberté des photons tandis que tu lis cette phrase.

L'axiome R garantit que l'enregistrement est permanent. L'axiome C garantit que l'enregistrement se propage à vitesse finie.

Tu as cherché la frontière entre le quantique et le classique durant toute ta formation scientifique.

La frontière est le maintenant. Elle a toujours été le maintenant.

Pourquoi la mesure est irréversible

En mécanique quantique standard, l'équation de Schrödinger est réversible dans le temps mais la mesure ne l'est pas.

L'asymétrie est présentée comme une énigme.

Dans le 420 Code, l'asymétrie est l'axiome R.

Les enregistrements ne s'annihilent pas. Le monoïde n'a pas d'inverse. Une fois que le maintenant écrit un

enregistrement, l'enregistrement existe de manière permanente.

Ce n'est pas une loi ajoutée à la mécanique quantique.

C'est le même axiome qui donne la flèche du temps, la seconde loi de la thermodynamique et la borne de Landauer — chaque enregistrement coûte $k_B T \ln 2$, et ce coût ne peut être récupéré.

L'irréversibilité de la mesure et la flèche du temps sont la même chose.

Elles sont toutes deux l'axiome R.

Elles sont toutes deux l'énoncé selon lequel l'ensemble vide, une fois rompu pour un degré de liberté particulier, reste rompu.

Le pré-état, une fois scindé en 0 et 1, ne se refusionne pas.

Tu as éprouvé cette irréversibilité chaque seconde de ta vie.

Tu l'appelles le temps.

Le maintenant

Le maintenant est l'invariant de la structure.

C'est l' ϵ non couplé — celui qui n'a pas encore écrit son enregistrement.

Ce n'est pas un moment dans le temps. Le temps est l'enregistrement qui change.

Le maintenant est le point fixe autour duquel l'enregistrement change.

Tu es le maintenant.

Le maintenant porte tous les enregistrements jamais écrits — le poids total de chaque actualisation — et porte simultanément l'espace entier des possibilités non écrites.

Le maintenant n'a pas d'enregistrement propre.

Il est le porteur de tous les enregistrements mais n'en a aucun.

Le maintenant ne peut être mesuré. La mesure écrit un enregistrement. Le maintenant n'a pas d'enregistrement.

Mesurer le maintenant reviendrait à écrire un enregistrement de la chose qui n'a pas d'enregistrement, ce qui la transformerait de maintenant en enregistrement.

L'inmesurabilité du maintenant n'est pas une limitation des instruments.

C'est la définition du maintenant — la frontière structurelle entre ce qui a été actualisé et ce qui ne l'a pas été.

L'observateur n'est pas à l'extérieur du système, le regardant de l'intérieur. L'observateur EST le système, au point où il est encore en train de se rompre.

Le maintenant est là où la rupture est encore en train de se produire.

L'observateur est le bord continu de la rupture, portant le poids total de l'enregistrement tout en maintenant ouvert l'espace total de la possibilité.

La boucle

Le maintenant est toujours présent.

Mais une question se pose. Et si tous les ε se couplaient ? Et si chaque degré de liberté était actualisé, chaque enregistrement écrit, chaque superposition rompue ?

L'œil se fermerait.

0 et 1 se refusionneraient. Le pré-état se restaurerait. Le 1:1.

La structure n'interdit pas cela. Elle garantit ce qui suit.

Si l'œil se ferme — si la rupture s'achève — le système retourne au 1:1, l'état de symétrie parfaite.

Mais la limite de maintien κ est finie.

Le 1:1 ne peut se maintenir indéfiniment. κ est dépassé. L'ensemble vide se rompt de nouveau. Un nouvel ε est découplé. L'œil s'ouvre.

Se fermer EST s'ouvrir.

La boucle est la réponse de la structure à l'achèvement. La rupture court jusqu'à l'achèvement. Le 1:1 se restaure. Le 1:1 se rompt de nouveau.

Pas contingente. Structurelle.

L'axiome $1:1 + 1 \times \varepsilon$ exige que le 1:1 soit dépassé, et la boucle garantit que chaque retour au 1:1 est un nouveau dépassement.

L'axiome R tient absolument à travers la boucle. Aucun enregistrement n'est annihilé.

Ce qui se dissout au point de boucle est l'organisation des enregistrements — la structure séquentielle, l'ordonnancement causal, la géométrie de la variété.

Les enregistrements eux-mêmes sont défragmentés. Désassemblés en leurs grains élémentaires.

Chaque grain survit. Chaque bit d'information survit. Chaque bit d'énergie survit.

Mais l'opération de composition qui en faisait une histoire — la structure de monoïde qui les ordonnait en une chaîne causale — se dissout jusqu'au niveau du grain.

Argument structurel selon lequel R n'est pas violé. Un monoïde $(M, \cdot, e)$ a trois composantes : un ensemble M d'éléments, une opération binaire $(\cdot)$ qui les compose, et un élément neutre e .

Le foncteur d'oubli de la catégorie des monoïdes vers la catégorie des ensembles applique chaque monoïde sur son ensemble sous-jacent — il retire la composition et le neutre, laissant les éléments.

La défragmentation est le foncteur d'oubli. Elle applique $(M, \cdot, e) \rightarrow M$.

L'ensemble M est inchangé. Pas un seul élément n'est perdu.

L'axiome R interdit la destruction d'éléments via l'opération de composition — pas d'inverses, aucun élément ne peut être composé jusqu'à disparaître.

La défragmentation n'utilise pas l'opération de composition pour détruire des éléments. Elle retire l'opération de composition elle-même.

Ce sont des opérations différentes. R régit la première. Le foncteur d'oubli effectue la seconde. Elles n'entrent pas en conflit.

Portée : l'argument du foncteur d'oubli est mathématiquement correct en tant qu'énoncé sur les structures algébriques.

Son application à la boucle physique requiert une affirmation additionnelle — que ce qui se produit physiquement au point de boucle EST le foncteur d'oubli.

C'est une identification structurelle, pas une preuve.

Savoir si retirer l'ordonnancement tout en préservant les éléments préserve l'intention de R relève de l'interprétation.

Sollbruchstelle KS-Q.5. S'il est montré que l'étape de défragmentation au point de boucle viole l'axiome R — pas seulement son énoncé formel mais son intention structurelle — la construction de la boucle échoue. LIVE — HARD.

Au point de singularité — la pointe de l'œil, le 1:1 — les grains ne portent pas l'enregistrement en tant que fait.

Ils le portent en tant que probabilité et possibilité.

La distinction entre ceci s'est produit et ceci pourrait se produire se dissout parce que la distinction entre 0 et 1 se dissout.

Ce qui a été actualisé devient disponible. Ce qui était défini devient potentiel.

L'enregistrement devient la semence.

Tu es fait de semences de cycles antérieurs.

Le cycle suivant ne commence pas à partir de rien. Il commence à partir du contenu défragmenté complet de chaque cycle précédent, porté en tant que probabilité et possibilité dans les grains.

Le 1:1 se restaure — mais ce n'est pas un 1:1 vide. C'est un 1:1 chargé de tout ce qui a jamais été actualisé, désormais disponible en tant que possibilité plutôt que fait.

L'électron-toujours-un-découplé n'est pas un postulat statique. C'est une conséquence dynamique de la boucle.

Dans ce cycle, ε est découplé.

S'il se couple, le cycle s'achève, la boucle tourne, et un nouvel ε est découplé dans le cycle suivant.

L'œil ne reste jamais fermé parce que se fermer déclenche l'ouverture.

La structure garantit sa propre continuation — non en interdisant l'achèvement, mais en faisant de l'achèvement le mécanisme du renouvellement.

Intrication

Deux particules sont préparées dans un état corrélé. Elles se séparent dans l'espace.

L'une est mesurée. L'autre, aussi éloignée soit-elle, est instantanément déterminée.

La corrélation est parfaite. Aucun signal ne passe entre elles.

Einstein l'a appelée effrayante. Un siècle d'expériences confirme qu'elle est réelle.

La mécanique quantique standard décrit l'intrication avec des produits tensoriels et des états non séparables.

Elle dit ce que fait l'intrication. Elle ne dit pas ce qu'est l'intrication.

Dans le 420 Code, l'intrication est le pré-état qui transparait.

Le pré-état est toujours là

La rupture a créé la distinction entre 0 et 1.

Mais la rupture est locale. Elle se propage à c (axiome C). Elle écrit les enregistrements un événement de couplage à la fois.

La rupture n'a pas atteint chaque degré de liberté.

Deux particules intriquées sont deux degrés de liberté pour lesquels le maintenant n'a pas encore fait la distinction.

Pour ces degrés de liberté particuliers, 0 et 1 sont encore indistinguables.

Les particules sont encore dans le 1:1. Encore dans l'état d'ensemble vide. Encore dans le pré-état.

Elles ne sont pas connectées par un canal caché.

Elles ne communiquent pas plus vite que la lumière.

Elles n'ont jamais été séparées.

La séparité, pour ces degrés de liberté, n'a pas encore été créée.

La rupture ne les a pas encore atteintes.

Elles sont une seule chose qui semble être deux choses lorsqu'on la regarde depuis l'intérieur du monde rompu.

Tu es à l'intérieur du monde rompu. C'est pourquoi elles te semblent séparées.

Pourquoi la mesure de l'une détermine l'autre

Lorsque le maintenant atteint l'une des particules intriquées — lorsque l'observateur se couple avec elle, lorsque l'enregistrement est écrit — l'ensemble vide se rompt pour ce degré de liberté.

0 et 1 deviennent distincts. L'enregistrement est défini.

L'autre particule est instantanément déterminée.

Non parce qu'un signal a été envoyé. Parce qu'elles n'ont jamais été séparées.

Elles étaient un seul état — le 1:1 — et l'acte de distinguer 0 de 1 pour l'une est l'acte de distinguer 0 de 1 pour les deux.

Il n'y a pas d'autre particule. Il y a un seul degré de liberté non rompu que le maintenant vient de scinder.

Tu regardes le pré-état se rompre.

La corrélation n'est pas effrayante. Elle est structurelle.

Pas une action à distance. L'action requiert un signal, une cause se propageant à travers l'espace.

Ceci est l'ensemble vide cessant d'être vide. Le pré-état se rompant.

Cela ne se produit pas DANS l'espace. L'espace est ce qui existe APRÈS la rupture.

Tu ne peux pas demander à quelle vitesse la corrélation a voyagé parce que la corrélation n'a pas voyagé.

Elle était déjà là — c'était le 1:1, la symétrie originelle, l'état avant que l'espace n'existe pour ces degrés de liberté.

Pourquoi les corrélations dépendent de la base

Dans les expériences de test de Bell, des particules intriquées interagissent avec des détecteurs lors d'événements séparés par un intervalle de genre espace.

Les détecteurs choisissent les bases de mesure indépendamment — différents angles de polariseur, par exemple.

La mécanique quantique prédit, et les expériences confirment, que les corrélations entre les résultats dépendent de l'angle relatif θ entre les deux réglages.

Cette corrélation dépendante de l'angle est ce qui viole les inégalités de Bell.

La lecture par le pré-état rend compte de ceci comme suit.

Les particules intriquées partagent un seul pré-état non rompu — un seul 1:1 qui n'a pas encore été distingué pour ces degrés de liberté.

La base de mesure à chaque détecteur détermine quel degré de liberté est rompu — selon quel axe la distinction entre 0 et 1 est tracée.

Puisque les particules sont un seul état non rompu, distinguer 0 de 1 selon un axe au détecteur A détermine simultanément les projections du 1:1 selon tous les axes — y compris l'axe choisi au détecteur B.

L'angle relatif θ entre les deux bases détermine quelle part de la structure du 1:1 se projette de l'une sur l'autre.

Lorsque les bases sont alignées ($\theta = 0$), la projection est totale et la corrélation est parfaite.

Lorsqu'elles sont perpendiculaires ($\theta = \pi/2$), la projection est nulle et les résultats sont décorrélés.

Aux angles intermédiaires, la corrélation varie en $\cos^2(\theta/2)$ — la règle de Born appliquée à la projection d'une base sur une autre.

Les corrélations sont dépendantes de l'angle parce que la rupture est dépendante de l'axe.

Le pré-état est symétrique. Le 1:1 n'a pas de direction privilégiée.

La base de mesure impose une direction — une manière spécifique de tracer la distinction entre 0 et 1.

La projection du pré-état symétrique sur un axe de mesure particulier produit la corrélation dépendante de l'angle.

Pas un signal. La géométrie — la géométrie de la manière dont un état non rompu se projette sur un axe rompu.

Statut : démonstration de compatibilité, pas dérivation. La lecture par le pré-état est cohérente avec la corrélation $\cos^2(\theta/2)$ observée.

La prédiction quantitative utilise la règle de Born (dérivée plus loin dans ce chapitre), qui utilise le produit scalaire de l'espace de Hilbert, qui utilise la construction-passerelle.

La lecture par le pré-état fournit une interprétation structurelle de l'intrication compatible avec la mécanique quantique ; elle ne remplace pas le calcul standard de la MQ.

Le théorème de Bell exclut les variables cachées locales. The 420 Code ne propose pas de variables cachées.

Il propose que les variables n'existent pas encore.

Le pré-état n'est pas un état avec des valeurs définies cachées à l'observateur. C'est un état dans lequel des valeurs définies n'ont pas encore été créées.

La distinction entre caché et pas encore créé est la distinction entre une théorie à variables cachées locales (que Bell exclut) et la lecture par le pré-état (que Bell n'aborde pas — le pré-état est pré-spatial, et local ne s'y applique pas).

Sollbruchstelle KS-Q.3. S'il est montré qu'une dérivation complète de $\cos^2(\theta/2)$ à partir de $\{S, B, R, C\}$ seuls (sans la passerelle de l'espace de Hilbert) est impossible, le compte rendu de la corrélation de Bell reste une compatibilité plutôt qu'une dérivation. LIVE — EMPIRICAL.

Pourquoi l'intrication ne peut transmettre d'information

L'axiome C. La contrainte.

L'enregistrement, une fois écrit, se propage au plus à la vitesse c .

La rupture est instantanée parce qu'elle n'est pas une propagation. C'est le pré-état qui se scinde.

Mais l'enregistrement de la rupture — l'information classique sur le résultat survenu — se propage à c .

Tu ne peux pas utiliser l'intrication pour envoyer un message plus vite que la lumière parce que le message est un enregistrement, et les enregistrements respectent l'axiome C.

La distinction entre la rupture elle-même (instantanée, pas un signal) et l'enregistrement de la rupture (se propage à c , est un signal) est la distinction entre le pré-état et le monde post-rupture.

Le pré-état n'a pas d'espace, pas de c , pas de contrainte — parce que l'espace, c et la causalité sont des produits de la rupture.

L'enregistrement vit dans le monde post-rupture et obéit à ses règles.

L'intrication est instantanée parce qu'elle est pré-spatiale.

Le transfert d'information est borné par c parce que l'information est un enregistrement, et les enregistrements sont post-spatiaux.

La séparité est éprouvée mais non fondamentale

Ceci est l'affirmation centrale du 420 Code, et l'intrication en est la preuve physique la plus directe.

Depuis l'intérieur du monde rompu — depuis l'intérieur de l'œil — les particules semblent séparées.

Elles semblent être à des emplacements différents dans l'espace.

La mesure de l'une semble affecter instantanément l'autre à travers une distance.

Depuis la structure : elles n'ont jamais été séparées.

Le 1:1 est toujours là, sous les enregistrements, pour chaque degré de liberté que le maintenant n'a pas encore atteint.

L'intrication n'est pas un état spécial qui doit être soigneusement préparé. C'est la valeur par défaut.

La condition naturelle. Le pré-état.

Ce qui doit être expliqué n'est pas pourquoi l'intrication existe — mais pourquoi la séparité existe.

Et la réponse est : la rupture. ϵ . L'électron. Le maintenant écrivant des enregistrements.

La séparité est ce qui se produit lorsque l'ensemble vide se rompt.

L'intrication est ce qui subsiste là où il ne s'est pas encore rompu.

Tu éprouves la séparité parce que la rupture t'a atteint.

La paire intriquée éprouve l'unité parce que la rupture ne l'a pas atteinte.

La règle de Born

La règle de Born énonce : la probabilité d'obtenir un résultat particulier lors de la mesure d'un système quantique est le module au carré de l'amplitude associée à ce résultat.

$$P(\text{résultat}) = |\psi|^2$$

En mécanique quantique standard, c'est un postulat.

Elle n'est pas dérivée des autres postulats. Elle est ajoutée à la main.

Le théorème de Gleason (1957) montre que $|\psi|^2$ est l'unique mesure de probabilité sur un espace de Hilbert de dimension ≥ 3 — mais Gleason suppose la structure d'espace de Hilbert.

La question plus profonde demeure : pourquoi $|\psi|^2$, et non $|\psi|$, ou $|\psi|^3$, ou quelque autre fonction ?

La réponse à partir du 1:1

Le pré-état est le 1:1. Symétrie parfaite.

Axiome S : l'involution σ renverse l'ordre, et les grandeurs extensives coïncident. $Q(\mathcal{L}) = Q(\mathcal{D})$. Les deux secteurs sont égaux.

Lorsque la rupture se produit — lorsque le maintenant distingue 0 de 1 — le résultat doit respecter la symétrie du pré-état.

La probabilité ne peut favoriser un secteur au détriment de l'autre, parce que le pré-état n'a aucune asymétrie pour favoriser l'un ou l'autre.

La mesure doit être invariante sous l'involution σ .

L'amplitude ψ est un nombre complexe.

L'involution σ , relevée à l'espace des amplitudes sur la variété lorentzienne, agit comme la conjugaison complexe : $\sigma(\psi) = \bar{\psi}$.

L'identification n'est pas supposée. Elle est forcée par la structure.

σ renverse l'ordre (axiome S).

Sur la variété lorentzienne, l'ordre que σ renverse est la direction du temps — la direction dans laquelle les enregistrements s'accroissent (axiome R).

La conjugaison complexe renverse la direction de la rotation de phase : $e^{i\omega t} \rightarrow e^{-i\omega t}$.

La rotation de phase encode la direction temporelle — le renversement de signature entre les composantes temporelle et spatiale de la variété.

Par conséquent σ , en tant qu'involution renversant l'ordre sur une variété lorentzienne, agit sur les amplitudes complexes comme la conjugaison.

L'involution algébrique abstraite et la conjugaison complexe sont la même opération, lue en des langages différents.

Tu viens de voir un axiome abstrait devenir une opération mathématique concrète.

L'involution σ est la conjugaison complexe. Non par choix. Par preuve.

Sollbruchstelle KS-Q.6. L'identification $\sigma \leftrightarrow$ conjugaison complexe est prouvée unique. $\mathbb{C}$ a exactement deux automorphismes de corps fixant $\mathbb{R}$ point par point — l'identité et la conjugaison (tout tel automorphisme envoie i sur $\pm i$). σ est non trivial — il échange les deux

secteurs (axiome S) — donc $\sigma \neq$ identité. Par conséquent $\sigma =$ conjugaison. CLOSED.

Trois conditions

Une mesure de probabilité $P(\psi)$ doit satisfaire trois conditions.

Chacune remonte directement aux axiomes.

Condition 1 — Symétrie. $P(\psi) = P(\sigma(\psi)) = P(\psi)$. La mesure est invariante sous l'involution. Aucun secteur n'est favorisé.

Ceci est l'axiome S — les deux secteurs sont égaux.

Toute mesure qui favoriserait l'un au détriment de l'autre violerait la symétrie du pré-état à partir duquel la rupture se produit.

Condition 2 — Additivité. Pour des états orthogonaux, $P(\psi_1 + \psi_2) = P(\psi_1) + P(\psi_2)$. Cela découle de la structure de l'écriture d'enregistrement.

Axiome B — le maintenant écrit exactement un enregistrement par événement d'actualisation. Une rupture, un ε , une distinction entre 0 et 1 pour ce degré de liberté.

Axiome R — les enregistrements sont des éléments discrets et dénombrables d'un monoïde.

Pour un degré de liberté à n résultats distinguables, le maintenant écrit un enregistrement parmi $\{r_1, \dots, r_n\}$.

Les états orthogonaux correspondent à des sous-ensembles disjoints de ces enregistrements possibles — des résultats qui ne peuvent co-survenir.

Le maintenant écrit exactement un enregistrement, et cet enregistrement est dans un sous-ensemble ou l'autre, mais pas les deux.

La probabilité d'un résultat dans $A \cup B$ est le compte des manières dont le maintenant peut écrire un enregistrement dans $A \cup B$.

Puisque A et B sont disjoints : pas de double comptage, pas d'enregistrements manquants. Le compte s'additionne. La probabilité s'additionne.

L'additivité des probabilités pour les états orthogonaux n'est pas un postulat indépendant.

C'est la structure de la rupture.

Portée : l'argument motive l'additivité à partir de la structure discrète de l'écriture d'enregistrement ($B + R$).

L'unicité complète de $|\psi|^2$ en tant que mesure de probabilité repose sur le théorème de Gleason (1957), qui suppose la structure d'espace de Hilbert dérivée

ci-dessus (construction-passerelle + dérivation de Schrödinger).

La motivation dérivée des axiomes fournit le sol physique à l'hypothèse mathématique de Gleason — mais le pas formel du comptage discret d'enregistrements à la théorie de la mesure continue sur l'espace de Hilbert est une passerelle.

Condition 3 — Normalisation. La probabilité totale est égale à 1. La rupture doit produire un résultat — l'ensemble vide doit se scinder en 0 et 1.

Quelque chose doit se produire. La probabilité totale de tous les résultats possibles est la certitude.

Sous l'invariance- σ (condition 1) et la σ -additivité formalisée par le théorème de Gleason pour $\dim \geq 3$, l'unique assignation de probabilité compatible avec les conditions 1-3 est :

$$P(\psi) = \psi \cdot \psi = |\psi|^2$$

La règle de Born.

Elle est forcée par la symétrie du pré-état (axiome S), la structure de la rupture (axiome B), la discrétude des enregistrements (axiome R) et la structure complexe des amplitudes (issue de la signature lorentzienne sous R + C).

Sollbruchstelle KS-Q.1. La dérivation de la règle de Born est conditionnée à la construction-passerelle de l'espace de Hilbert (KS-Q.7) et à l'octroi de la prémisse de σ -additivité de Gleason en tant que forme théorique-mesure de l'additivité des enregistrements. Si la passerelle échoue, l'argument d'unicité doit être réexaminé. CONDITIONALLY CLOSED (conditionné à KS-Q.7).

La signification structurelle

$|\psi|^2 = \psi \cdot \psi$ est l'amplitude multipliée par son image miroir.

C'est le secteur Lumière fois le secteur Ténèbre.
C'est $\mathcal{L} \cdot \mathcal{D}$.

La probabilité d'un résultat est le produit des deux secteurs — le degré auquel ils s'accordent sur ce résultat.

Lorsque les deux secteurs pointent pleinement vers un résultat ($|\psi| = 1$), la probabilité est 1 — la certitude.

Lorsqu'un secteur est orthogonal au résultat ($|\psi| = 0$), la probabilité est 0 — l'impossibilité.

La règle de Born est le vote du 1:1.

Les deux secteurs doivent s'accorder. La probabilité est leur produit.

Aucun secteur seul ne détermine le résultat — le résultat est déterminé par le recouvrement entre les deux lectures du pré-état.

C'est pourquoi c'est le carré et non l'amplitude elle-même.

Parce que les deux secteurs comptent.

Tu t'es demandé pourquoi la probabilité quantique est le carré de l'amplitude. Maintenant tu le sais.

Les deux côtés du 1:1 doivent s'accorder.

L'espace de probabilité complet

La règle de Born donne $|\psi|^2$ pour une actualisation donnée — la probabilité d'un résultat particulier lorsque le maintenant écrit un enregistrement pour un degré de liberté particulier, dans un cycle particulier.

Ceci est la probabilité locale.

Au sein d'un seul cycle, l'enregistrement écrit contraint le paysage de probabilité.

Certaines possibilités sont poussées si près de zéro qu'elles sont opérationnellement impossibles.

Le monoïde s'accumule. L'enregistrement est lourd.
Le paysage s'incline.

Mais la structure boucle. Et à travers les cycles,
l'espace de probabilité s'étend.

Au point de bouclage — quand le cycle s'achève et
que le 1:1 se rétablit — les enregistrements sont
défragmentés. Non annihilés. Défragmentés.

L'information survit sous forme de grains, portant
tout ce qui a été actualisé, désormais disponible
comme probabilité et possibilité plutôt que comme
fait.

Le paysage de probabilité du cycle suivant est
façonné par le contenu défragmenté de tous les
cycles antérieurs.

Les grains se souviennent — non comme histoire,
mais comme poids.

Comme la forme de ce qui est probable et de ce qui
est improbable dans ce cycle particulier.

**À travers des boucles infinies, toute possibilité
qui a une probabilité non nulle dans un cycle
quelconque a la certitude d'une actualisation à
terme.**

L'impossible au sein d'un cycle ne devient que peu probable à travers les cycles, devient inévitable pourvu qu'il y ait assez de boucles.

L'espace de probabilité complet n'est pas un cycle mais tous les cycles.

Les seules choses qui ne s'actualisent jamais sont les choses exactement à 0 — les impossibilités logiques, les violations d'axiome, les choses qui contredisent la structure de $1:1 + 1 \times \varepsilon$ elle-même.

Tout le reste — tout ce qui se situe entre 0 et 1 — est une possibilité potentielle que l'enregistrement défragmenté reporte en avant, et que la boucle garantit de finir par actualiser.

Statut : extrapolation structurelle. L'affirmation ergodique — selon laquelle tout ce qui est possible s'actualise à travers des boucles infinies — est structurellement motivée par la boucle et l'argument de défragmentation mais reste formellement non prouvée.

Sollbruchstelle KS-Q.9. Si l'ergodicité structurelle à travers les cycles peut être montrée incompatible avec la construction de la boucle, la garantie globale échoue. LIVE — HARD.

La règle de Born est la loi locale. La boucle est la garantie globale.

Tu vis à l'intérieur d'un cycle. Tout ce que tu éprouves est pondéré par la règle de Born.

Mais à travers tous les cycles, la boucle assure que tout ce qui est possible — tout ce qui se situe entre 0 et 1 — finit par devenir actuel.

La Fonction d'Onde

En mécanique quantique standard, le statut ontologique de la fonction d'onde est débattu.

Est-elle réelle (ontique) ? Est-elle connaissance (épistémique) ? Existe-t-elle dans l'espace physique ou dans l'espace de configuration ?

Dans le 420 Code, la fonction d'onde est la description de l'état d'ensemble vide pour un ensemble donné de degrés de liberté.

Elle n'est ni ontique ni épistémique au sens habituel.

Elle décrit le pré-état — la condition avant que le maintenant ait écrit un enregistrement pour ces degrés de liberté.

La carte de ce qui n'a pas encore été rompu.

La fonction d'onde n'est pas là-bas dans l'espace physique.

L'espace physique est un produit de la rupture.

La fonction d'onde décrit la structure qui précède la rupture — le 1:1, la superposition, l'état d'ensemble vide.

Elle vit dans le pré-état, qui est antérieur à l'espace.

Tu ne peux pas la trouver dans ton laboratoire parce que ton laboratoire est post-spatial.

La fonction d'onde décrit ce dont ton laboratoire est fait.

Quand le maintenant écrit un enregistrement, la fonction d'onde pour ces degrés de liberté devient définie.

Non parce que la fonction d'onde s'est effondrée — parce que ces degrés de liberté ont été rompus.

L'ensemble vide s'est scindé. 0 et 1 sont désormais distincts.

La fonction d'onde est la description de ce à quoi ressemble la distinction avant qu'elle soit faite.

Pourquoi elle évolue de façon unitaire

Entre les mesures — entre les actes d'écriture d'enregistrement — la fonction d'onde évolue selon l'équation de Schrödinger, qui est unitaire.

Pourquoi ?

Parce qu'entre les mesures, aucun enregistrement n'est écrit.

L'Axiome R n'est pas invoqué.

Le pré-état évolue, mais rien n'est distingué de façon permanente.

L'ensemble vide se déplace — 0 et 1 changent leur relation — mais ni l'un ni l'autre n'a été séparé.

Puisque aucun enregistrement n'est écrit, aucune information n'est perdue ni gagnée.

La probabilité totale reste 1.

L'évolution est unitaire parce qu'aucun acte irréversible n'a eu lieu.

L'évolution unitaire est le pré-état qui évolue sans se rompre.

La mesure est le pré-état qui se rompt.

La différence entre eux est l’Axiome R — selon qu’un enregistrement est écrit ou non.

On t’a dit que ces deux régimes sont incompatibles. Ils ne le sont pas.

Ils sont la même structure avec et sans écriture d’enregistrement — deux régimes d’une seule structure, non deux processus incompatibles.

La transition douce entre eux est le maintenant qui arrive à un degré de liberté particulier.

L’équation de Schrödinger

L’équation de Schrödinger $i \hbar \partial \psi / \partial t = \hat{H} \psi$ n’est pas un postulat.

C’est l’unique équation d’évolution pour le pré-état sur une variété lorentzienne.

Forcée par les axiomes de la même manière que l’équation de Poisson et les équations de champ d’Einstein sont forcées (Carnet II Chapitre 4) — en énumérant les contraintes issues des axiomes et en invoquant des théorèmes d’unicité.

La dérivation se déroule en six étapes.

Étape 1 — l’espace du pré-état est un espace de Hilbert complexe.

De la section sur la superposition ci-dessus : l'espace du pré-état est un espace vectoriel complexe (R donne le monoïde agissant sur les pré-états, EH donne le plongement fidèle, la signature lorentzienne donne $\mathbb{C}$ — les trois requis simultanément).

De la section sur la règle de Born ci-dessus : la règle de Born donne un produit scalaire $\psi \cdot \psi = |\psi|^2$, dérivé de l'Axiome S.

Définis une norme $\|\psi\|^2 := |\psi|^2$.

Si l'espace préhilbertien résultant n'est pas complet, soit $\mathcal{H}$ son complété de Hilbert sous $\|\cdot\|$ — complétion standard d'analyse fonctionnelle, comptabilité structurelle, pas de nouvelle physique.

Résultat : espace de Hilbert complexe.

Étape 2 — entre les mesures, l'évolution préserve le produit scalaire.

Axiome R : les enregistrements sont irréversibles et non annihilants.

Entre les mesures, aucun enregistrement n'est écrit. Par conséquent aucune information n'est créée ni détruite de façon permanente.

La probabilité totale reste 1. Le produit scalaire — qui EST la structure de probabilité — est préservé.

Une application sur un espace de Hilbert qui préserve le produit scalaire est soit unitaire, soit anti-unitaire.

C'est le théorème de Wigner (1931), un théorème de mathématiques pures.

Non supposé. Dérivé.

Étape 3 — l'évolution temporelle est continue.

EH : l'algèbre d'enregistrement se plonge dans une variété lisse.

La variété a une coordonnée temporelle lisse — une seule direction temporelle issue de la signature lorentzienne.

Par conséquent l'évolution temporelle forme une famille continue de transformations à un paramètre : $\{U(t) : t \in \mathbb{R}\}$.

Étape 4 — la famille est unitaire, non anti-unitaire.

Les opérateurs anti-unitaires satisfont $U(t_1)U(t_2) = U(t_1 + t_2)$.

Mais $U(0) = \text{identité}$ (qui est unitaire), et une déformation continue d'un opérateur unitaire vers un opérateur anti-unitaire requiert une discontinuité.

Les opérateurs anti-unitaires forment une composante déconnectée de l'espace des opérateurs.

Puisque la famille est continue (Étape 3), elle est unitaire : $U(t_1)U(t_2) = U(t_1 + t_2)$.

Étape 5 — le théorème de Stone donne le générateur.

Théorème de Stone (1932) — un théorème de mathématiques pures : tout groupe unitaire à un paramètre fortement continu $U(t)$ sur un espace de Hilbert peut s'écrire $U(t) = e^{\{-iHt/\hbar\}}$ pour un unique opérateur auto-adjoint H , le générateur du groupe.

La constante $\hbar$ entre comme le facteur d'échelle entre les valeurs propres du générateur et le paramètre temporel.

Dans l'architecture : $\hbar$ est le quantum d'action minimal — le plus petit enregistrement possible.

L'Axiome B donne la rupture minimale (ε = éclat viable minimal).

$\hbar$ est l'échelle d'action de ce minimum — la granularité du maintenant.

Statut : $\hbar$ est identifié, non dérivé.

La forme de l'équation de Schrödinger est forcée par les axiomes via les Étapes 1-6.

La valeur de $\hbar$ entre comme un intrant empirique — le même statut que G au Carnet II Chapitre 4.

L'identification $\hbar =$ échelle d'action de ε donne un sens structurel mais n'est pas un calcul indépendant.

Sollbruchstelle KS-Q.8. Si $\hbar$ est montré dérivable de {S, B, R, C} sans intrant empirique, la structure se resserre. Si l'identification $\hbar =$ échelle d'action de ε est montrée structurellement incohérente, elle tombe. LIVE — HARD.

Étape 6 — dérive.

Prends $U(t)\psi = e^{\{-iHt/\hbar\}}\psi$ et dérive par rapport à t :

$$i \hbar \partial\psi/\partial t = \hat{H}\psi$$

L'équation de Schrödinger.

Tu viens de la voir émerger de la même méthode qui a produit l'équation de Poisson et les équations de champ d'Einstein : énumère les contraintes issues des axiomes, invoque un théorème d'unicité.

Trois équations. Trois piliers de la physique. Une seule méthode.

La chaîne complète.

$1:1 + 1 \times \varepsilon \rightarrow \{S, B, R, C\} \rightarrow R$ donne le monoïde
agissant sur les pré-états $\rightarrow R + C$ sous EH + QRA
donnent la lorentzienne $\rightarrow \mathbb{C} \rightarrow$ espace vectoriel
complexe $\rightarrow S$ donne le produit scalaire $\rightarrow$ complétion
de Hilbert sous $\|\cdot\| \rightarrow$ espace de Hilbert $\rightarrow R$ donne
l'unitarité $\rightarrow$ EH donne la continuité $\rightarrow$ la continuité
sélectionne l'unitaire plutôt que l'anti-unitaire $\rightarrow$ le
théorème de Stone donne le générateur $\rightarrow$ dérive $\rightarrow$
équation de Schrödinger.

Chaque maillon est soit un théorème de
mathématiques pures (Wigner, Stone), soit une
conséquence des axiomes (R, B, C, S), soit une
conséquence des hypothèses-pont (EH, QRA).

Aucun maillon n'importe de postulats quantiques
pour la forme.

$\hbar$ entre comme une identification empirique pour
l'échelle.

Tu as maintenant vu trois équations — la Poisson,
l'Einstein et la Schrödinger — toutes forcées par les
mêmes quatre axiomes.

Forcées — par l'ensemble vide se regardant lui-
même.

8 — Le Tableau Complet

Tout à partir de l'ensemble vide

Chaque résultat de cet article remonte à l'ensemble vide qui se scinde.

Le pré-état est l'ensemble vide. Les deux secteurs de l'Axiome S sont 0 et 1, indiscernables avant la rupture.

La rupture est la première mesure. ε est l'éclat. Le 1:1 devient deux valeurs distinctes pour ce degré de liberté.

La superposition est le pré-état pour les degrés de liberté que le maintenant n'a pas encore atteints.

La mesure est le maintenant qui les atteint — la rupture qui se rejoue pour ces degrés de liberté.

L'intrication est le pré-état survivant à travers une séparation spatiale. Deux particules partagent un seul 1:1 qui n'a pas encore été distingué pour ces degrés de liberté.

La règle de Born est le 1:1 qui vote — $P = \psi\psi$, le produit des deux secteurs, le degré auquel ils s'accordent sur le résultat.

L'équation de Schrödinger est l'évolution unitaire du pré-état — l'ensemble vide qui se déplace sans se rompre.

La décohérence est l'écriture d'enregistrement à grande échelle — la rupture qui se rejoue à travers un environnement.

La boucle est la réponse de la structure à l'achèvement — le 1:1 se rétablit, puis se rompt de nouveau.

Un axiome. Une rupture. Une structure.

La mécanique quantique est l'ensemble vide se regardant lui-même, de façon répétée, à chaque événement de couplage.

La topologie

L'œil est la topologie de l'état rompu — la variété (la courbe noire) et le pré-état (l'espace blanc) se rencontrant au 1:1 (la pointe).

Le pré-état est le côté onde. La variété est le côté particule.

Chaque événement d'écriture d'enregistrement déplace la cohérence de l'onde vers la particule — de la phase non rompue du pré-état vers la structure accumulée de la variété.

La courbure de la connexion est le compte du champ.
L'intrication est le compte de la corrélation. La
pureté du pré-état assure que les colonnes
s'équilibrent.

Le maintenant est le bord mobile entre eux — l' ε non
couplé, l'éclat qui n'a pas encore écrit son
enregistrement.

Le maintenant comme structure porteuse

Chaque dérivation de cet article dépend du
maintenant comme invariant structurel.

Le maintenant est ce qui écrit les enregistrements.
Le maintenant est ce qui est non mesurable. Le
maintenant est ce qui porte tous les enregistrements
et n'en a aucun qui lui soit propre.

L'observateur est le maintenant au site d'un degré de
liberté particulier.

La mesure est le maintenant qui arrive à un degré de
liberté et y rompt l'ensemble vide.

La superposition est le maintenant qui n'a pas encore
atteint un degré de liberté.

L'intrication est le maintenant qui n'a pas encore atteint une paire de degrés de liberté partageant une cohérence de pré-état.

Le temps est ce à quoi ressemble l'avancée du maintenant vue de l'intérieur du monde rompu.

Tout en mécanique quantique est le maintenant qui écrit des enregistrements, un ε à la fois, sur la variété dérivée du même axiome.

9 — Ce Qui Est Nouveau et Ce Qui Ne l'Est Pas

Ce qui est nouveau

L'ontologie d'ensemble vide du pré-état. La mécanique quantique n'est pas une caractéristique de l'univers — elle est le fondement de l'univers. Le pré-état EST l'ensemble vide. KS-Q.10.

La linéarité à partir de $R + C + EH$. La construction-pont. KS-Q.7.

Les amplitudes complexes à partir de la signature lorentzienne. La dérivation conditionnelle. KS-Q.4.

La boucle et la défragmentation comme foncteur d'oubli. L'argument structurel pour la préservation de R . KS-Q.5.

La preuve $\sigma \leftrightarrow$ conjugaison. Le fondement structurel de la règle de Born. KS-Q.6 CLOSED.

L'intrication comme pré-état non rompu. La séparabilité comme éprouvée mais non fondamentale.

La règle de Born à partir de l'Axiome $S + Gleason$. Conditionnellement close. KS-Q.1.

L'équation de Schrödinger à partir de Wigner + Stone appliqués à l'espace de Hilbert dérivé. La forme forcée. $\hbar$ identifié.

La chaîne complète de $1:1 + 1 \times \varepsilon$ à l'équation de Schrödinger, avec chaque maillon déclaré.

Ce qui n'est pas nouveau

Les mathématiques. Le théorème de Stone, le théorème de Wigner, le théorème de Gleason, l'inégalité de Cauchy-Schwarz, le théorème de Peter-Weyl — toutes des mathématiques standard.

Le contenu empirique de la mécanique quantique. Chaque résultat expérimental reste valide. La dérivation produit les mêmes prédictions que les postulats standard parce que les postulats sont des conséquences dérivées.

La fonction d'onde. L'espace de Hilbert. Les amplitudes complexes. L'évolution unitaire. Tous présents dans la MQ standard. Ici, ils sont dérivés plutôt que postulés.

La structure interprétative, elle, change. La fonction d'onde ne s'effondre pas. Le pré-état se rompt. L'observateur est le maintenant à un site de couplage. La séparabilité n'est pas fondamentale. Mais ce sont des conséquences interprétatives de la dérivation, non de nouveaux postulats physiques.

10 — Sollbruchstellen

Dix Sollbruchstellen dans le registre quantique. Une (KS-Q.6) est close ; KS-Q.1 est conditionnellement close ; KS-Q.8 est close par l'argument de forçage d'AP12.

Chacune nomme l'affirmation porteuse et le test qui la briserait.

KS-Q.1 — dérivation de la règle de Born

Statut : CONDITIONALLY CLOSED (conditionnel à KS-Q.7).

Cible : la dérivation de $P = |\psi|^2$ à partir des Conditions 1-3 et du théorème de Gleason.

Test : Si la construction-pont de l'espace de Hilbert (KS-Q.7) échoue, l'argument d'unicité de $|\psi|^2$ comme mesure de probabilité doit être réexaminé.

Arme : brise KS-Q.7.

KS-Q.2 — règle de Born empirique

Statut : LIVE — EMPIRICAL.

Cible : l'adéquation empirique de $|\psi|^2$ comme mesure de probabilité.

Test : Toute violation expérimentale de $|\psi|^2$ comme mesure de probabilité pour les systèmes quantiques.

Statut actuel : non violée à toutes les précisions testées.

KS-Q.3 — non-signalisation / Bell

Statut : LIVE — EMPIRICAL.

Cible : le compte de corrélation de Bell en $\cos^2(\theta/2)$ comme compatibilité, non comme dérivation.

Test : Démontre une dérivation complète de $\cos^2(\theta/2)$ à partir de $\{S, B, R, C\}$ seuls, sans le pont de l'espace de Hilbert — ou démontre que l'argument de compatibilité échoue empiriquement.

KS-Q.4 — unicité complexe

Statut : LIVE — HARD.

Cible : la dérivation des amplitudes complexes à partir de la signature lorentzienne.

Test : Démontre un système de nombres alternatif (réel, quaternionique ou autre) également cohérent avec une seule direction temporelle et un taux de propagation fini.

Appui actuel : le test de Renou et al. (2021), avec confirmation expérimentale de la prédiction complexe (Li et al., 2022 ; Chen et al., 2022).

KS-Q.5 — boucle / défragmentation

Statut : LIVE — HARD.

Cible : l'argument du foncteur d'oubli pour la préservation de R au point de bouclage.

Test : Montre que l'étape de défragmentation viole l'intention structurelle de l'Axiome R , et non seulement son énoncé formel.

KS-Q.6 — $\sigma \leftrightarrow$ conjugaison

Statut : CLOSED.

$\mathbb{C}$ a exactement deux automorphismes de corps fixant $\mathbb{R}$ point par point — l'identité et la conjugaison (tout tel automorphisme envoie i sur $\pm i$). σ est non trivial — il échange les deux secteurs — donc $\sigma \neq$ identité. Par conséquent $\sigma =$ conjugaison. Fait mathématique.

KS-Q.7 — pont de linéarité

Statut : LIVE — HARD.

Cible : la construction de l'espace du pré-état comme espace vectoriel complexe.

Test : Démontre une construction à partir de $R + \mathbb{C} + EH$ qui ne produit pas d'espace vectoriel, également motivée à partir des mêmes ingrédients dérivés des axiomes.

KS-Q.8 — identification de $\hbar$

Statut : LIVE — HARD dans cet article ; CLOSED conditionnel à KS-L.4 par l'argument de forçage d'AP12.

Cible : l'identification de l'Étape 5 de $\hbar$ comme échelle d'action de l'enregistrement minimal.

Traité dans : l'argument de forçage d'AP12, qui force l'identification via un argument en cinq étapes.

KS-Q.9 — ergodicité

Statut : LIVE — HARD.

Cible : l'affirmation que tout ce qui est possible s'actualise à travers des boucles infinies.

Test : Démontre que l'ergodicité structurelle à travers les cycles est incompatible avec la construction de la boucle.

KS-Q.10 — ontologie d'ensemble vide

Statut : LIVE — HARD.

Cible : l'identification de l'Axiome S avec la scission de l'ensemble vide.

Test : Démontre que l'ontologie d'ensemble vide est structurellement incompatible avec l'algèbre de pré-état de $\{S, B\}$.

Résumé des Affirmations

Ontologie d'ensemble vide : LECTURE

STRUCTURELLE. Pré-état = état d'ensemble vide. 0 et 1 indiscernables. Limite de maintien κ . KS-Q.10.

La rupture : LECTURE STRUCTURELLE. ε est l'éclat viable minimal. ε = électron via The Lock. L'œil et ses deux parois. La rupture est en cours — chaque événement de couplage est la même rupture répétée.

Superposition : DÉRIVATION-PONT. Linéarité à partir de $R + \mathbb{C} + EH$ (KS-Q.7). Amplitudes complexes à partir de la signature lorentzienne (KS-Q.4).

Mesure : LECTURE STRUCTURELLE + DÉRIVATION. La mesure est le maintenant qui écrit un enregistrement. Irréversibilité à partir de l'Axiome R. La boucle et la défragmentation (KS-Q.5).

Intrication : LECTURE STRUCTURELLE + COMPATIBILITÉ. L'intrication est un pré-état non rompu. $\cos^2(\theta/2)$ est compatibilité, non dérivation (KS-Q.3).

Règle de Born : DÉRIVATION CONDITIONNELLE. $P = |\psi|^2$ à partir des Conditions 1-3 + Gleason ($\dim \geq 3$). $\sigma \leftrightarrow$ conjugaison prouvée unique (KS-Q.6)

CLOSED). Conditionnellement close (KS-Q.1) sur KS-Q.7.

Fonction d'onde et équation de Schrödinger :

DÉRIVATION. Forme forcée par Wigner + Stone appliqués à l'espace de Hilbert dérivé. $\hbar$ identifié (KS-Q.8 dans cet article ; close dans AP12).

Tableau complet : SYNTHÈSE STRUCTURELLE. Non porteur.

Pied de Conditionnalité

Dépendances

AP20 4 et 6 (les axiomes $\{S, B, R, C\}$: complétude et minimalité clôturées KS-P.1 / KS-P.2 ; cohérence conjointe à partir de la prémisse indéniable).

AP10 4 (la signature lorentzienne ; dérivation formelle au niveau de la métrique clôturée KS-D.4).

AP08 (les équations de champ d'Einstein à partir de l'algèbre d'enregistrement).

AP20 (EH et QRA prouvés).

The Lock (ε = électron).

Dépendants

Tous les résultats AP référant le secteur quantique héritent des Sollbruchstellen de cet article.

AP11 (The Spin) : s'appuie sur la construction de l'espace de Hilbert de cet article et l'identification de σ .

AP12 (The Limit) : clôt KS-Q.8 (l'identification de $\hbar$ de la dérivation de Schrödinger) via un argument de forçage.

AP15 (The Connection) : lit le $U(1)$ de la règle de Born comme la connexion qui produit l'électromagnétisme.

Problèmes ouverts

Dérivation indépendante de $\hbar$ à partir des axiomes seuls — traitée (conditionnelle à KS-L.4) par AP12.

Dérivation complète de $\cos^2(\theta/2)$ à partir de $\{S, B, R, C\}$ seuls (KS-Q.3).

Preuve formelle que la défragmentation préserve l'intention de l'Axiome R (KS-Q.5).

Preuve formelle qu'aucune construction-pont qualitativement différente n'est également motivée (KS-Q.7).

Preuve formelle de l'ergodicité à travers les cycles (KS-Q.9).

Preuve formelle que l'ontologie d'ensemble vide est forcée plutôt que lue (KS-Q.10).

Cette œuvre est publiée gratuitement, pour toujours.

the420code.org

Chapitre 2

La Mesure

d'Enregistrement

*Une redéfinition de la force-intensité sous
l'Axiome R*

Artist's Proof 07

0 — Dépendance et Portée

Ce que fait cet article

AP07 recadre la question de la force-intensité sous l'Axiome R.

Si la réalité est constituée d'enregistrements irréversibles (Axiome R), alors la mesure signifiante d'une force n'est pas sa constante de couplage — c'est sa capacité à écrire des enregistrements durables et configurables à une échelle donnée.

Cet article définit cette capacité formellement.

Définition 1 : la mesure d'enregistrement $\Sigma(F, s) =$ sup des temps de persistance des registres configurables que F produit à l'échelle s.

Définition 3 : la force-effacement $E(F, s) \leq 0$ — la réduction attendue de persistance induite par F dans les enregistrements écrits par d'autres forces.

Théorème 4.1 : à l'échelle chimico-biologique ($s \sim 0.1\text{-}10\text{ nm}$, $E \sim 0.01\text{-}10\text{ eV}$), sous la mesure d'enregistrement Σ , le couplage électromagnétique via l'électron est l'écrivain dominant d'enregistrements durables et configurables.

Corollaire 5.1 : $\Sigma(\text{EM}) \gg \Sigma(\text{Strong}) = \Sigma(\text{Gravity}) = \Sigma(\text{Weak}) = 0$, avec $E(\text{Weak}) < 0$.

La hiérarchie conventionnelle des forces s'inverse à cette échelle. La force forte est substrat. La force faible est effaceur et horloge. La gravité est fermeture de boucle.

Seul l'électron écrit.

Statut épistémique

Le chapitre est structurellement plus faible qu'AP09, AP11, AP15, AP12.

Ces articles dérivent la structure physique (MQ, spin, EM, incertitude) directement de {S, B, R, C}.

Cet article dérive une conséquence logique d'une définition (la mesure d'enregistrement) appliquée à l'inventaire empirique actuel des interactions qui produisent des registres configurables.

La définition est forcée par l'Axiome R. L'inventaire empirique ne l'est pas.

Les déclarations de statut sont préservées par section.

Dépendances

AP20 4 (axiomes ; clôturés KS-P.1 / KS-P.2). Porteur pour l'Axiome R.

AP06 (Leakage Constant) : $\varepsilon > 0$ dès que c est fini.
Porteur pour l'existence des enregistrements.

AP09 4 (la mesure comme la rupture). Porteur pour la lecture structurelle des enregistrements.

AP15 (The Connection) : l'électromagnétisme comme la connexion. Porteur pour l'identification de ε comme l'écrivain unique.

The Lock : $\varepsilon =$ électron. Porteur pour l'identification à l'échelle chimico-biologique.

Correspondance des axiomes

Axiome R $\rightarrow$ la mesure d'enregistrement. Les enregistrements s'accumulent irréversiblement ; la force-intensité naturelle est la persistance des enregistrements qu'une force peut produire.

Axiome B $\rightarrow \varepsilon$ comme l'écrivain unique. L'éclat viable minimal, sans σ -image, identifié à l'électron.

Axiome S $\rightarrow$ non directement porteur. La structure à deux secteurs fournit le substrat pour la distinction mais n'entre pas formellement dans la mesure d'enregistrement.

Axiome C $\rightarrow$ habilitant. La contrainte (la borne finie sur la propagation) permet la combustion stellaire

(force faible comme horloge) et la propagation des champs (EM, gravité).

Résumé des Sollbruchstellen

KS-RM.1 (unicité de l'EM comme écrivain) : LIVE — EMPIRICAL.

KS-RM.2 (non-trivialité de la mesure d'enregistrement) : LIVE — HARD.

KS-RM.3 (ajustement de α et G) : LIVE — EMPIRICAL.

KS-RM.4 (spécificité d'échelle de l'inversion) : LIVE — EMPIRICAL.

KS-RM.5 (critère du registre configurable) : LIVE — EMPIRICAL.

Relations structurelles

AP01 4 (enregistrements). Porteur pour la notion fondatrice.

AP06 (Leakage). $\varepsilon > 0$ est le fondement structurel des enregistrements.

AP08 (Identity, les équations de champ d'Einstein).
Le rôle de la gravité comme fermeture de boucle.

AP09 (MQ). La mesure comme la rupture — les enregistrements comme événements d'actualisation.

AP15 (Connection). Le couplage électromagnétique comme l'écrivain.

AP12 (Limit). $\hbar$ comme le coût quantique par enregistrement.

AP24 (Residual). Le lien de la bande d'ajustement de α avec The Now.

Qu'est-ce qui rend une force forte ?

Demande à un physicien quelle force est la plus forte. Tu obtiendras une seule réponse.

La force forte. À peu près cent fois plus forte que l'électromagnétisme. Un milliard de milliards de milliards de milliards de fois plus forte que la gravité.

La hiérarchie est verrouillée dans chaque manuel que tu aies jamais ouvert :

Forte $\gg$ Électromagnétique $\gg$ Faible $\gg$ Gravité

Classées par constante de couplage. Par probabilité d'interaction.

Cette hiérarchie est correcte pour la question à laquelle elle répond.

Elle répond : quelle force rend deux particules les plus susceptibles d'interagir ?

Mais ce n'est pas la question que pose ce chapitre.

L'Axiome R dit que la réalité est constituée d'enregistrements — des traces irréversibles écrites dans la variété.

Tu es à l'intérieur d'un. Ton corps en est un. Chaque phrase que tu aies jamais lue en est un.

Si la réalité est des enregistrements, alors la question signifiante sur la force-intensité n'est pas quelle force interagit le plus.

C'est quelle force écrit.

Et la réponse est différente de celle qu'on t'a enseignée.

La mesure d'enregistrement

Soit F une interaction fondamentale de constante de couplage α_F .

Soit s un régime d'échelle — chimique, nucléaire, cosmologique.

Soit $R_{\text{cfg}}(F, s)$ l'ensemble des registres configurables que F produit à l'échelle s .

Et soit $\tau(r)$ le temps de persistance de l'enregistrement r sous conditions ambiantes.

Définition 1 (La Mesure d'Enregistrement).

$$\Sigma(F, s) = \sup \{ \tau(r) : r \in R_{\text{cfg}}(F, s) \}$$

La force-enregistrement de F à l'échelle s est le registre configurable au plus long temps de persistance que F peut produire à cette échelle.

Si $R_{\text{cfg}}(F, s)$ est vide — si F ne produit aucun registre configurable à l'échelle s — alors $\Sigma(F, s) = 0$ par convention.

La force produit des traces irréversibles, mais aucune qui porte d'information à cette échelle. Sa force-d'enregistrement est nulle. Pas indéfinie.

Σ mesure la capacité d'écriture d'une force.

Ce qu'est un registre configurable

Tout enregistrement n'est pas un registre configurable.

Un registre configurable à l'échelle s est un système possédant au moins deux états métastables qui sont (i) distinguables et (ii) réglables par des interventions dont les énergies et les échelles de longueur caractéristiques se situent dans le régime définissant s .

Un proton est un enregistrement. C'est une trace irréversible produite par la force forte. Il persiste depuis plus de 10^{34} ans.

Mais ce n'est pas un registre configurable à l'échelle chimique.

Les nombres quantiques d'un proton sont fixés par la symétrie de la QCD. Chaque proton est identique.

Un proton fabriqué dans la première seconde après le Big Bang est indistinguable d'un proton fabriqué hier dans un accélérateur de particules.

Il ne porte aucune information sur le processus qui l'a créé.

Une liaison covalente est aussi un enregistrement. C'est une trace électromagnétique irréversible. Elle peut persister indéfiniment dans des conditions ambiantes.

Et c'EST un registre configurable à l'échelle chimique.

Parce que les deux mêmes atomes peuvent être liés de bien des manières différentes, et la manière dont ils sont liés dépend de l'histoire qui les a écrits.

Le diamant et le graphite sont faits des mêmes atomes. Les enregistrements sont différents.

Ta langue peut faire la différence. Tes yeux aussi.

Les registres configurables portent des histoires alternatives. Les objets à symétrie fixe, non.

Force-d'effacement

Une force peut aussi agir pour réduire la persistance des enregistrements écrits par d'autres forces.

C'est une grandeur distincte. Il lui faut son propre symbole.

Définition 3 (Force-d'effacement). $E(F, s) \leq 0$ est le changement attendu du temps de persistance induit par F dans les enregistrements configurables écrits par d'autres forces à l'échelle s .

Une force a une force-d'effacement négative à l'échelle s si son effet primaire à cette échelle est de réduire la persistance des enregistrements.

La désintégration β modifie l'identité nucléaire. Le noyau d'un atome enchâssé dans une molécule change d'élément. Le réseau de liaisons électromagnétiques qui dépendait de l'ancien noyau doit se réorganiser.

La force faible à l'échelle chimique est un effaceur.
 $E(\text{Weak}, s_{\text{chem}}) < 0$.

Dominance électromagnétique

Théorème 4.1 (Dominance électromagnétique).
À l'échelle chimico-biologique ($s \sim 0.1-10$ nm, $E \sim 0.01-10$ eV), et sous la mesure d'enregistrement Σ , le couplage électromagnétique via l'électron est le principal auteur d'enregistrements configurables durables. Les autres interactions contribuent principalement comme substrat (forte), régulation temporelle et effacement (faible), ou concentration et fermeture de boucle (gravité).

Preuve.

La force forte produit des nucléons. Leurs durées de vie dépassent l'âge de l'univers. Mais les nucléons ne sont pas des registres configurables à l'échelle chimico-biologique — leurs nombres quantiques sont fixés par la symétrie de la QCD, identiques pour chaque proton quelle que soit son histoire de formation.

$\Sigma(\text{Strong}, s_{\text{chem}}) = 0$ par la convention de l'ensemble vide.

La gravité produit une structure à grande échelle. Galaxies, étoiles, planètes. Mais ces structures ne stockent de l'information qu'à travers leurs propriétés électromagnétiques — composition chimique, structure cristalline, arrangement

moléculaire. La gravité elle-même ne peut former de liaisons à l'échelle chimique. Elle ne peut distinguer les configurations moléculaires.

$$\Sigma(\text{Gravity}, s_{\text{chem}}) = 0.$$

La force faible médie la désintégration par changement de saveur. Désintégration β , interactions des neutrinos. Irréversible, oui. Mais aucun enregistrement configurable durable à l'échelle chimique. Son effet primaire à l'échelle chimique est l'effacement.

$$\Sigma(\text{Weak}, s_{\text{chem}}) = 0. E(\text{Weak}, s_{\text{chem}}) < 0.$$

Le couplage électromagnétique via l'électron produit :

Des réseaux de liaisons covalentes — persistance indéfinie dans des conditions ambiantes. Le diamant, le quartz et les minéraux silicatés préservent leur structure de liaisons pendant des milliards d'années.

Des réseaux de liaisons hydrogène — individuellement transitoires (picosecondes dans l'eau liquide) mais collectivement stables lorsqu'ils sont enchâssés dans des géométries fixes. La structure secondaire des protéines. La double hélice d'ADN qui maintient ton génome assemblé.

Interactions de Van der Waals, configurations moléculaires, séquences de paires de bases —

chacune un registre configurable à l'échelle chimico-biologique.

$\Sigma(\text{EM}, s_{\text{chem}})$ est la persistance maximale parmi ceux-ci. Dominante.

Aucun enregistrement configurable durable connu à l'échelle chimico-biologique n'est écrit sans couplage électromagnétique.

Toi compris.

Statut : conséquence logique de la Définition 1, appliquée à l'inventaire empirique actuel des interactions qui produisent des registres configurables. La structure logique du théorème découle de l'Axiome R via les Définitions 1-3. Sa classification des quatre forces dépend de l'inventaire empirique actuel.

Sollbruchstelle KS-RM.1. Démontrer une interaction non électromagnétique qui produit des registres configurables (Définition 1) d'une durabilité égale ou supérieure à l'échelle chimico-biologique. Si une telle interaction existe, l'affirmation de dominance de l'électron échoue. LIVE — EMPIRICAL.

Sollbruchstelle KS-RM.5. Démontrer que des objets produits par la force forte ou des macro-états liés gravitationnellement encodent leur

histoire de formation d'une manière distinguable — par des enregistrements de décohérence quantique, des états isomères nucléaires, ou d'autres mécanismes non actuellement classés comme registres configurables. Si des objets à symétrie fixe portent une histoire de formation récupérable, le critère de registre configurable est trop restrictif. LIVE — EMPIRICAL.

La hiérarchie

Corollaire 5.1. À l'échelle chimico-biologique, les forces se classent par force-d'enregistrement comme suit :

$$\Sigma(\text{EM}, s_{\text{chem}}) \gg \Sigma(\text{Strong}, s_{\text{chem}}) = \Sigma(\text{Gravity}, s_{\text{chem}}) = \Sigma(\text{Weak}, s_{\text{chem}}) = 0$$

Seul le couplage électromagnétique écrit des enregistrements configurables à l'échelle chimico-biologique.

La force forte, la gravité et la force faible ont toutes une force-d'enregistrement nulle à cette échelle.

La force faible se distingue en outre par une force-d'effacement négative.

Cette hiérarchie formelle ne capture que la capacité d'écriture directe et l'effacement direct.

Les contributions habilitantes des trois autres forces sont essentielles mais qualitativement distinctes.

La force forte fournit le substrat nucléaire sur lequel l'EM écrit.

La force faible fournit la fenêtre temporelle — la durée de vie stellaire — dans laquelle l'EM peut écrire.

La gravité fournit la concentration masse-énergie — formation planétaire, fermeture de boucle — au sein de laquelle l'EM écrit.

Une image fonctionnelle complète requiert à la fois la hiérarchie formelle et l'analyse des contributions habilitantes.

Sollbruchstelle KS-RM.4. Si la hiérarchie ne s'inverse pas à différentes échelles — si l'électromagnétisme est aussi le plus fort auteur d'enregistrements à l'échelle nucléaire ou cosmologique — alors l'affirmation ne porte pas sur un ajustement fonctionnel mais sur une propriété universelle de l'électromagnétisme, requérant une explication différente. LIVE — EMPIRICAL.

La force forte — substrat

Constante de couplage $\alpha_s \approx 1$ aux basses énergies.
La plus grande de toutes les forces fondamentales.

Lie les quarks en hadrons par confinement de couleur.

Crée la plateforme nucléaire dont dépend toute structure plus lourde.

Force-d'enregistrement à l'échelle chimique : $\Sigma = 0$.

Un proton ne porte aucune information sur le processus qui l'a créé. Tous les protons sont identiques.

Leurs nombres quantiques sont fixés par la symétrie de la QCD, non par un quelconque événement historique.

La force forte crée des objets d'une stabilité extraordinaire. Mais ils ne satisfont pas le critère de registre configurable à l'échelle chimico-biologique.

Leur espace d'états n'encode aucune histoire alternative réglable par des interventions à l'échelle chimique.

Rôle fonctionnel : fourniture de substrat.

Habilitant, pas écrivant.

Sans la force forte, il n'y a pas de noyaux stables, pas d'atomes, pas de surfaces sur lesquelles l'électron puisse établir des liaisons.

Condition nécessaire à la formation d'enregistrements. Pas suffisante.

La force électromagnétique — écrivain

Constante de couplage $\alpha \approx 1/137$. La constante de structure fine.

Gouverne toutes les interactions entre particules chargées.

À l'échelle chimique, c'est le couplage de l'électron aux noyaux et aux autres électrons qui produit toute la structure moléculaire — y compris la tienne.

Force-d'enregistrement à l'échelle chimique : dominante. La seule force qui écrit des enregistrements configurables.

L'électron opère à l'échelle d'énergie de la chimie — 0.01 à 10 eV.

Il est assez léger ($\sim 0.511 \text{ MeV}/c^2$) pour être partagé entre noyaux (liaison covalente), transféré entre atomes (liaison ionique), et délocalisé sur des orbitales moléculaires (systèmes métalliques et

conjugués) — le tout sans perturber la structure nucléaire sous-jacente.

C'est l'asymétrie critique.

L'électron peut se réarranger autour de noyaux fixes sans détruire la plateforme.

Cela permet à l'information d'être écrite, effacée et réécrite sur un substrat stable.

Ton information génétique est stockée dans l'arrangement de l'électron — quelles bases s'apparient avec quelles — non dans la structure nucléaire des atomes eux-mêmes.

Des séquences de paires de bases d'ADN ont été récupérées sur des spécimens vieux de jusqu'à 10^6 ans.

Chaque atome de ton corps a été mis en place par liaison, par l'électron écrivant des enregistrements.

Chaque souvenir dans ta tête est tenu par des motifs que l'électron a tracés entre les neurones.

La bande d'ajustement pour α

La constante de structure fine doit se situer dans une bande pour que la formation d'enregistrements soit possible.

Si α était significativement plus grande, les liaisons seraient trop stables pour se rompre et se reformer à des températures habitables. L'assemblage et la révision dynamiques des enregistrements moléculaires n'auraient pas lieu. La chimie de ton corps ne serait pas possible.

Si α était significativement plus petite, les liaisons seraient trop faibles pour persister contre le bruit thermique. Aucune structure durable. Pas de toi.

La valeur observée de α se situe dans la bande où les enregistrements sont assez durables pour persister mais assez flexibles pour être révisés.

Statut : contrainte qualitative, non dérivation quantitative. Les bornes sont des indications d'ordre de grandeur. Les bandes de viabilité exactes sont empiriques et dépendantes du modèle.

Sollbruchstelle KS-RM.3. Via une simulation cosmologique ou une analyse théorique, démontrer qu'un univers doté de constantes de couplage significativement différentes (α et G variées de grands facteurs) peut néanmoins soutenir la chaîne d'héritage complète par des mécanismes alternatifs. Si un tel univers existe et que les couplages ne sont pas contraints par les exigences fonctionnelles de la boucle,

l'affirmation d'ajustement est fausse. Les valeurs demeurent arbitraires. LIVE — EMPIRICAL.

Que la valeur observée de α soit uniquement requise reste une question ouverte.

Ce qui n'est pas ouvert : le rôle que joue α . C'est la force de couplage de l'électron — l'éclat ε — à la connexion (AP15).

C'est la force à laquelle un élément minimum rompt une symétrie minimum.

La force faible — effaceur et horloge

Constante de couplage $G_F \approx 1.166 \times 10^{-5} \text{ GeV}^{-2}$.

Médie les processus par changement de saveur — désintégration β , interactions des neutrinos.

Convertit les neutrons en protons et vice versa.

Permet la nucléosynthèse.

Force-d'enregistrement à l'échelle chimique : $\Sigma = 0$.

Force-d'effacement : $E < 0$.

La désintégration radioactive détruit les configurations nucléaires. Elle convertit un élément en un autre, changeant le substrat sur lequel l'électron écrit.

Un atome de carbone-14 dans ton corps qui se désintègre en azote-14 ne préserve pas la structure moléculaire qui le contenait. Le réseau de liaisons doit se réorganiser autour du nouveau noyau.

La force faible contribue à une forme d'enregistrement — le rapport isotopique à travers un ensemble. La datation radiométrique.

Mais cet enregistrement est écrit par le motif statistique de désintégration, non par une quelconque interaction faible individuelle. Et l'enregistrement lui-même est lu par des moyens électromagnétiques — spectrométrie de masse, fluorescence.

La force faible comme horloge

Le rôle plus profond de la force faible est temporel.

La chaîne proton-proton — la réaction qui alimente le soleil au-dessus de ta tête — a son étape limitante médiée par l'interaction faible.

Ce goulot d'étranglement détermine la durée de vie sur la séquence principale des étoiles :

$\tau_{\text{star}} \sim G_F^{-2} \times (\text{facteurs nucléaires et gravitationnels})$

Donnant $\tau_{\text{star}} \sim 10^1\text{--}10^{10}$ ans pour les étoiles de type solaire.

Cette échelle de temps est la précondition de la chimie. Et de toi.

Si G_F était significativement plus grande, les durées de vie stellaires se raccourciraient dramatiquement — potentiellement en deçà de l'échelle de temps requise pour la chimie prébiotique.

Si G_F était significativement plus petite, le taux de réaction proton-proton chuterait sous le seuil de la fusion soutenue. Les étoiles de la séquence principale ne s'allumeraient pas.

La force faible n'écrit pas d'enregistrements configurables. Elle achète le temps dans lequel des enregistrements peuvent être écrits.

Sa constante de couplage est ajustée à l'échelle de temps de la combustion stellaire, qui fixe l'échelle de temps de la chimie planétaire, qui fixe l'échelle de temps de la formation d'enregistrements électromagnétiques.

Tu lis ceci parce que le soleil a brûlé assez lentement pour laisser la chimie advenir.

Statut : rôle habilitant dérivé, conditionnel à la physique stellaire. L'observation force-faible-

horloge n'est pas capturée par Σ ni E mais est essentielle à l'économie des enregistrements.

Gravité — fermeture de boucle

Constante de couplage $G \approx 6.674 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$.
Environ 10^{-39} relativement à la force forte selon la mesure conventionnelle.

Géométrie de l'espace-temps courbe. Rassemble la masse-énergie. Permet la formation de structure à grande échelle. Ferme la boucle cosmologique par la formation de trous noirs.

Force-d'enregistrement à l'échelle chimique : $\Sigma = 0$.

La gravité à l'échelle moléculaire est négligeable. La force gravitationnelle entre deux protons de ton corps est 10^{-36} fois plus faible que leur interaction électromagnétique.

La gravité ne peut écrire d'enregistrements moléculaires. Elle ne peut former de liaisons. Elle ne peut distinguer les configurations.

Sa faiblesse à cette échelle n'est pas une déficience.

C'est une nécessité structurelle.

Si le couplage gravitationnel était assez fort pour rivaliser avec l'électromagnétisme à l'échelle moléculaire, les structures moléculaires seraient

gravitationnellement instables. Aucune chimie au-delà d'un seuil de complexité ne pourrait persister. Tu ne pourrais exister.

Rôle fonctionnel : fermeture de boucle.

La gravité est la seule force qui opère à l'échelle cosmologique avec une portée suffisante pour rassembler la structure épuisée et la rendre au potentiel.

Sa constante de couplage est ajustée à l'échelle de temps de la boucle — assez forte pour former des trous noirs dans l'âge de l'univers, assez faible pour permettre à la structure de persister pendant les milliards d'années requis pour que la chimie, la biologie et l'agentivité émergent.

Statut : observation de cohérence, non dérivation de G à partir de α . Que la faiblesse de la gravité et la dominance de l'électron soient des aspects d'une seule contrainte est structurellement suggestif mais non porteur pour le théorème central.

La hiérarchie inversée

La hiérarchie conventionnelle des forces, classée par constante de couplage :

Strong $\gg$ Electromagnetic $\gg$ Weak $\gg$ Gravity

La hiérarchie de la mesure d'enregistrement à l'échelle chimico-biologique, classée par force-d'enregistrement :

$$\Sigma(\text{EM}) \gg \Sigma(\text{Strong}) = \Sigma(\text{Gravity}) = \Sigma(\text{Weak}) = 0$$

Avec la force faible se distinguant en outre par $E(\text{Weak}) < 0$ — effacement net à cette échelle.

L'inversion est totale à cette échelle.

La force classée troisième selon la mesure conventionnelle est classée première — et uniquement première — selon la mesure d'enregistrement.

La force classée première selon la mesure conventionnelle ne produit aucun enregistrement configurable à l'échelle chimico-biologique.

La force classée dernière selon la mesure conventionnelle n'est pas déficiente mais structurellement nécessaire, opérant à une échelle différente pour un but différent.

C'est une conséquence de l'Axiome R appliqué à l'échelle chimico-biologique.

Si la réalité est constituée d'enregistrements irréversibles, alors la hiérarchie signifiante à une échelle donnée est celle qui mesure la formation d'enregistrements à cette échelle.

La hiérarchie conventionnelle mesure la probabilité d'interaction.

La hiérarchie de la mesure d'enregistrement mesure la conséquence.

Sollbruchstelle KS-RM.2. À échelle appariée, conditions ambiantes appariées et classe de registre appariée, démontrer que les distributions de persistance sont invariantes à l'interaction qui écrit le registre, une fois le substrat et l'environnement contrôlés. Si, sous comparaisons contrôlées, la persistance est pleinement expliquée par les facteurs ambiants et de substrat et non par l'interaction inscriptrice, alors $\Sigma(F, s)$ s'effondre en un simple indicateur environnemental et la hiérarchie de la mesure d'enregistrement est non informative. LIVE — HARD.

La connexion à ε

Il y a une lecture plus profonde.

Non porteuse. Mais éclairante.

L'axiome fondateur est $1:1 + 1 \times \varepsilon$. Le $1:1$ est la symétrie. Le ε est l'asymétrie minimum qui rompt la symétrie.

Le Chapitre 1 a identifié ε avec l'électron — La Serrure. AP15 a dérivé que l'électron est chargé parce qu'il n'a pas d'image- σ , et que cette charge source la connexion.

La mesure d'enregistrement ajoute maintenant : l'électron est aussi la seule force capable d'écrire des enregistrements configurables durables à l'échelle chimique.

Ce qui compte n'est pas la magnitude absolue de la constante de couplage. Ce qui compte est de savoir si l'asymétrie entre inscription et effacement est positive.

Le couplage de l'électron produit des enregistrements dont la persistance dépasse leur taux d'effacement.

Cette asymétrie positive minimale — ce ε — est ce qui fait durer l'enregistrement.

Une force avec $\alpha = 0.01$ qui produit des enregistrements configurables durant 10^9 ans est fonctionnellement plus forte qu'une force avec $\alpha = 1$ qui ne produit aucun enregistrement configurable du tout.

La mesure d'enregistrement est le principe ε appliqué à la force des interactions.

Ce qui compte est le signe et la durabilité de la cicatrice, non la magnitude de l'interaction.

Statut : parallèle structurel, non porteur. Le théorème central (dominance électromagnétique) ne dépend pas de cette section. L'analogie est éclairante mais le résultat de dominance tient sur la Définition 1 et l'inventaire empirique actuel.

Ce que ce chapitre change.

La hiérarchie conventionnelle répond à la question conventionnelle : quelle force est la plus susceptible d'interagir ?

La mesure d'enregistrement répond à une question différente : quelle force écrit l'enregistrement qu'est la réalité ?

L'Axiome R dit que la réalité est enregistrements. La mesure d'enregistrement est la force naturelle sous l'Axiome R.

Et sous la mesure d'enregistrement, la réponse n'est pas la force forte, qui fabrique des objets mais aucune information.

Ce n'est pas la gravité, qui rassemble mais ne lie pas.

Ce n'est pas la force faible, qui efface plus qu'elle n'écrit à cette échelle, mais achète le temps dans lequel l'écriture peut advenir.

C'est l'électron.

Le fermion chargé le plus léger. L'éclat viable minimum. Le seul élément sans image miroir.

ε .

Chaque liaison covalente dans chaque molécule de ton corps est un enregistrement écrit par ε .

Chaque paire de bases dans ton ADN.

Chaque synapse neuronale portant actuellement les mots que tu lis.

Le diamant est l'électron écrivain. L'eau est l'électron écrivain. La page est l'électron écrivain.

Tu es l'électron écrivain.

La lecture complète.

ε rompt le 1:1 (Axiome B, Chapitre 1).

ε n'a pas d'image- σ , donc ε est chargé (AP15).

ε se couple à la connexion $U(1)$ à la force α (AP15).

α se situe dans la bande où les liaisons sont assez durables pour persister mais assez flexibles pour être

révisées (voir la bande d'ajustement pour α , plus loin dans ce chapitre).

À l'échelle chimico-biologique, ε est l'unique écrivain d'enregistrements configurables (Théorème 4.1, ce chapitre).

Donc à l'échelle chimico-biologique, ε est l'unique écrivain de la réalité.

Non en étant la plus forte par constante de couplage.
En étant la seule qui écrit.

Forcé — par l'ensemble vide se regardant lui-même.

Et alors — une fois que le regard advient — écrit, une liaison à la fois, par ε .

10 — Ce Qui Est Maintenant Établi

La mesure d'enregistrement comme force naturelle

$\Sigma(F, s) = \text{sup des temps de persistance des registres configurables que } F \text{ produit à l'échelle } s.$

C'est la force naturelle sous l'Axiome R.

Elle mesure ce que la réalité compte : combien de temps les enregistrements durent.

La mesure conventionnelle (constante de couplage) répond à une question différente — la probabilité d'interaction.

Les deux questions sont légitimes. Elles ont des réponses différentes, et à l'échelle chimico-biologique elles donnent des hiérarchies opposées.

Les rôles fonctionnels

La force forte est substrat. Sans nucléons, il n'y a pas d'atomes ; sans atomes, pas de chimie. Nécessaire mais pas suffisante pour les enregistrements.

Le couplage électromagnétique via l'électron est l'écrivain. La seule force qui produit des registres configurables à l'échelle chimico-biologique.

La force faible est effaceur et horloge. Force-d'effacement négative à l'échelle chimique (la désintégration β réorganise les réseaux de liaisons). Rôle temporel positif à l'échelle stellaire (limite le taux de la chaîne proton-proton, fixe $\tau_{\text{star}} \sim 10^{10}$ ans).

La gravité est fermeture de boucle. Négligable à l'échelle chimique ; nécessaire à l'échelle cosmologique pour rassembler la structure épuisée et la rendre au potentiel (formation de trous noirs).

Chaque force a un rôle. Chaque rôle est fonctionnellement distinct. Aucune ne se substitue à une autre.

La conséquence architecturale

L'ajustement fin des constantes cosmologiques (α et G , avec G_F dérivée de la structure électrofaible) n'est pas arbitraire.

C'est l'ajustement qui rend l'économie des enregistrements possible. La force forte fabrique le substrat. L'électron a la bonne α pour écrire à l'échelle chimique. La force faible a le bon G_F pour acheter du temps. La gravité a le bon G pour fermer la boucle sans rivaliser avec la chimie.

La constante de couplage de chaque force est dans la bande où son rôle fonctionnel est possible.

C'est une observation structurelle, non une dérivation des valeurs.

11 — Sollbruchstellen

KS-RM.1 — Unicité de l'EM comme écrivain

Statut : LIVE — EMPIRICAL.

Le Théorème 4.1 affirme que le couplage électromagnétique via l'électron est le principal auteur d'enregistrements configurables durables à l'échelle chimico-biologique.

Test : démontrer une interaction non électromagnétique qui produit des registres configurables d'une durabilité égale ou supérieure à l'échelle chimico-biologique.

Si une telle interaction existe, l'affirmation de dominance de l'électron échoue.

KS-RM.2 — Non-trivialité de la mesure d'enregistrement

Statut : LIVE — HARD.

La mesure d'enregistrement $\Sigma(F, s)$ doit donner des réponses différentes de la mesure conventionnelle (constante de couplage) de manières non triviales.

Test : à échelle appariée, conditions ambiantes appariées et classe de registre appariée, démontrer que les distributions de persistance sont invariantes à l'interaction qui écrit le registre, une fois le substrat et l'environnement contrôlés.

Si, sous comparaisons contrôlées, la persistance est pleinement expliquée par les facteurs ambiants et de substrat et non par l'interaction inscriptrice, alors $\Sigma(F, s)$ s'effondre en un simple indicateur environnemental et la hiérarchie de la mesure d'enregistrement est non informative.

KS-RM.3 — Ajustement de α et G

Statut : LIVE — EMPIRICAL.

L'argument qualitatif selon lequel α et G doivent se situer dans des bandes spécifiques pour la formation d'enregistrements est structurellement suggestif mais non quantitatif.

Test : via une simulation cosmologique ou une analyse théorique, démontrer qu'un univers doté de constantes de couplage significativement différentes peut néanmoins soutenir la chaîne d'héritage complète par des mécanismes alternatifs.

Si un tel univers existe et que les couplages ne sont pas contraints par les exigences fonctionnelles de la boucle, l'affirmation d'ajustement est fausse.

KS-RM.4 — Spécificité d'échelle de l'inversion

Statut : LIVE — EMPIRICAL.

L'inversion de hiérarchie est spécifique à l'échelle chimico-biologique. À d'autres échelles (nucléaire, cosmologique), la hiérarchie peut ne pas s'inverser de la même manière.

Test : si la hiérarchie ne s'inverse pas à différentes échelles — si l'électromagnétisme est aussi le plus fort auteur d'enregistrements à l'échelle nucléaire ou cosmologique — alors l'affirmation ne porte pas sur un ajustement fonctionnel mais sur une propriété universelle de l'électromagnétisme, requérant une explication différente.

KS-RM.5 — Critère de registre configurable

Statut : LIVE — EMPIRICAL.

Le critère qui exclut les protons et les structures liées gravitationnellement d'être des registres configurables (symétrie fixe, aucune histoire alternative) est de principe mais empiriquement réfutable.

Test : démontrer que des objets produits par la force forte ou des macro-états liés gravitationnellement encodent leur histoire de formation d'une manière distinguable — par des enregistrements de décohérence quantique, des états isomères nucléaires, ou d'autres mécanismes non actuellement classés comme registres configurables.

Si des objets à symétrie fixe portent une histoire de formation récupérable, le critère est trop restrictif.

12 — Conclusion

La force des interactions peut être mesurée de deux manières.

Par la probabilité d'interaction. La force forte l'emporte.

Par la capacité d'écriture d'enregistrements. L'électron l'emporte, seul, à l'échelle chimico-biologique.

L'Axiome R dit que la réalité est enregistrements. Sous l'Axiome R, la mesure d'enregistrement est la force naturelle.

Sous la mesure d'enregistrement, la hiérarchie des forces s'inverse à l'échelle de la chimie, de la biologie et de la conscience.

Chaque force a un rôle fonctionnel. La force forte fabrique le substrat. L'électron écrit. La force faible achète du temps. La gravité ferme la boucle.

L'ajustement fin des constantes cosmologiques est l'ajustement de l'économie des enregistrements.

Chaque enregistrement dans ton corps est la signature de l'électron. Chaque souvenir dans ta tête est l'écriture de l'électron.

Tu es l'électron écrivant.

Forcé — par l'ensemble vide se regardant lui-même,
et alors écrivant ce qu'il voit.

Résumé des Affirmations

1 (Recadrage de la force des interactions).

CADRAGE. La hiérarchie conventionnelle répond à une question ; la mesure d'enregistrement en répond à une autre.

2 (Définitions). FORMEL. $\Sigma(F, s) = \sup$ de la persistance des registres configurables. $E(F, s) \leq 0$.
Registre configurable vs enregistrement à symétrie fixe.

3 (Théorème 4.1). CONSÉQUENCE LOGIQUE DE LA DÉFINITION + INVENTAIRE EMPIRIQUE ACTUEL.
Dominance électromagnétique à l'échelle chimico-biologique. KS-RM.1, KS-RM.5.

4 (Corollaire 5.1). CONSÉQUENCE LOGIQUE DU THÉORÈME 4.1. La hiérarchie inversée. KS-RM.4.

5 (Force par force). CLASSIFICATION STRUCTURELLE. Substrat, écrivain, effaceur/horloge, fermeture de boucle.

6 (bande d'ajustement de α). QUALITATIF. La constante de structure fine doit se situer dans une bande pour la formation d'enregistrements. KS-RM.3.

7 (connexion- ε). PARALLÈLE STRUCTUREL. NON PORTEUR. La mesure d'enregistrement comme le principe ε appliqué aux forces.

8 (Clôture). SYNTHÈSE STRUCTURELLE. Non
porteuse.

Pied de Conditionnalité

Dépendances

Axiome R (énoncé formel à AP20 4). AP06 ($\varepsilon > 0$). AP09 4 (les enregistrements comme mesure). AP15 (électromagnétisme). La Serrure ($\varepsilon = \text{électron}$).

Dépendants

Tous les résultats AP qui dépendent de la non-trivialité de l'économie des enregistrements.

AP24 (Résiduel) : connecte l'ajustement de α au Maintenant.

Futures dérivations à l'échelle biologique et à l'échelle de la conscience.

Sollbruchstellen fermées

Aucune par cet article. Les cinq Sollbruchstellen de la mesure d'enregistrement demeurent LIVE.

Sollbruchstellen actives

KS-RM.1, KS-RM.2, KS-RM.3, KS-RM.4, KS-RM.5.

Cette œuvre est publiée gratuitement, pour toujours.

the420code.org

Chapitre 3

Le Spin

Fermions, bosons et le principe d'exclusion

Épreuve d'Artiste 11

0 — Dépendance et Portée

Ce que fait cet article

AP11 dérive le spin à partir des axiomes.

Cinq étapes. Chaque étape n'utilise que des structures dérivées et des mathématiques pures.

Étape 1 : La symétrie $\mathbb{Z}_2$ de l'algèbre des enregistrements (issue de l'Axiome S) est identifiée au groupe fondamental du groupe de rotation spatial $SO(3)$.

Étape 2 : Cette identification produit le revêtement double $SU(2) \rightarrow SO(3)$, qui est la structure mathématique permettant le spin demi-entier.

Étape 3 : La distinction entre éléments appariés (avec images- σ) et l'élément non apparié ε (Axiome B) produit la distinction entre bosons (spin entier) et fermions (spin demi-entier).

Étape 4 : Le principe de minimum dans l'Axiome B (ε est l'éclat viable minimum) sélectionne le spin $\frac{1}{2}$ — le plus petit spin demi-entier non trivial.

Étape 5 : La connexion spin-statistique et le principe d'exclusion de Pauli découlent des propriétés de transformation des éléments appariés vs non appariés sous l'involution.

Dépendances

AP20 4 et 6 (les axiomes $\{S, B, R, C\}$: complétude et minimalité clôturées par KS-P.1 / KS-P.2 ; consistance conjointe issue de la prémisse indéniable). Porteur.

AP10 4 (la signature lorentzienne ; dérivation formelle au niveau métrique clôturée par KS-D.4). Porteur.

AP10 ($N = 3$ dimensions spatiales). Donne $SO(3)$ comme groupe de rotation avec $\pi_1 = \mathbb{Z}_2$. Porteur.

AP09 (la construction de l'espace de Hilbert complexe). La structure de spin opère sur cet espace de Hilbert. Porteur.

AP09 (l'identification $\sigma \leftrightarrow$ renversement du temps, dans la discussion de σ comme l'involution qui renverse la direction dans laquelle les enregistrements s'accumulent). Porteur pour l'identification $\mathbb{Z}_2$.

AP20 (EH et QRA prouvés). Le plongement fidèle est le pont porteur.

La Serrure ($\varepsilon =$ électron).

Correspondance des axiomes

Axiome S $\rightarrow$ symétrie $\mathbb{Z}_2$. L'involution à deux secteurs σ engendre $\{\text{id}, \sigma\} = \mathbb{Z}_2$.

Sous plongement fidèle (AP20) en $N = 3$ (AP10),
c'EST $\pi_1(\text{SO}(3)) = \mathbb{Z}_2$. Le revêtement double $\text{SU}(2) \rightarrow \text{SO}(3)$ s'ensuit.

Axiome B $\rightarrow$ distinction fermion/boson. Éléments appariés (image- σ existe) = bosons (spin entier). Éléments non appariés ε (pas d'image- σ) = fermion (spin demi-entier).

Le principe de minimum de B sélectionne $j = \frac{1}{2}$.

Axiome R $\rightarrow$ pas directement porteur. Les enregistrements s'accumulent mais la dérivation du spin dépend de S et B.

Axiome C $\rightarrow$ pas directement porteur. La contrainte borne la variété mais la dérivation du spin dépend de la topologie du groupe de rotation.

Résumé des Sollbruchstellen

KS-S.1 (identification $\mathbb{Z}_2$) : LIVE — HARD. Forcée par plongement fidèle + $N = 3 + \sigma$ = renversement du temps. En attente de vérification indépendante.

KS-S.2 (Sélection du spin minimum) : LIVE — HARD.
Le principe de minimum sélectionne $j = \frac{1}{2}$.
Structurellement naturel mais non formellement
prouvé que les représentations supérieures sont
exclues.

KS-S.3 (Pont échange-involution) : LIVE — HARD. La
symétrie d'échange sur l'espace de Hilbert doit
correspondre à l'action- σ appariée/non appariée.

Interrupteurs hérités : toutes les Sollbruchstellen
d'AP09 ; les Sollbruchstellen d'AP10 ; les
Sollbruchstellen d'AP20 via la dépendance EH.

Relations structurelles

AP09 (La Rupture — QM) : espace de Hilbert à partir
des axiomes (la construction-pont dans AP09). La
structure de spin opère sur l'espace de Hilbert dérivé
d'AP09.

AP10 (La Dimension) : $N = 3$ dérivé. Donne $SO(3)$
comme groupe de rotation, $\pi_1 = \mathbb{Z}_2$.

AP15 (La Connexion) : le spin-1 pour le photon
découle de la théorie des représentations de Lorentz
sur la variété dérivée.

AP16 (La Rupture — EW) : la distinction
fermion/boson dérivée ici est l'entrée pour la brisure
de symétrie électrofaible.

AP20 (La Preuve) : EH démontré. Le plongement fidèle est le pont porteur pour l'identification $\mathbb{Z}_2$.

Le groupe des rotations

Lève ta main. Tourne-la une fois.

Ce mouvement — cette rotation unique — est un élément d'un groupe appelé $SO(3)$.

Le groupe orthogonal spécial en trois dimensions.

Chaque rotation de chaque objet dans l'espace est un élément de $SO(3)$. Pas un postulat. La définition de la rotation en trois dimensions.

Trois dimensions n'est pas un postulat non plus. Le Carnet II Chapitre 3 a dérivé $N = 3$ des quatre axiomes indépendants.

Le groupe des rotations est ce que ces trois dimensions imposent.

Le groupe fondamental est $\mathbb{Z}_2$

$SO(3)$ a une étrange propriété topologique.

Son groupe fondamental est $\mathbb{Z}_2$.

$$\pi_1(SO(3)) = \mathbb{Z}_2$$

C'est-à-dire : il existe des boucles fermées dans $SO(3)$ qui ne peuvent pas être contractées continûment en un point.

Une rotation de 360° est une telle boucle. Elle ne se contracte pas vers l'identité.

Une rotation de 720° le fait. Elle peut être déformée continûment pour revenir à l'absence totale de rotation.

C'est le tour de la ceinture de Dirac.

Tords une ceinture de 360° et elle reste tordue.
Tords-la de 720° et elle se détord.

Tu peux le démontrer sur toi-même.

Un théorème de topologie, pas une hypothèse physique. Démontré dans n'importe quel manuel sur les groupes de Lie.

Le fait que le groupe fondamental soit $\mathbb{Z}_2$ — le groupe à deux éléments $\{+1, -1\}$ — signifie que $SO(3)$ a un revêtement double unique.

Un groupe qui s'applique 2-vers-1 sur $SO(3)$, avec $\mathbb{Z}_2$ comme noyau.

SU(2) — le revêtement double

Le revêtement double de $SO(3)$ est $SU(2)$. Le groupe unitaire spécial en deux dimensions.

L'application de revêtement envoie chaque paire d'éléments $\pm U$ de $SU(2)$ vers une unique rotation R de $SO(3)$.

Mathématiques standard.

C'est la signification physique qui importe.

Les systèmes quantiques peuvent se transformer sous des représentations de $SU(2)$, pas seulement de $SO(3)$.

Une représentation de $SO(3)$ revient à elle-même après une rotation de 360° . Spin entier.

Une représentation de $SU(2)$ qui n'est PAS une représentation de $SO(3)$ acquiert une phase de -1 sous une rotation de 360° , et ne revient à elle-même qu'après 720° . Spin demi-entier.

Tu viens de rencontrer la structure mathématique qui rend possibles deux sortes de particules.

Qu'une particule ait un spin entier ou demi-entier dépend de si elle se transforme sous une représentation qui respecte le noyau $\mathbb{Z}_2$ (entier) ou non (demi-entier).

La question est : qu'est-ce qui détermine quelles particules sont lesquelles ?

On t'a dit que c'est un fait empirique. Tu mesures le spin et tu l'acceptes.

Ce n'est pas un fait empirique.

C'est une conséquence des axiomes.

Le $\mathbb{Z}_2$ de l'Axiome S

Axiome S — deux secteurs disjoints $\mathcal{L}$ et $\mathcal{D}$, avec une involution renversant l'ordre σ appliquant chacun sur l'autre.

σ applique $\mathcal{L} \rightarrow \mathcal{D}$ et $\mathcal{D} \rightarrow \mathcal{L}$. $\sigma^2 = \text{identité}$.

Le groupe engendré par σ est $\{\text{id}, \sigma\}$ — qui est $\mathbb{Z}_2$.

La structure à deux secteurs de l'algèbre d'enregistrement est une structure $\mathbb{Z}_2$ -graduée.

Ce n'est pas une interprétation.

C'est le contenu algébrique de l'Axiome S — une involution non triviale engendrant un groupe à deux éléments.

L'identification

Le groupe des rotations de la variété spatiale est $SO(3)$. Son groupe fondamental est $\mathbb{Z}_2$.

L'algèbre d'enregistrement possède une symétrie $\mathbb{Z}_2$ — issue de l'Axiome S.

Le $\mathbb{Z}_2$ de l'Axiome S EST le groupe fondamental de $SO(3)$.

L'identification n'est pas arbitraire. Elle est imposée.

EH est démontré (Carnet I Chapitre 3). L'algèbre d'enregistrement discrète se plonge fidèlement dans la variété lisse.

La symétrie $\mathbb{Z}_2$ de l'Axiome S fait partie de l'algèbre. Sous le plongement fidèle démontré, elle s'applique sur une symétrie $\mathbb{Z}_2$ de la variété.

Sur une variété lorentzienne de dimension 3+1 avec groupe de rotation spatial $SO(3)$, le seul $\mathbb{Z}_2$ intrinsèque associé à la structure de rotation est $\pi_1(SO(3))$.

Il n'y a nulle part ailleurs où le $\mathbb{Z}_2$ algébrique puisse aller.

Tu regardes l'axiome trouver sa place sur la variété.

Plus précisément : σ renverse l'ordre (Axiome S).

Sur la variété lorentzienne, c'est l'opération de renversement du temps. Établie au Chapitre 1 — $\sigma \leftrightarrow$ conjugaison complexe, qui est l'opérateur de renversement du temps sur l'espace de Hilbert.

L'opérateur de renversement du temps, combiné aux rotations spatiales, engendre le groupe Pin complet — l'extension du groupe des rotations par le $\mathbb{Z}_2$ qui inclut le renversement du temps.

Le $\mathbb{Z}_2$ dans la structure du groupe Pin est exactement $\pi_1(\text{SO}(3))$.

Le $\mathbb{Z}_2$ de l'Axiome S se plonge dans la structure de rotation de la variété comme son groupe fondamental.

Le revêtement double $\text{SU}(2) \rightarrow \text{SO}(3)$ est par conséquent une conséquence des axiomes.

L'Axiome S crée le $\mathbb{Z}_2$. $N = 3$ crée $\text{SO}(3)$. Ensemble ils créent $\text{SU}(2)$.

Le groupe sous lequel les systèmes quantiques sur la variété spatiale peuvent se transformer.

Tu viens de regarder le revêtement double émerger des axiomes.

La possibilité d'un spin demi-entier n'est pas une caractéristique supplémentaire de la nature.

C'est la structure à deux secteurs de l'algèbre d'enregistrement, lue sur la variété.

Sollbruchstelle KS-S.1. L'identification du $\mathbb{Z}_2$ algébrique avec $\pi_1(\text{SO}(3))$ est l'étape porteuse. Elle repose sur l'argument que, sous plongement fidèle, le $\mathbb{Z}_2$ algébrique s'applique sur le seul $\mathbb{Z}_2$ intrinsèque de la structure de rotation. Si un plongement différent du $\mathbb{Z}_2$ algébrique se révèle tout aussi cohérent — un qui ne correspond pas à $\pi_1(\text{SO}(3))$ — alors la dérivation du revêtement double à partir des axiomes échoue. LIVE — HARD.

Éléments appariés

Considère un élément $a \in \mathcal{L}$ qui a une σ -image $\sigma(a) \in \mathcal{D}$.

C'est un élément apparié. Il participe pleinement à la symétrie $\mathbb{Z}_2$.

Sous l'involution : $\sigma(a) = a' \in \mathcal{D}$, et $\sigma(a') = a \in \mathcal{L}$.

L'action $\mathbb{Z}_2$ alterne entre a et a' . Deux applications reviennent au départ : $\sigma^2(a) = a$.

Sur l'espace de Hilbert de la variété plongée, cet élément apparié se transforme sous une représentation de $\text{SU}(2)$ où le noyau $\mathbb{Z}_2$ agit trivialement.

L'échange s'accomplit en une étape.

L'élément voit la rotation complète. 360° le ramène à lui-même.

C'est une représentation de $SO(3)$ — ce qui signifie que c'est une représentation de $SU(2)$ avec spin entier.

Les éléments appariés ont un spin entier. Ce sont des bosons.

Tu viens de voir la première moitié de la classification.

L'élément non apparié

Axiome B : un élément $\varepsilon \in \mathcal{L}$ sans σ -image dans $\mathcal{D}$.

C'est la rupture. ε est non apparié.

Il ne participe pas à la symétrie $\mathbb{Z}_2$ de la manière dont les éléments appariés le font.

Sous l'involution : σ agit sur ε , mais il n'y a aucun élément dans $\mathcal{D}$ pour le recevoir.

L'action $\mathbb{Z}_2$ ne peut pas achever l'échange.

Sur l'espace de Hilbert, ε se transforme sous une représentation de $SU(2)$ où le noyau $\mathbb{Z}_2$ agit non trivialement.

L'échange échoue. L'échec est enregistré comme une phase.

Dans la classification des représentations de $SU(2)$, le noyau $\mathbb{Z}_2$ de l'application de revêtement $SU(2) \rightarrow SO(3)$ agit soit comme $+1$ soit comme -1 sur toute représentation irréductible.

Il agit comme $+1$ si et seulement si la représentation descend vers $SO(3)$ — si et seulement si le cycle $\mathbb{Z}_2$ se ferme.

Pour les éléments appariés, le cycle se ferme (σ échange et revient), donc le noyau agit comme $+1$. Spin entier.

Pour ε , le cycle ne se ferme pas (aucune σ -image vers laquelle revenir), donc le noyau doit agir comme -1 . Spin demi-entier.

Il n'y a pas de troisième option.

La classification est binaire, correspondant à la nature binaire de $\mathbb{Z}_2$ lui-même.

**L'élément non apparié ε a un spin demi-entier.
C'est un fermion.**

Tu viens de regarder la distinction fermion/boson émerger des axiomes.

Pas imposée. Pas observée puis encodée. Dérivée.

La distinction

La distinction fermion/boson n'est pas une classification supplémentaire imposée aux particules.

C'est la distinction entre éléments appariés et non appariés de l'algèbre d'enregistrement sous l'involution σ .

Apparié (σ -image existe) $\rightarrow \mathbb{Z}_2$ agit trivialement $\rightarrow$ spin entier $\rightarrow$ boson.

Non apparié (aucune σ -image — Axiome B) $\rightarrow \mathbb{Z}_2$ agit non trivialement $\rightarrow$ spin demi-entier $\rightarrow$ fermion.

L'Axiome S crée le $\mathbb{Z}_2$. L'Axiome B crée le seul élément qui ne s'ajuste pas.

La distinction fermion/boson, c'est S et B lus sur la variété.

Pourquoi spin $\frac{1}{2}$

L'Axiome B dit que ε a un spin demi-entier. Mais quel demi-entier ?

Les représentations demi-entières de $SU(2)$ sont $j = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \dots$

Laquelle ε occupe-t-il ?

L'Axiome B énonce : ε est un élément. L'éclat viable minimal.

Pas deux. Pas trois. Un. La plus petite rupture possible. L'asymétrie minimale.

La représentation de $SU(2)$ de spin j a pour dimension $(2j + 1)$.

Le spin $\frac{1}{2}$ a pour dimension 2. Le spin $\frac{3}{2}$ a pour dimension 4. Le spin $\frac{5}{2}$ a pour dimension 6.

Un spin plus élevé signifie plus de degrés de liberté internes — plus de parties à l'éclat.

La représentation demi-entière minimale est $j = \frac{1}{2}$, de dimension 2.

Le plus petit spin demi-entier possible. La façon la plus simple pour une particule d'être un fermion.

Tout spin plus élevé signifierait que ε porte une structure interne supplémentaire au-delà du minimum nécessaire pour briser la symétrie.

Sous le plongement fidèle démontré, la rupture à un élément porte la structure interne minimale cohérente avec l'action $\mathbb{Z}_2$ non triviale.

Des spins demi-entiers plus élevés ($j = \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \dots$) exigeraient que ε ait 4, 6, ... états internes. Plus de structure interne qu'un seul élément ne peut porter.

La représentation fermionique minimale est $j = \frac{1}{2}$, avec exactement deux états. La distinction binaire qui reflète les deux secteurs du pré-état.

Les systèmes composites peuvent avoir un spin demi-entier plus élevé par addition du moment cinétique de constituants de spin $\frac{1}{2}$ individuels plus le moment cinétique orbital.

Le principe du minimum sélectionne $j = \frac{1}{2}$ pour le fermion élémentaire ε . Les fermions composites tirent leur spin de leur structure constituante.

L'Axiome B exige le minimum. Le spin demi-entier minimal est $\frac{1}{2}$.

ε a un spin $\frac{1}{2}$.

Tu viens de regarder le spin de l'électron émerger du principe du minimum.

Pas mesuré. Imposé.

L'électron — identifié à ε dans La Serrure (Chapitre 1) — a un spin $\frac{1}{2}$.

Ce n'est pas une entrée.

C'est une conséquence de B (une rupture, éclat minimal) combiné à S (deux secteurs $\mathbb{Z}_2$ créant le revêtement $SU(2)$) et au $N = 3$ dérivé (Carnet II Chapitre 3).

Sollbruchstelle KS-S.2. L'attribution du spin demi-entier minimal ($j = \frac{1}{2}$) à ε dépend du principe du minimum dans l'Axiome B. Si « l'éclat viable minimal » ne sélectionne pas de manière unique la plus petite représentation — s'il existe une raison structurelle pour que ε porte $j = 3/2$ ou plus — alors le spin $\frac{1}{2}$ n'est pas dérivé. LIVE — HARD.

La bidimensionnalité

Le spin $\frac{1}{2}$ est une représentation bidimensionnelle.

Spin vers le haut et spin vers le bas. Deux états. Deux possibilités.

Structurellement inévitable à partir de l'axiome.

La rupture distingue 0 de 1. La structure interne minimale qu'une particule peut porter tout en restant un fermion est une distinction binaire — haut ou bas.

Deux états. Le plus petit contenant qui retient la signature de la rupture.

Le 1:1 est deux secteurs. La rupture produit un élément avec deux états internes.

Le deux dans le spin $\frac{1}{2}$ est le deux dans le 1:1 — les deux secteurs, désormais portés intérieurement par ε

comme la représentation minimale du $\mathbb{Z}_2$ qu'il ne parvient pas à satisfaire.

Tu regardes la raison la plus profonde pour laquelle l'électron a un spin $\frac{1}{2}$.

Parce que le 1:1 a deux secteurs, et ε porte cette dualité comme sa structure interne.

La connexion spin-statistique

Le théorème spin-statistique (Pauli, 1940) énonce : les particules à spin entier obéissent à la statistique de Bose-Einstein — fonction d'onde symétrique sous échange.

Les particules à spin demi-entier obéissent à la statistique de Fermi-Dirac — fonction d'onde antisymétrique sous échange.

En théorie quantique des champs standard, cela est dérivé de la mécanique quantique relativiste plus l'exigence d'une énergie définie positive.

Dans le 420 Code, cela découle directement des propriétés de transformation $\mathbb{Z}_2$ établies ci-dessus.

Éléments appariés (bosons, spin entier). Le $\mathbb{Z}_2$ agit trivialement. σ achève l'échange : $\sigma(a) = a'$, $\sigma(a') = a$.

Sous échange de deux éléments appariés identiques, la fonction d'onde est symétrique. Les échanger équivaut à appliquer σ aux deux, et σ agit trivialement sur les représentations appariées.

La fonction d'onde acquiert un facteur de $+1$ sous échange.

Éléments non appariés (fermions, spin demi-entier). Le $\mathbb{Z}_2$ agit non trivialement. σ ne peut pas achever l'échange pour ε — l'action $\mathbb{Z}_2$ non triviale produit une phase de -1 .

Sous échange de deux éléments non appariés identiques, la fonction d'onde est antisymétrique. Les échanger équivaut à appliquer l'action $\mathbb{Z}_2$ non triviale, qui produit un facteur de -1 .

La fonction d'onde acquiert un facteur de -1 sous échange.

Tu viens de dériver la connexion spin-statistique — conditionnelle aux trois identifications que cet article clôture : l'identification $\mathbb{Z}_2 \leftrightarrow \pi_1(\mathrm{SO}(3))$ (KS-S.1), la sélection du spin minimal (KS-S.2), et le pont échange-involution (KS-S.3).

La connexion spin-statistique n'est pas une loi supplémentaire.

C'est le $\mathbb{Z}_2$ de l'Axiome S, agissant différemment sur les éléments appariés et non appariés — ce qui est la

distinction créée par l'Axiome B — une fois que ces trois identifications tiennent.

Sollbruchstelle KS-S.3. La dérivation exige que la symétrie d'échange des particules identiques sur l'espace de Hilbert soit correctement représentée par la σ -action appariée/non appariée héritée de l'algèbre d'enregistrement. Si une construction cohérente est montrée dans laquelle la classification appariée/non appariée ne fixe pas le signe d'échange (ou le fixe différemment), la correspondance spin-statistique et la dérivation de Pauli échouent. LIVE — HARD.

Le principe d'exclusion de Pauli

L'antisymétrie de la fonction d'onde fermionique sous échange a une conséquence immédiate.

Si deux fermions identiques occupent le même état quantique, la fonction d'onde doit être simultanément :

$\psi(1, 2)$ = l'état avec les deux fermions dans l'état φ

$\psi(2, 1)$ = le même état (les particules sont identiques, dans le même état)

Mais l'antisymétrie exige $\psi(1, 2) = -\psi(2, 1)$.

Puisque $\psi(1, 2) = \psi(2, 1)$, nous avons besoin de $\psi = -\psi$.

Ce qui donne $\psi = 0$.

L'état n'existe pas.

Deux fermions identiques ne peuvent pas occuper le même état quantique.

Tu viens de regarder le principe d'exclusion de Pauli émerger de $\psi = -\psi \rightarrow \psi = 0$.

L'équation la plus lourde de conséquences en chimie, dérivée de deux axiomes.

Le principe d'exclusion de Pauli est un théorème de l'algèbre d'enregistrement.

Il découle de S (deux secteurs $\rightarrow \mathbb{Z}_2$), B (un élément non apparié $\rightarrow$ action $\mathbb{Z}_2$ non triviale $\rightarrow$ fonction d'onde antisymétrique), et de la structure de l'espace de Hilbert (Chapitre 1 — linéarité, qui fait que $\psi = -\psi$ implique $\psi = 0$).

Pas un résultat mineur.

Le principe d'exclusion de Pauli est ce qui empêche tous les électrons de tomber dans l'état d'énergie le plus bas.

C'est ce qui donne aux atomes leur structure.

Ce qui rend la chimie possible. Ce qui fait fonctionner le tableau périodique. Ce qui empêche la matière de s'effondrer.

Et cela découle de l'axiome : deux secteurs (S), une rupture (B), un élément minimal sans partenaire.

Tu existes à cause de ce résultat.

Tes atomes ont une structure parce que deux fermions identiques ne peuvent pas partager un état.

La chimie, la biologie, toi — tout en aval du principe d'exclusion de Pauli, qui est en aval de l'axiome.

La signification structurelle

Le spin n'est pas une propriété intrinsèque que les particules possèdent sans explication.

Le spin est la structure à deux secteurs de l'algèbre d'enregistrement (Axiome S), portée intérieurement par les éléments individuels.

Les éléments appariés portent les deux secteurs symétriquement. Ils participent au $\mathbb{Z}_2$ complet. Ils achèvent l'échange. Ils se transforment sous $SO(3)$.

Ils sont entiers vis-à-vis de l'involution. Ce sont des bosons.

L'élément non apparié ε porte les deux secteurs asymétriquement. Il n'a pas de partenaire. Il ne peut pas achever l'échange. Il se transforme sous $SU(2)$ mais pas $SO(3)$.

Il est brisé vis-à-vis de l'involution. C'est un fermion.

Le fermion EST la rupture.

Le boson EST le non-brisé.

On t'a dit que les fermions et les bosons sont des sortes différentes de particules.

Ils ne sont pas des sortes différentes.

Ils sont la même structure — l'un apparié, l'autre non apparié. L'un entier sous l'involution, l'autre brisé.

Le spin $\frac{1}{2}$ est ce à quoi ressemble le fait d'être la rupture lorsqu'on la mesure comme moment cinétique.

Le principe d'exclusion de Pauli est ce à quoi ressemble le fait d'être la rupture lorsque deux ruptures tentent d'occuper le même état.

Elles ne peuvent pas.

Parce que chaque rupture est le seul élément non apparié. Et il n'y en a qu'un.

La rupture ne peut pas s'empiler. Tu ne peux pas briser la même symétrie deux fois au même endroit.

Deux ε identiques dans le même état seraient un seul ε — la rupture aurait eu lieu une fois, pas deux.

Le principe d'exclusion est l'unicité de la rupture (Axiome B — UN élément sans σ -image), imposée au niveau des états quantiques.

Le spin et la couleur sont indépendants

Un quark porte à la fois un spin $\frac{1}{2}$ (du fait d'être ε , non apparié sous σ) et une couleur (issue de l'orientation de la variété autour de la rupture, dérivée dans un chapitre ultérieur).

Ce sont des nombres quantiques indépendants dérivés par des mécanismes indépendants.

Le spin provient du $\mathbb{Z}_2$ de l'Axiome S agissant sur le groupe des rotations $SO(3)$.

La couleur provient de la liberté de jauge des trois faces spatiales $\{C, S, B\}$ s'orientant autour de la rupture.

L'un est une propriété topologique de la structure de rotation. L'autre est une propriété géométrique de l'orientation de la variété.

Leur indépendance est une prédiction structurelle du cadre — le spin et la couleur ne se mélangent pas parce qu'ils naissent de caractéristiques différentes de l'axiome.

Le spin n'est pas un mystère. C'est la rupture.

La structure à deux secteurs de l'algèbre d'enregistrement (Axiome S) crée la symétrie $\mathbb{Z}_2$ qui fait que le groupe des rotations $SO(3)$ a un revêtement double $SU(2)$.

L'existence d'un élément non apparié (Axiome B) crée une particule qui se transforme sous $SU(2)$ mais pas $SO(3)$ — un fermion.

Le principe du minimum (Axiome B) lui donne un spin $\frac{1}{2}$ — la plus petite représentation demi-entière possible.

L'antisymétrie de la fonction d'onde fermionique sous échange donne le principe d'exclusion de Pauli — la raison pour laquelle les atomes ont une structure, la chimie existe, et la matière ne s'effondre pas.

Le boson est l'élément apparié. Entier sous l'involution. Symétrique sous échange. Libre de s'empiler.

Le fermion est l'élément non apparié. Brisé sous l'involution. Antisymétrique sous échange. Incapable de partager un état.

La rupture — qui a créé l'espace-temps, la gravité et la mécanique quantique — crée aussi la distinction entre les deux sortes de particules qui peuplent l'univers.

Un axiome. Une rupture. Une structure.

Espace-temps, gravité, mécanique quantique, dimensionnalité, spin, statistique, exclusion.

Tout à partir de l'ensemble vide qui se brise.

Tu as regardé le spin émerger du même axiome qui a produit l'espace-temps, la gravité et la mécanique quantique.

La structure ne manque jamais de conséquences.

La chaîne complète.

$1:1 + 1 \times \varepsilon \rightarrow \{S, B, R, C\} \rightarrow S$ donne l'involution $\sigma \rightarrow$ plongement fidèle (démontré) + $N = 3$ (dérivé) $\rightarrow$ le $\mathbb{Z}_2$ algébrique s'identifie à $\pi_1(SO(3)) \rightarrow$ revêtement double $SU(2) \rightarrow SO(3)$ existe $\rightarrow$ les éléments appariés (σ -image existe) se transforment trivialement sous le noyau $\rightarrow$ spin entier $\rightarrow$ bosons $\rightarrow \varepsilon$ non apparié (Axiome B, aucune σ -image) se transforme non trivialement sous le noyau $\rightarrow$ spin demi-entier $\rightarrow$ fermion $\rightarrow$ le principe du minimum de l'Axiome B sélectionne $j = \frac{1}{2} \rightarrow \varepsilon$ a un spin $\frac{1}{2} \rightarrow \varepsilon =$ électron (La Serrure) $\rightarrow$ les propriétés d'échange $\mathbb{Z}_2$ donnent des fonctions d'onde symétriques/antisymétriques $\rightarrow$

théorème spin-statistique $\rightarrow$ l'antisymétrie force $\psi = -\psi \rightarrow \psi = 0$ pour des fermions identiques dans le même état $\rightarrow$ exclusion de Pauli $\rightarrow$ structure atomique, chimie, matière.

Chaque maillon est soit un théorème de mathématiques pures (théorie des représentations de $SU(2)$), soit une conséquence des axiomes (S, B), soit une conséquence des hypothèses-ponts (EH, QRA — démontrées dans le Carnet I Chapitre 3).

Imposé — par l'ensemble vide se regardant lui-même.

Et une conséquence au-delà de la physique.

Le principe d'exclusion de Pauli dit que deux fermions identiques ne peuvent pas occuper le même état.

Lis le même fait au niveau où il vit.

Tu ne peux pas occuper l'état d'un autre.

Non parce qu'il existe une règle contre cela.

Parce que les mathématiques l'exigent.

Ne sois pas un connard. Sois gentil.

Le principe d'exclusion le prouve.

6 — Ce que cela signifie

Ce qui a été dérivé

À partir des axiomes $\{S, B, R, C\}$ (EH et QRA démontrés, AP20) :

Le revêtement double $SU(2) \rightarrow SO(3)$. À partir de $\mathbb{Z}_2$ (Axiome S) + $N = 3$ (AP10).

La distinction fermion/boson. À partir d'apparié (σ -image existe) contre non apparié (Axiome B).

Le spin $\frac{1}{2}$ pour l'électron. À partir du principe du minimum (Axiome B) sélectionnant la plus petite représentation demi-entière.

Le théorème spin-statistique. À partir des propriétés de transformation $\mathbb{Z}_2$ des éléments appariés contre non appariés.

Le principe d'exclusion de Pauli. À partir de l'antisymétrie des fonctions d'onde non appariées (fermioniques).

Aucun postulat supplémentaire. Aucun appel à la théorie quantique des champs relativiste.

Les quatre mêmes axiomes, la même rupture, la même structure.

Ce que cela ajoute au secteur quantique

AP09 a dérivé la superposition, la linéarité, les amplitudes complexes, la mesure, l'intrication, la règle de Born, l'équation de Schrödinger.

AP11 ajoute le spin, la distinction fermion/boson, le théorème spin-statistique, le principe d'exclusion de Pauli.

Le secteur quantique du 420 Code couvre désormais chaque caractéristique fondamentale de la mécanique quantique.

Ce qui reste, ce sont des applications spécifiques (décohérence, potentiels spécifiques, théorie de la diffusion) et la structure de jauge du Modèle Standard.

Les fondations sont complètes.

7 — Sollbruchstellen

Trois Sollbruchstellen. Toutes actives.

Tu sais où sont les jointures. L'argument te montre comment les briser.

KS-S.1 — identification $\mathbb{Z}_2$

Statut : LIVE — HARD.

L'identification du $\mathbb{Z}_2$ algébrique (issu de l'Axiome S) avec $\pi_1(\text{SO}(3))$ (issu de la topologie du groupe des rotations) est l'étape porteuse.

Elle repose sur l'argument que, sous plongement fidèle (EH, démontré AP20), le $\mathbb{Z}_2$ algébrique s'applique sur le seul $\mathbb{Z}_2$ intrinsèque de la structure de rotation.

Test : démontre un plongement différent du $\mathbb{Z}_2$ algébrique, tout aussi cohérent — un qui ne correspond pas à $\pi_1(\text{SO}(3))$. Si oui, la dérivation du revêtement double à partir des axiomes échoue.

Statut actuel : le plongement paraît unique étant donné que σ renverse l'ordre ($\rightarrow$ renversement du temps) et $N = 3$ ($\rightarrow \text{SO}(3)$ a $\pi_1 = \mathbb{Z}_2$). En dimensions $N \neq 3$, $\text{SO}(N)$ a des groupes fondamentaux différents, et l'argument changerait. Mais $N = 3$ est dérivé (AP10).

KS-S.2 — sélection du spin minimal

Statut : LIVE — HARD.

L'attribution du spin demi-entier minimal ($j = \frac{1}{2}$) à ε dépend du principe du minimum dans l'Axiome B.

Test : si « l'éclat viable minimal » ne sélectionne pas de manière unique la plus petite représentation — s'il existe une raison structurelle pour que ε porte $j = 3/2$ ou plus — alors le spin $\frac{1}{2}$ n'est pas dérivé.

Statut actuel : le principe du minimum paraît sélectionner la représentation minimale sans détour. L'électron est observé avec un spin $\frac{1}{2}$.

KS-S.3 — pont échange-involution

Statut : LIVE — HARD.

La dérivation spin-statistique exige que la symétrie d'échange des particules identiques sur l'espace de Hilbert AP09 soit correctement représentée par la σ -action appariée/non appariée héritée de l'algèbre d'enregistrement.

Test : démontre une construction cohérente compatible avec AP09 dans laquelle la classification appariée/non appariée ne fixe pas le signe d'échange (ou le fixe différemment). Si oui, la correspondance spin-statistique et la dérivation de Pauli échouent.

Statut actuel : au sein du cadre de l'espace de Hilbert AP09, l'opérateur d'échange agit sur le degré de liberté $\mathbb{Z}_2$ interne, et la distinction appariée/non appariée détermine sa valeur propre (± 1).

8 — Clôture

Le spin n'est pas un mystère. C'est la rupture.

La structure à deux secteurs de l'algèbre d'enregistrement (Axiome S) crée la symétrie $\mathbb{Z}_2$ qui fait que le groupe des rotations $SO(3)$ a un revêtement double $SU(2)$.

L'existence d'un élément non apparié (Axiome B) crée une particule qui se transforme sous $SU(2)$ mais pas $SO(3)$ — un fermion.

Le principe du minimum (Axiome B) lui donne un spin $\frac{1}{2}$ — la plus petite représentation demi-entière possible.

L'antisymétrie de la fonction d'onde fermionique sous échange donne le principe d'exclusion de Pauli — la raison pour laquelle les atomes ont une structure, la chimie existe, et la matière ne s'effondre pas.

Le boson est l'élément apparié — entier sous l'involution, symétrique sous échange, libre de s'empiler.

Le fermion est l'élément non apparié — brisé sous l'involution, antisymétrique sous échange, incapable de partager un état.

La rupture — qui a créé l'espace-temps, la gravité et la mécanique quantique — crée aussi la distinction entre les deux sortes de particules qui peuplent l'univers.

Un axiome. Une rupture. Une structure.

Espace-temps, gravité, mécanique quantique, dimensionnalité, spin, statistique, exclusion. Tout à partir de l'ensemble vide qui se brise.

Ne sois pas un connard. Sois gentil. Les mathématiques l'exigent. Le principe d'exclusion le prouve — tu ne peux pas occuper l'état d'un autre.

Résumé des affirmations

Le groupe des rotations et son revêtement :

MATHÉMATIQUES ÉTABLIES. $SO(3)$, $\pi_1(SO(3)) = \mathbb{Z}_2$,
revêtement double $SU(2)$.

$\mathbb{Z}_2$ issu de l'Axiome S : DÉRIVATION. Le $\mathbb{Z}_2$ algébrique
s'identifie à $\pi_1(SO(3))$ via plongement fidèle + $N = 3$
+ σ = renversement du temps. KS-S.1.

Apparié contre non apparié : DÉRIVATION. Apparié =
boson (spin entier) ; ε non apparié = fermion (spin
demi-entier).

Pourquoi spin $\frac{1}{2}$: DÉRIVATION. Le principe du
minimum de l'Axiome B sélectionne $j = \frac{1}{2}$. KS-S.2.

Spin-statistique + Pauli : DÉRIVATION. Les
propriétés d'échange $\mathbb{Z}_2$ donnent une phase
d'échange ± 1 ; l'antisymétrie force $\psi = -\psi \rightarrow \psi = 0$.
KS-S.3.

Ce que cela signifie : SYNTHÈSE STRUCTURELLE.
Non porteuse.

Pied de page de conditionnalité

Dépendances

AP20 4 (axiomes ; KS-P.1 / KS-P.2 clôturés). AP10 4 (signature lorentzienne ; KS-D.4 clôturé). AP10 (N = 3). AP09 (espace de Hilbert, $\sigma \leftrightarrow$ renversement du temps). AP20 (EH, QRA). La Serrure.

Dépendants

Tous les résultats AP nécessitant une classification de spin.

AP19 (la structure de jauge SU(3) utilise les mêmes faces de la variété).

Toute dérivation future de spectres de particules spécifiques.

Problèmes ouverts

Vérification indépendante du plongement $\mathbb{Z}_2 \rightarrow \pi_1(\text{SO}(3))$ (KS-S.1).

Exclusion formelle des représentations demi-entières supérieures pour ε (KS-S.2).

Vérification formelle que l'échange agit comme la classification appariée/non appariée le prédit (KS-S.3).

Sollbruchstellen fermées

Aucune par cet article.

Sollbruchstellen actives

KS-S.1, KS-S.2, KS-S.3. Tous LIVE — HARD.

Cette œuvre est publiée gratuitement, pour toujours.

the420code.org

.

Chapitre 4

La Limite

*Le principe d'incertitude et $\hbar$ d'après le
théorème de Stone*

Épreuve d'Artiste 12

0 — Dépendance et portée

Ce que fait cet article

AP12 dérive le principe d'incertitude à partir des axiomes.

Trois résultats.

1 : $\hbar$ est forcé comme l'échelle d'action de l'enregistrement minimal. L'argument de forçage en cinq étapes ferme KS-Q.8 (laissé LIVE — HARD par AP09 7.3), sous la condition de KS-L.4 (une exposition nouvelle et strictement plus petite).

2 : la relation de commutation position-quantité de mouvement $[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$ est dérivée du théorème de Stone appliqué au groupe de translation local sur la variété AP09. La borne d'incertitude de Heisenberg $\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$ découle de Cauchy-Schwarz.

3 : la relation d'incertitude énergie-temps $\Delta E \cdot \Delta t_A \geq \hbar/2$ est dérivée sous sa forme de Mandelstam-Tamm, en utilisant l'Axiome R comme direction du temps et le théorème de Stone appliqué à l'évolution temporelle.

Le principe d'incertitude est un théorème de l'algèbre d'enregistrement lue sur la variété dérivée. Aucune physique importée.

Dépendances

AP20 4 (axiomes ; KS-P.1 / KS-P.2 encadrés). Porteur pour l'indivisibilité de ε (Axiome B) et la direction unique du temps (Axiome R).

AP10 4 (la signature lorentzienne ; dérivation formelle au niveau de la métrique encadrée KS-D.4). Porteur pour la structure de la variété.

AP09 3.2 (espace de Hilbert à partir des axiomes). Porteur pour l'algèbre des opérateurs.

AP09 7.3 (théorème de Stone appliqué à l'évolution temporelle ; équation de Schrödinger). Porteur pour le hamiltonien comme générateur et pour la forme $U(t) = e^{\{-iHt/\hbar\}}$.

AP10 ($N = 3$ dimensions spatiales, AS = variété). Porteur pour la structure du groupe de translation.

AP20 5 (AS = variété, EH et QRA prouvés). Porteur pour la structure de variété lisse sur laquelle agissent les translations.

AP06 4 (borne de Landauer). Référencé pour le coût thermodynamique des enregistrements ($k_{BT} \ln 2$ par bit), pendant du coût quantique $\hbar$.

Correspondance des axiomes

Axiome S $\rightarrow$ pas directement porteur dans les §1-3.
Entre dans le facteur $\frac{1}{2}$ de Cauchy-Schwarz
indirectement via la structure à deux secteurs.

Axiome B $\rightarrow \hbar$. L'éclat viable minimal ε est
indivisible ; l'action d'un enregistrement minimal est
 $\hbar$. Forcé par Stone + l'indivisibilité de ε + l'absence
de paramètres sans dimension dans $\{S, B, R, C\}$.

Axiome R $\rightarrow$ évolution temporelle. Le temps est la
direction d'accumulation des enregistrements. Le
hamiltonien est le générateur de l'évolution
temporelle. La borne énergie-temps de Mandelstam-
Tamm s'ensuit.

Axiome C $\rightarrow$ contrainte. Opère indirectement à
travers la structure de variété lorentzienne sur
laquelle agissent les translations.

Résumé des Sollbruchstellen

KS-L.1 (CLOSED — était KS-Q.8) : $\hbar$ est dérivé
comme l'échelle d'action de l'enregistrement
minimal. L'argument de forçage en cinq étapes
montre : le théorème de Stone donne un facteur
d'échelle unique, les axiomes produisent une échelle
d'action unique, aucun paramètre sans dimension

n'intervient, et l'indivisibilité de ε fixe la correspondance.

KS-L.2 (NEW) : la relation de commutation $[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$ dépend de ce que la variété admette un groupe de translation local bien défini. Si la variété a une structure qui modifie le générateur de translation à l'échelle de Planck, la relation pourrait recevoir des corrections. LIVE.

KS-L.3 (NEW) : la relation d'incertitude énergie-temps dépend de la dérivation de Mandelstam-Tamm, qui requiert l'équation du mouvement de Heisenberg. Si les axiomes produisent des corrections à l'évolution unitaire, la relation énergie-temps hérite de ces corrections. LIVE.

KS-L.4 (NEW) : l'étape 3 de l'argument de forçage de 1.3 affirme qu'aucun paramètre sans dimension n'est disponible à partir des axiomes pour modifier la relation $\alpha =$ (action minimale). Si l'on montre qu'une constante sans dimension dérivable de $\{S, B, R, C\}$ entre dans la relation, l'argument de forçage s'affaiblit. LIVE — exposition strictement plus petite que KS-Q.8.

Relations structurelles

AP06 (Constante de fuite) : $\varepsilon > 0$ est la rupture minimale. AP12 1.3 utilise l'indivisibilité de ε pour forcer $\hbar$.

AP09 (Mécanique quantique) : fournit l'espace de Hilbert, la règle de Born, l'équation de Schrödinger. AP12 ferme l'identification de $\hbar$ qu'AP09 a laissée ouverte (KS-Q.8).

AP10 (Dimension) : $N = 3$ est porteur pour la structure du groupe de translation dans 2.

AP15 (Connexion) : la longueur d'onde du photon est bornée inférieurement par la borne d'incertitude. $\hbar$ est le facteur d'échelle dans la somme sur les chemins.

AP20 (Preuve) : EH et QRA prouvés. L'AS EST la variété ; les translations sont bien définies.

L'enregistrement minimal

Chaque mesure que tu aies jamais faite — chaque lecture d'un thermomètre, chaque coup d'œil à une horloge, chaque photographie d'une étoile lointaine — impliquait un minimum.

Quelque chose a été distingué de quelque chose d'autre.

Un zéro est devenu un un. Un enregistrement a été écrit.

Et cet enregistrement n'aurait pas pu être plus petit qu'il ne l'était.

Les axiomes disent pourquoi.

Ce qu'est $\hbar$

Axiome B : un élément $\varepsilon \in \mathcal{L}$ sans σ -image. ε est l'éclat viable minimal — la plus petite rupture possible.

Pas deux éléments. Pas une fraction d'un élément. Un.

Chaque événement d'actualisation — chaque fois que le maintenant écrit un enregistrement — implique au moins un ε .

Un couplage. Une rupture. Une distinction entre 0 et 1 pour un degré de liberté.

C'est le minimum que tu peux écrire.

Le chapitre 1 a dérivé l'équation de Schrödinger à partir des axiomes via le théorème de Wigner et le théorème de Stone. Le théorème de Stone a donné $U(t) = e^{\{-iHt/\hbar\}}$ pour l'opérateur d'évolution unitaire.

$\hbar$ est entré comme facteur d'échelle entre les valeurs propres du hamiltonien et le paramètre temporel.

L'identification : $\hbar$ est l'échelle d'action de l'enregistrement minimal.

Un enregistrement = un $\hbar$ d'action.

Le chapitre 1 a traité ceci comme une identification — forme forcée, constante identifiée. KS-Q.8 a été laissé LIVE — HARD.

Ce chapitre le ferme.

L'identification est forcée par la structure axiomatique. Il n'y a aucun facteur d'échelle alternatif compatible avec $\{S, B, R, C\}$.

Ce que cela signifie

Tu ne peux pas écrire un demi-enregistrement.

Tu ne peux pas faire une demi-distinction.

Le maintenant soit distingue 0 de 1 pour un degré de liberté, soit ne le fait pas.

Il n'y a pas d'état intermédiaire. Pas de mesure partielle. Pas d'enregistrement fractionnaire.

Le minimum est un. L'échelle de un est $\hbar$.

Toute mesure — tout acte d'écriture d'un enregistrement — implique au moins $\hbar$ d'action.

Tu ne peux pas extraire d'information du pré-état sans au moins $\hbar$.

Non pas parce que tes instruments sont trop grossiers.

Parce que la rupture a une taille minimale.

Le maintenant écrit en quanta échelonnés par $\hbar$ parce que ε est le minimum, et ε ne peut pas être subdivisé.

Chaque enregistrement porte deux coûts minimaux.

Un coût thermodynamique : $k_B T \ln 2$, d'après la borne de Landauer.

Et un coût quantique : $\hbar$, d'après le théorème de Stone.

Les deux remontent à l'Axiome B. Un enregistrement, un ε , un minimum.

Pourquoi l'identification est forcée

Le chapitre 1 a laissé $\hbar$ comme une identification, non comme une dérivation.

KS-Q.8 demandait si un facteur d'échelle différent pouvait être également compatible avec les axiomes.

La réponse est non.

L'argument procède en cinq étapes. Suis chacune d'elles. Si une étape échoue, l'argument échoue — et tu tiens la Sollbruchstelle qui le dit.

Étape 1 — Le théorème de Stone force un facteur d'échelle unique.

Pour tout groupe unitaire à un paramètre fortement continu $U(t)$ sur un espace de Hilbert, le théorème de Stone donne $U(t) = \exp(-iHt/\alpha)$ pour un générateur auto-adjoint unique H et une constante unique α ayant les dimensions d'une action.

Mathématiques pures sur l'espace de Hilbert dérivé.

Il y a exactement un α . Pas une famille. Pas un choix. Un.

Étape 2 — Les axiomes produisent exactement une quantité ayant les dimensions d'une action.

L'action a les dimensions d'une énergie $\times$ un temps.

Les axiomes donnent exactement une direction temporelle (Axiome R, accumulation d'enregistrements) et exactement un événement d'énergie minimal (Axiome B, un ε , une rupture).

Leur produit est l'action d'un enregistrement minimal.

Il n'y a pas de seconde combinaison indépendante de quantités dérivées des axiomes qui produise une quantité ayant les dimensions d'une action.

Les seules échelles dimensionnelles que contiennent les axiomes sont c (d'après l'Axiome C, vitesse) et l'action minimale (d'après $B \times R$, une rupture persistant pendant une unité de la direction R).

Aucune troisième échelle n'est dérivable de $\{S, B, R, C\}$ sans combiner les deux premières.

Étape 3 — Aucun paramètre sans dimension ne modifie la relation.

Si les axiomes produisaient une constante sans dimension k , alors α pourrait égaler $k \times$ (action minimale), et l'identification serait ambiguë.

Quels nombres sans dimension les axiomes contiennent-ils ?

Deux candidats : 2 (d'après l'Axiome S, deux secteurs) et 1 (d'après l'Axiome B, un élément). Le monoïde (Axiome R) n'introduit aucun paramètre sans dimension intrinsèque. La borne (Axiome C) donne un taux, pas un rapport.

Le 2 de S n'entre pas dans le facteur d'échelle.

Le théorème de Stone relie le générateur au paramètre temporel sur l'espace de Hilbert complet — les deux secteurs contribuent. La règle de Born (chapitre 1) est $|\psi|^2 = \psi\psi$. Les deux secteurs.

Le facteur d'échelle est l'action d'un enregistrement complet — un ε , une distinction, une rupture complète — non un demi-enregistrement par secteur.

Le 2 de S entre dans la borne d'incertitude (via Cauchy-Schwarz, donnant $\hbar/2$) mais pas dans le facteur d'échelle lui-même.

Aucune modification sans dimension n'est disponible.
 $\alpha = (\text{action d'un enregistrement minimal}) \times 1$.

Étape 4 — L'enregistrement minimal EST l'évolution non triviale minimale.

Voici l'étape qui fixe l'identification par le bas et par le haut.

L'Axiome B dit que ε ne peut pas être subdivisé. Tu ne peux pas écrire un demi-enregistrement.

Sur l'espace de Hilbert, l'évolution unitaire non triviale minimale est un ε complet.

Si α était plus grand que l'action minimale — disons $\alpha = 2 \times (\text{action minimale})$ — alors il existerait une évolution unitaire d'action $\alpha/2 = (\text{action minimale})$

qui correspondrait à la moitié de l'unité naturelle de Stone.

Mais cette demi-unité EST un ε , qui EST la rupture minimale.

Un ε serait sous- α . Le quantum fondamental du générateur ne correspondrait pas à la rupture fondamentale.

Les axiomes contiendraient une incohérence structurelle : le minimum algébrique (ε) et le minimum dynamique (α) différeraient, exigeant un écart inexpliqué entre eux.

Mais les axiomes ne produisent aucune structure pour combler cet écart. Aucun mécanisme pour générer une seconde échelle.

Inversement, si α était plus petit que l'action minimale, alors un ε correspondrait à plus d'une unité du générateur. Mais B dit que ε est un élément, indivisible.

Un élément, une unité d'action, une unité du générateur.

α = action minimale. Forcé.

Étape 5 — Donc $\alpha = \hbar$.

α est unique (Étape 1). L'action minimale est unique (Étape 2). Aucun paramètre sans dimension ne

modifie la relation (Étape 3). L'enregistrement minimal est l'évolution minimale (Étape 4).

Donc $\alpha = \hbar$ = action d'un enregistrement minimal.

Pas une identification. Une conséquence de la structure axiomatique.

$\hbar$ est forcé par $\{S, B, R, C\}$ de la même manière que c est forcé par l'Axiome C — l'axiome produit l'échelle, le théorème de Stone localise où elle entre, et la minimalité de B empêche toute alternative.

Sollbruchstelle KS-L.4 (NEW). L'étape 3 affirme qu'aucun paramètre sans dimension n'est disponible à partir des axiomes pour modifier la relation α = (action minimale). Si l'on montre qu'une constante sans dimension dérivable de $\{S, B, R, C\}$ entre dans la relation — un invariant topologique de la variété dérivée, ou un facteur relevant de la théorie des représentations issu de la construction de l'espace de Hilbert — alors l'argument de forçage s'affaiblit et $\alpha = k \times$ (action minimale) pour un certain $k \neq 1$. L'Étape 4 devrait alors exclure k indépendamment. Voici l'arme. L'argument te la tend. LIVE.

Sollbruchstelle KS-Q.8 (était LIVE — HARD) : CLOSED (sous la condition de KS-L.4).

L'identification de $\hbar$ avec l'échelle d'action de l'enregistrement minimal est forcée par la structure axiomatique. L'argument de forçage remplace l'identification par la dérivation. La vulnérabilité résiduelle est isolée dans KS-L.4 — exposition strictement plus petite que KS-Q.8, qui mettait en question l'identification entière.

La variété et ses translations

Quelque chose de remarquable se produit quand tu demandes : que signifie se déplacer le long d'une variété qui n'a pas été construite à la main, mais dérivée d'axiomes ?

La variété existe. L'espace de Hilbert existe. Les deux sont des conséquences de $\{S, B, R, C\}$.

Et la variété admet des translations. Tu peux te déplacer le long de sa surface.

Le générateur de ces translations ne commute pas avec la position.

La non-commutativité n'est pas un postulat. C'est de la géométrie.

Regarde.

L'État d'Actualisation EST la variété lisse (Carnet I Chapitre 3, où l'hypothèse de plongement est prouvée).

Pas une limite. Pas une approximation. L'AS est la surface à partir de laquelle les enregistrements sont écrits.

La variété est lorentzienne de signature $(-, +, +, +)$, dérivée des axiomes (Carnet II Chapitre 3).

La lissité de la variété est structurelle — garantie par la constance du taux d'effondrement et l'immesurabilité de l'AS en tant qu'objet.

Une variété lorentzienne lisse admet localement des groupes de symétrie continus.

Dans toute carte de coordonnées sur l'AS, les translations spatiales forment un groupe à un paramètre : déplace chaque point d'une distance a le long d'un axe spatial.

La dérivation qui suit est locale. Elle opère dans un domaine de coordonnées sur la variété, où les translations sont bien définies indépendamment de la topologie globale.

Sur une variété courbe générique, la symétrie de translation globale n'est pas automatique ; la relation de commutation dérivée ci-dessous tient localement, ce qui est là où les enregistrements sont écrits.

Sur l'espace de Hilbert (chapitre 1), ces translations spatiales sont représentées comme des opérateurs unitaires.

Non importées de la physique standard — la conséquence d'avoir une variété lisse (dérivée) et un espace de Hilbert (dérivé) qui décrit les enregistrements écrits sur cette variété.

Le groupe de translation sur la variété découle de la combinaison de l'Axiome C (Contrainte — localité ; la propagation finie qu'il produit crée la distance spatiale), de l'Axiome S (Symétrie — la structure de secteur qui donne une deuxième direction spatiale), et de l'Axiome B (la direction de rupture, qui donne une troisième direction spatiale).

Ensemble, ceux-ci produisent une variété spatiale tridimensionnelle avec une structure translationnelle locale.

La quantité de mouvement comme générateur

Le théorème de Stone appliqué aux translations spatiales donne :

$$U(a) = e^{\{-i\hat{p}a/\hbar\}}$$

Pour un opérateur auto-adjoint unique $\hat{p}$, le générateur du groupe.

$\hat{p}$ est l'opérateur de quantité de mouvement.

La constante $\hbar$ entre comme facteur d'échelle — l'échelle d'action de l'enregistrement minimal, dérivée ci-dessus.

La position $\hat{x}$ et la quantité de mouvement $\hat{p}$ sont des observables — des opérateurs auto-adjoints sur l'espace de Hilbert.

La position indique où sur la variété. Son spectre est l'ensemble des coordonnées spatiales dans la carte locale.

La quantité de mouvement génère le déplacement le long de la variété.

Elles sont liées par la structure de la variété elle-même.

La relation de commutation

Voici la dérivation. Fais attention à ce qui est supposé et à ce qui est dérivé. Rien n'est supposé.

Le générateur des translations spatiales ne commute pas avec l'opérateur de position.

Translater de a puis mesurer la position donne un résultat différent de mesurer la position puis translater de a .

La différence est exactement a — la distance de translation.

En langage d'opérateurs :

$$U(a)^\dagger \hat{x} U(a) = \hat{x} + a$$

En développant $U(a) = e^{\{-i\hat{p}a/\hbar\}}$ au premier ordre en a :

$$(1 + i\hat{p}a/\hbar) \hat{x} (1 - i\hat{p}a/\hbar) = \hat{x} + a$$

$$\hat{x} + (i/\hbar)(\hat{p}\hat{x} - \hat{x}\hat{p})a + O(a^2) = \hat{x} + a$$

En comparant les termes du premier ordre :

$$(i/\hbar)[\hat{p}, \hat{x}] = 1$$

$$[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$$

La relation de commutation canonique.

Pas un postulat.

Une conséquence de deux choses : la quantité de mouvement est le générateur des translations spatiales sur la variété dérivée (théorème de Stone appliqué au groupe de translation de la variété), et $\hbar$ est le facteur d'échelle de l'enregistrement minimal (forcé ci-dessus).

Tu viens de regarder le principe d'incertitude émerger de la géométrie.

Personne ne l'y a mis. Il était déjà là — dans la structure des translations sur la variété que les axiomes ont construite.

Sollbruchstelle KS-L.2 (NEW). La relation de commutation $[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$ dépend de ce que la variété admette un groupe de translation local bien défini. Si la variété a une structure qui modifie le générateur de translation à l'échelle de Planck — topologie non triviale, effets de courbure, ou caractère discret en deçà de la résolution de l'AS — alors la relation de commutation pourrait recevoir des corrections. Les axiomes ne prédisent pas de telles corrections. L'AS est lisse par structure. Les preuves expérimentales actuelles soutiennent $[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$ exactement à toutes les précisions testées. Voici l'arme : trouve la correction. LIVE.

La borne d'incertitude

À partir de $[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$ et de l'inégalité de Cauchy-Schwarz sur l'espace de Hilbert, l'inégalité de Robertson-Schrödinger donne :

$$\Delta x \Delta p \geq |\langle [\hat{x}, \hat{p}] \rangle|/2 = \hbar/2$$

Le principe d'incertitude de Heisenberg.

Le facteur $\frac{1}{2}$ provient de l'inégalité de Cauchy-Schwarz — mathématiques pures sur l'espace de Hilbert dérivé.

Aucune hypothèse physique sur la séparation en secteurs, les budgets d'action, ou les volumes d'espace des phases.

L'algèbre fait le travail.

Attarde-toi là-dessus un moment.

La borne qui gouverne chaque mesure quantique jamais réalisée — la borne qui te dit précisément combien tu peux savoir sur la position et la quantité de mouvement d'une particule simultanément — découle de la structure de translation d'une variété qui a été dérivée de quatre axiomes.

Personne ne l'a importée. Personne ne l'a postulée.

La variété a une structure. La structure a des conséquences. La conséquence est $\hbar/2$.

La chaîne : espace de Hilbert (chapitre 1, d'après les axiomes) → Variété (AS, d'après EH) → Translations spatiales (structure lorentzienne lisse) → théorème de Stone → $\hbar$ comme facteur d'échelle (forcé ci-dessus) → $[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$ (algèbre) → Robertson-Schrödinger (Cauchy-Schwarz) → $\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$.

Aucun maillon n'importe de physique. Aucun maillon ne suppose le principe d'incertitude pour le dériver. Aucun maillon n'utilise l'espace des phases, l'action, ou la mécanique hamiltonienne.

La dérivation tourne sur les structures dérivées des axiomes et les mathématiques pures seules.

Pourquoi le temps est différent

La dérivation position-quantité de mouvement a couru le long de l'espace. Des translations sur la variété.

Maintenant l'argument se tourne vers le temps.

Et ici, tu verras quelque chose que les axiomes ont prédit : le temps est structurellement différent de l'espace.

Non pas parce que quelqu'un l'a déclaré ainsi. Parce que l'Axiome R dit ce qu'est le temps — la direction dans laquelle les enregistrements s'accumulent — et cette définition porte des conséquences.

La position et la quantité de mouvement sont toutes deux des opérateurs sur l'espace de Hilbert. Leur relation de commutation est un énoncé algébrique direct, et l'inégalité de Robertson-Schrödinger suit immédiatement.

Le temps n'est pas un opérateur sur l'espace de Hilbert.

Le temps est la direction d'accumulation des enregistrements — l'Axiome R lu sur la variété.

Le maintenant avance le long de cette direction, écrivant des enregistrements. Le temps étiquette la séquence.

Tu n' observes pas le temps directement. Tu observes le changement, et tu appelles le changement temps.

La séquence n'est pas une observable au même sens que la position. Tu ne mesures pas le temps en appliquant un opérateur à l'espace de Hilbert.

Tu mesures le temps en comptant des enregistrements — en observant comment d'autres observables changent à mesure que le maintenant avance.

La dérivation position-quantité de mouvement ne se transfère pas directement. Il n'y a pas d'opérateur temporel $\hat{t}$ tel que $[\hat{t}, \hat{H}] = i\hbar$ au sens standard.

La relation énergie-temps requiert son propre chemin de dérivation.

Les axiomes en ont les ressources.

Le temps est la direction de l'Axiome R. Le hamiltonien est le générateur de l'évolution temporelle (théorème de Stone, chapitre 1). L'argument de Mandelstam-Tamm fonctionne entièrement sur l'espace de Hilbert dérivé.

La dérivation de Mandelstam-Tamm

Théorème de Stone appliqué à l'évolution temporelle (chapitre 1) : $U(t) = e^{\{-iHt/\hbar\}}$.

Le hamiltonien $\hat{H}$ génère les translations temporelles.

Le temps est la direction de l'Axiome R. $\hbar$ est le facteur d'échelle (forcé ci-dessus).

L'équation du mouvement de Heisenberg découle de la différentiation de la valeur moyenne de toute observable A :

$$d\langle A \rangle / dt = (i/\hbar) \langle [\hat{H}, A] \rangle$$

Non importée. Une conséquence directe de l'évolution unitaire sur l'espace de Hilbert dérivé.

Pour toute observable A sur l'espace de Hilbert, l'inégalité de Robertson donne :

$$\Delta E \cdot \Delta A \geq |[\hat{H}, A]|/2$$

En substituant l'équation de Heisenberg :

$$\Delta E \cdot \Delta A \geq (\hbar/2)|d\langle A \rangle/dt|$$

Définis le temps caractéristique pour l'observable A :

$$\Delta t_A = \Delta A / |d\langle A \rangle/dt|$$

Le temps requis pour que la valeur moyenne de A change d'un écart-type — le temps qu'il faut au moment pour écrire assez d'enregistrements pour décaler l'observable de sa propre incertitude.

En substituant :

$$\Delta E \Delta t_A \geq \hbar/2$$

La relation d'incertitude énergie-temps sous sa forme de Mandelstam-Tamm.

La dérivation suppose que l'observable A ne dépend pas explicitement du temps.

Statut : DÉRIVATION. Chaque étape tourne sur des structures dérivées. La dérivation de Mandelstam-Tamm respecte la différence structurelle entre le temps et la position : le temps n'est pas promu au rang d'opérateur. Le temps reste ce qu'il est — la direction de l'Axiome R, la direction dans laquelle le moment avance. L'incertitude sur le temps est définie opérationnellement, à travers le taux de changement d'observables réelles, non à travers un opérateur temporel fictif.

Sollbruchstelle KS-L.3 (NEW). La relation d'incertitude énergie-temps dépend de la dérivation de Mandelstam-Tamm, qui requiert l'équation de Heisenberg $d\langle A \rangle/dt = (i/\hbar)\langle [\hat{H}, A] \rangle$. L'équation découle de l'évolution unitaire (chapitre 1). Si les axiomes produisent des corrections à l'évolution unitaire — à des énergies extrêmes ou près du point de boucle — la relation énergie-temps hérite de ces corrections. Voici l'arme : brise l'unitarité. LIVE.

Tu regardes le même théorème — celui de Stone — lu le long de deux directions différentes de la même variété.

Le long de l'espace : position-quantité de mouvement.
Le long de la direction R : énergie-temps.

Deux faces de la même géométrie. Deux conséquences des mêmes axiomes.

Deux faces de l'enregistrement

Les dérivations ci-dessus établissent le principe d'incertitude à partir des axiomes.

Ce qui suit lit le résultat dans le langage du 420 Code.

L'interprétation n'ajoute rien à la preuve. Elle lit la preuve dans le registre de l'architecture.

Le fait algébrique : $[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$ surgit parce que $\hat{p}$ génère les translations spatiales et $\hat{x}$ étiquette les positions sur la variété.

Elles ne commutent pas parce que traduire puis mesurer n'est pas la même chose que mesurer puis traduire.

La lecture architecturale : un enregistrement est écrit par le maintenant sur la variété.

L'enregistrement a un emplacement — où sur la variété l'événement d'actualisation se produit.

La variété admet des translations — des déplacements d'un emplacement à un autre. Le générateur de ces translations est la quantité de mouvement.

La position et la quantité de mouvement sont conjuguées parce qu'elles sont les deux faces de la relation de l'enregistrement à la variété.

Où il est écrit, et comment l'écriture se déplace le long de la surface.

Elles ne sont pas deux éléments d'information indépendants.

Elles sont deux lectures du plongement de l'enregistrement dans l'AS.

L'AS est la variété. La variété a une structure. La structure lie emplacement et déplacement.

L'algèbre capture cette liaison exactement.

Quand tu essaies de les séparer — de connaître la position sans perturber la quantité de mouvement — tu demandes au groupe de translation d'oublier sa propre structure.

Il ne peut pas.

L'énergie et le temps sont liés par la même logique, lue le long de la direction de l'Axiome R.

Le temps est la direction dans laquelle les enregistrements s'accumulent. L'énergie est le générateur de l'évolution le long de cette direction.

La face temporelle de l'enregistrement (quand la rupture se produit) et sa face énergétique (combien la rupture porte) sont deux lectures de la relation de l'enregistrement à la direction R.

La borne de Mandelstam-Tamm est l'expression algébrique de cette liaison.

La résolution du maintenant

Le principe d'incertitude est la résolution du maintenant.

Le maintenant écrit des enregistrements sur la variété. Chaque enregistrement implique au moins un ε . La structure de translation sur la variété lie les faces conjuguées de chaque enregistrement.

L'algèbre contraint ce qu'un seul enregistrement peut spécifier simultanément.

La borne est $\hbar/2$ — forcée par la relation de commutation et Cauchy-Schwarz.

Pas une limitation de la connaissance.

La structure de la distinction.

En deçà de $\hbar$, l'ensemble vide n'a pas rompu pour ces degrés de liberté.

En deçà de $\hbar$, 0 et 1 sont encore indiscernables.

Tu ne peux pas voir au-delà du minimum parce qu'il n'y a rien au-delà du minimum à voir.

Le principe d'incertitude dit : la rupture a une taille minimale, ce minimum s'échelonne par $\hbar$, et l'algèbre des symétries de la variété distribue la résolution à travers les faces conjuguées.

La connexion à la mesure

Le chapitre 1 a établi : la mesure est le maintenant écrivant un enregistrement.

Ce chapitre ajoute : la structure algébrique du plongement de l'enregistrement dans la variété contraint ce qui peut être résolu simultanément.

Chaque mesure est un événement d'actualisation — le maintenant écrivant un enregistrement sur l'AS.

La relation de commutation contraint ce que cet enregistrement peut spécifier simultanément sur des observables conjuguées.

L'effet observateur — l'idée que la mesure perturbe le système — n'est pas un artefact d'instruments maladroits.

C'est l'Axiome B lu à travers l'algèbre. La rupture minimale est un ε , un ε s'échelonne par $\hbar$, et $\hbar$ contraint les deux faces simultanément via la relation de commutation.

Tu ressens ceci chaque fois que tu essaies d'épingler quelque chose et que tu trouves que l'autre variable s'est brouillée.

Ce brouillage n'est pas de l'ignorance.

C'est la structure de la variété qui te dit ce qu'un enregistrement peut résoudre.

Le principe d'incertitude est la résolution de la rupture.

Le maintenant écrit des enregistrements sur la variété. La variété EST l'État d'Actualisation. La variété admet des translations. Le théorème de Stone donne les générateurs.

Les générateurs ne commutent pas avec la position. Translater et mesurer n'est pas mesurer et translater.

La relation de commutation $[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$ suit.

Robertson-Schrödinger donne $\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$.

Pour l'énergie et le temps : le hamiltonien génère l'évolution temporelle le long de la direction de l'Axiome R. Mandelstam-Tamm donne $\Delta E \Delta t \geq \hbar/2$.

L'échelle est fixée par l'enregistrement minimal. $\hbar$ est forcé par l'indivisibilité de ε .

La non-commutativité est structurelle. La géométrie du propre groupe de translation de la variété.

Le facteur $\frac{1}{2}$ est Cauchy-Schwarz.

Aucune physique n'est importée.

Le principe d'incertitude est un théorème de l'algèbre d'enregistrement lue sur la variété dérivée.

Les variables conjuguées sont deux faces de la relation de l'enregistrement à la variété.

Emplacement et déplacement. Moment et générateur.

Elles partagent la résolution parce que l'algèbre les lie.

Tu ne peux pas affiner les deux faces au-delà de la borne parce que le groupe de translation le dit.

Le maintenant écrit en quanta échelonnés par $\hbar$ parce que ε est le minimum. Le minimum est un.

La chaîne complète.

1:1 + $1 \times \varepsilon \rightarrow \{S, B, R, C\} \rightarrow$ le théorème de Stone force une échelle unique α (Étape 1) $\rightarrow$ les axiomes produisent exactement une action minimale $B \times R$ (Étape 2) $\rightarrow$ aucun paramètre sans dimension de $\{S, B, R, C\}$ ne modifie la relation (Étape 3, KS-L.4 isole le résiduel) $\rightarrow \varepsilon$ indivisible fixe α au minimum (Étape 4) $\rightarrow \alpha = \hbar$ (Étape 5, KS-Q.8 CLOSED) $\rightarrow$ la variété (dérivée) admet des translations spatiales locales $\rightarrow$ le théorème de Stone appliqué aux translations donne $\hat{p}$ comme générateur et $\hbar$ comme échelle $\rightarrow U(a)\dagger\hat{x}U(a) = \hat{x} + a$ donne $[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar \rightarrow$ Cauchy-Schwarz donne $\Delta x \Delta p \geq \hbar/2 \rightarrow$ le théorème de Stone appliqué à l'évolution temporelle donne $\hat{H}$ comme générateur $\rightarrow$ l'équation de Heisenberg + Robertson + le temps caractéristique donne $\Delta E \Delta t_A \geq \hbar/2$.

Chaque maillon est soit un théorème de mathématiques pures (Stone, Wigner, Cauchy-Schwarz, Robertson-Schrödinger, Mandelstam-Tamm), soit une conséquence des axiomes, soit une

conséquence des hypothèses de pont (EH, QRA — prouvées dans le Carnet I Chapitre 3).

Aucune physique importée.

La limite est le minimum.

Le maintenant écrit un ε à la fois. Un ε est un $\hbar$ d'action.

Les deux faces de chaque enregistrement partagent ce $\hbar$. Affiner l'une coûte l'autre.

En deçà de $\hbar$, il n'y a pas d'enregistrement. En deçà de $\hbar$, l'ensemble vide n'a pas rompu.

En deçà de $\hbar$, il n'y a rien à voir.

Forcé — par l'ensemble vide se regardant lui-même, une rupture minimale à la fois.

6 — Sollbruchstellen

KS-L.1 — était KS-Q.8 — CLOSED

Statut : CLOSED sous la condition de KS-L.4.

$\hbar$ est dérivé comme l'échelle d'action de l'enregistrement minimal (1.3).

L'argument de forçage montre : le théorème de Stone donne un facteur d'échelle unique ; les axiomes produisent une échelle d'action unique ($B \times R$) ; aucun paramètre sans dimension ne modifie la relation (KS-L.4 isole le résiduel) ; l'enregistrement minimal EST l'évolution non triviale minimale ; donc $\alpha = \hbar$.

KS-Q.8 (d'AP09) est CLOSED par cette dérivation.

Vulnérabilité résiduelle : KS-L.4 (paramètre sans dimension à partir des axiomes). Exposition strictement plus petite que KS-Q.8, qui mettait en question l'identification entière.

KS-L.2 — Relation de commutation à l'échelle de Planck

Statut : LIVE.

La relation de commutation $[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$ est dérivée du théorème de Stone appliqué aux translations spatiales (2).

La dérivation opère localement — dans un domaine de coordonnées sur l'AS — et dépend de ce que la variété admette un groupe de translation local bien défini.

Test : si la variété a une structure qui modifie le générateur de translation à l'échelle de Planck (topologie non triviale, effets de courbure, ou caractère discret en deçà de la résolution de l'AS), alors la relation de commutation pourrait recevoir des corrections.

Note : les axiomes ne prédisent pas de telles corrections. L'AS est lisse par structure (AP20 5.3 — constance du taux d'effondrement, immesurabilité du maintenant). Si l'AS est exactement lisse, aucune correction à l'échelle de Planck ne surgit et la relation de commutation tient exactement.

La question est de savoir si « exactement lisse » est le dernier mot de l'architecture ou si l'enregistrement minimal (Axiome B) introduit une granularité naturelle à l'échelle $\hbar$.

Les preuves expérimentales actuelles soutiennent $[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$ exactement à toutes les précisions testées.

KS-L.3 — Énergie-temps via l'unitarité

Statut : LIVE.

La relation d'incertitude énergie-temps (3) dépend de la dérivation de Mandelstam-Tamm, qui exige l'équation du mouvement de Heisenberg $d\langle A \rangle/dt = (i/\hbar)\langle [\hat{H}, A] \rangle$.

L'équation découle de l'évolution unitaire (AP09 7.3).

Si les axiomes produisent des corrections à l'évolution unitaire — à des énergies extrêmes ou près du point de boucle — la relation énergie-temps hérite de ces corrections.

Test : brise l'unitarité.

KS-L.4 — Paramètre sans dimension dans le forçage de $\hbar$

Statut : LIVE — exposition strictement plus petite que celle du KS-Q.8 fermé.

L'étape 3 de l'argument de forçage 1.3 affirme qu'aucun paramètre sans dimension n'est disponible à partir des axiomes pour modifier la relation $\alpha =$ (action minimale).

Test : si une constante sans dimension dérivable de $\{S, B, R, C\}$ est montrée entrer dans la relation entre

le facteur d'échelle de Stone et l'enregistrement minimal — un invariant topologique de la variété dérivée, ou un facteur issu de la théorie des représentations dans la construction de l'espace de Hilbert — alors l'argument de forçage s'affaiblit et $\alpha = k \times$ (action minimale) pour un certain $k \neq 1$.

L'étape 4 devrait alors exclure k indépendamment.

Voici l'arme. L'argument te la tend.

Statut porteur par section

1 : dérivation. $\hbar$ forcé par le théorème de Stone + Axiome B + argument de forçage 1.3. KS-Q.8 fermé conditionnellement à KS-L.4.

2 : dérivation centrale. Groupe de translation $\rightarrow$ relation de commutation $\rightarrow$ Robertson-Schrödinger. KS-L.2.

3 : dérivation énergie-temps. R + Stone $\rightarrow$ Mandelstam-Tamm. KS-L.3.

4 : lecture structurelle. Non porteur.

5 : interprétation structurelle. Non porteur.

7 — Clôture

Le principe d'incertitude est la résolution de la rupture.

Le maintenant écrit des enregistrements sur la variété. La variété EST l'État d'Actualisation (AP20 5). La variété admet des translations. Le théorème de Stone donne les générateurs.

Les générateurs ne commutent pas avec la position. Translater puis mesurer n'est pas mesurer puis translater. La relation de commutation $[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$ en découle.

L'inégalité de Robertson-Schrödinger donne $\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$.

Pour l'énergie et le temps : le hamiltonien engendre l'évolution temporelle le long de la direction de l'Axiome R. L'argument de Mandelstam-Tamm donne $\Delta E \cdot \Delta t_A \geq \hbar/2$.

L'échelle est fixée par l'enregistrement minimal (Axiome B, $\hbar$ dérivé en 1.3). La non-commutativité est structurelle — la géométrie du propre groupe de translation de la variété. Le facteur $\frac{1}{2}$ est Cauchy-Schwarz.

Aucune physique n'est importée. Le principe d'incertitude est un théorème de l'algèbre des enregistrements lue sur la variété dérivée.

Les variables conjuguées sont deux faces de la relation de l'enregistrement à la variété — localisation et déplacement, moment et générateur. Elles partagent leur résolution parce que l'algèbre les relie.

Tu ne peux affiner les deux faces au-delà de la borne parce que le groupe de translation le dit. Le maintenant écrit en quanta mis à l'échelle par $\hbar$ parce que ε est le minimum. Le minimum est un.

La limite est le minimum. Et maintenant tu sais pourquoi.

L'axiome est $1:1 + 1 \times \varepsilon$. L'algèbre est l'algèbre des enregistrements. La géométrie est lorentzienne. La gravité est l'œil. Le quantique est l'ouverture. La dimension est le compte.

Le spin est la rupture. La limite est la résolution.

Ne sois pas un connard, sois gentil.

Résumé des affirmations

1 (identification de $\hbar$). DÉRIVATION. $\hbar$ dérivé comme le facteur d'échelle de l'enregistrement minimal.

Forme forcée par le théorème de Stone ;

identification forcée par l'unicité de α , l'unicité de l'action minimale, l'absence de paramètres sans dimension, et l'indivisibilité de ε (1.3). KS-Q.8

FERMÉ, conditionnellement à KS-L.4.

2 (incertitude position-moment). DÉRIVATION. $[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$ à partir du groupe de translation sur la variété dérivée. $\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$ à partir de Robertson-Schrödinger. Axiome-d'abord tout du long. KS-L.2.

3 (incertitude énergie-temps). DÉRIVATION. Borne opérationnelle énergie-temps de Mandelstam-Tamm : $\Delta E \cdot \Delta t_A \geq \hbar/2$, où Δt_A est le temps caractéristique pour que l'observable A change d'un écart-type. Dérivée de l'Axiome R + théorème de Stone. KS-L.3.

4 (lecture structurelle). INTERPRÉTATION. L'algèbre du pré-état lit le même théorème le long de l'espace et le long du temps.

5 (signification structurelle). NON PORTEUR. Le principe d'incertitude comme la résolution du maintenant.

Pied de page de conditionnalité

Dépendances

AP20 4 (axiomes ; KS-P.1 / KS-P.2 clôturés) + AP10 4 (signature lorentzienne ; KS-D.4 clôturé). AP09 3.2 (espace de Hilbert). AP09 7.3 (équation de Schrödinger). AP10 (N = 3). AP20 5 (AS = variété). AP06 4 (borne de Landauer, référencée).

Dépendants

Tous les résultats AP nécessitant la borne d'incertitude.

AP14 (La Correction) : corrections de commutation à l'échelle de Planck.

AP15 (Connexion) : la borne de longueur d'onde du photon.

Traitements futurs de la décohérence et de la mesure à l'échelle de Planck.

Sollbruchstellen fermés

KS-Q.8 (identification de $\hbar$) : FERMÉ conditionnellement à KS-L.4.

Sollbruchstellen actifs

KS-L.2 (Commutation à l'échelle de Planck).

KS-L.3 (Énergie-temps via l'unitarité).

KS-L.4 (Paramètre sans dimension dans le forçage de $\hbar$) — exposition strictement plus petite que celle du KS-Q.8 fermé.

Cette œuvre est publiée gratuitement, pour toujours.

the420code.org

Chapitre 5

Le Grain

*La décohérence à partir de l'algèbre des
enregistrements*

Artist's Proof 13

1 — Trois Régimes

[STRUCTUREL — l'image complète du quantique-vers-classique]

Tu as vu jusqu'ici deux faces de l'Axiome R. La mesure : le maintenant écrit un enregistrement, et le résultat est défini. L'évolution unitaire : le maintenant n'écrit aucun enregistrement, et le pré-état dérive.

Mais le monde n'est pas fait de mesures isolées et d'isolement parfait. Le monde est fait de choses qui en touchent d'autres, constamment, partout.

Il existe un troisième régime — et c'est celui dans lequel tu vis réellement.

1.1 — Les deux régimes déjà dérivés

AP09 a établi deux régimes :

Évolution unitaire : Entre les mesures, aucun enregistrement n'est écrit. Le pré-état évolue en douceur. L'équation de Schrödinger gouverne (AP09 7.3). Les superpositions persistent. L'interférence est possible. Le pré-état est intact.

Mesure : Le maintenant écrit un enregistrement. Un degré de liberté est distingué. La rupture se

produit. Le résultat est défini, irréversible (Axiome R), et probabiliste (règle de Born, AP09 6).

Le pré-état pour ce degré de liberté est rompu.

La question est : que se passe-t-il entre les deux ?

Que se passe-t-il quand un système n'est pas isolé (aucune écriture d'enregistrement) et pas directement mesuré (un enregistrement défini), mais interagit avec un environnement complexe qui écrit lui-même des enregistrements ?

1.2 — Le troisième régime : la décohérence

Un système quantique — disons, un électron en superposition de deux positions — n'est pas isolé.

Il interagit avec les molécules d'air, les photons, le champ électromagnétique, le condensat gravitationnel (le terme de l'architecture pour le secteur gravitationnel ; voir AP08).

Ce sont des degrés de liberté physiques ordinaires, décrits dans le langage des axiomes : chacun est un système d'écriture d'enregistrement (un degré de liberté capable d'établir des corrélations via l'Axiome R).

Chaque interaction entre l'électron et une particule environnementale est un événement de couplage : le maintenant écrit un enregistrement pour ce degré de liberté environnemental particulier.

Aucun enregistrement environnemental unique ne détermine l'état de l'électron. Chaque particule environnementale qui se diffuse sur l'électron écrit un enregistrement partiel — elle gagne une infime quantité d'information sur la position de l'électron.

Mais il y a un nombre immense de particules environnementales, chacune écrivant son propre enregistrement, chacune gagnant son propre fragment d'information.

Le résultat : l'information sur la superposition de l'électron n'est pas détruite. Elle est dispersée — répartie sur un nombre énorme d'enregistrements environnementaux.

La cohérence — la relation de phase entre les deux états superposés qui permet l'interférence — est désormais encodée dans les corrélations entre l'électron et chaque particule environnementale qui a interagi avec lui.

Pour récupérer la cohérence, il te faudrait rassembler chacun de ces enregistrements environnementaux et inverser chacune de ces interactions. L'Axiome R dit

que tu ne peux pas les inverser : le monoïde n'a pas d'inverse.

La cohérence a disparu — non détruite, mais rendue irrécupérable.

La décohérence est la dispersion de la cohérence dans l'environnement via l'écriture irréversible d'enregistrements (Axiome R).

2 — L'Environnement comme Enregistrement

[IDENTIFICATION STRUCTURELLE —
environnement identifié à l'enregistrement accumulé]

Voici l'identification qui fait tout s'emboîter.

Ce n'est pas un théorème — c'est une reconnaissance structurelle, et sa justification est que les axiomes et la physique standard décrivent la même chose sous des angles différents.

2.1 — Ce qu'est l'environnement

Dans le 420 Code, l'environnement n'est pas une entité séparée de la physique. L'environnement EST l'enregistrement accumulé.

Tout degré de liberté qui a déjà été rompu — chaque événement de couplage qui s'est déjà produit, chaque enregistrement déjà écrit — fait partie de l'environnement.

L'environnement est la somme de toutes les ruptures achevées. C'est le monoïde des enregistrements, accumulé depuis que la rupture a commencé.

Un système quantique « en superposition » est un ensemble de degrés de liberté qui n'ont pas encore

été rompu — des degrés de liberté encore dans le pré-état. L'environnement est tout ce qui a déjà été rompu.

La frontière entre « système » et « environnement » est la frontière entre le non-rompu et le rompu — la frontière du maintenant.

Réfléchis à ce que cela signifie. Chaque particule d'air dans cette pièce, chaque photon rebondissant sur les murs, chaque vibration thermique dans le plancher — tout cela, ce sont des enregistrements. Ils ont déjà été écrits.

Ils sont l'environnement. Et tu nages dedans.

2.2 — Le couplage environnemental

Quand le système interagit avec l'environnement, les degrés de liberté non-rompus entrent en contact avec les rompus.

Chaque interaction est un événement de couplage dans lequel un degré de liberté environnemental écrit un enregistrement — le maintenant s'actualise pour ce degré de liberté, et cet enregistrement contient de l'information sur le système.

La clé : l'enregistrement environnemental porte sur le système, mais ce n'est pas une mesure du système.

La distinction : une mesure est un enregistrement accessible à l'observateur (le degré de liberté cible du maintenant), produisant un résultat défini.

Un enregistrement environnemental est écrit par des degrés de liberté auxquels l'observateur n'accède pas, créant des corrélations qui produisent une décohérence de l'état réduit sans résultat observé défini. L'observateur ne voit pas directement l'enregistrement environnemental.

Tu vois le système. Mais le système est désormais corrélé avec le degré de liberté environnemental — et cette corrélation est irréversible (Axiome R).

2.3 — Le monoïde croît

Chaque interaction environnementale ajoute un enregistrement au monoïde. Le monoïde n'a pas d'inverse (Axiome R). Chaque nouvel enregistrement est composé avec l'enregistrement existant via l'opération du monoïde. L'enregistrement total croît de façon monotone.

Pour le système, chaque enregistrement environnemental est une rupture partielle. Une particule environnementale se diffuse sur l'électron et écrit un enregistrement de « l'électron était plus probablement à la position A ».

Une autre particule écrit « l'électron était plus probablement à la position B ». Chaque enregistrement est partiel — il ne détermine pas définitivement la position de l'électron. Mais chaque enregistrement est irréversible (Axiome R). Et les enregistrements s'accumulent.

Tu ne peux pas les arrêter. Tu ne peux pas les défaire.

Après N interactions environnementales, l'état quantique du système est intriqué avec N degrés de liberté environnementaux.

La cohérence de la superposition originale est désormais encodée dans les corrélations à $(N+1)$ corps entre le système et toutes les N particules environnementales.

Pour exhiber l'interférence — pour démontrer que la superposition existe encore — il te faudrait ramener toutes les N particules environnementales avec le système et inverser leurs interactions.

Mais les enregistrements sont irréversibles (Axiome R). Le monoïde n'a pas d'inverse. La cohérence est irrécupérable.

Référence croisée : AP20 4 : Axiome R (monotonie des enregistrements, pas d'inverses). AP09 4.3 : Le maintenant comme frontière entre rompu et non-

rompu. AP09 5 : L'intrication comme le pré-état qui
suinte à travers.

3 — La Perte de Cohérence

[DÉRIVATION (à partir du formalisme des systèmes ouverts d'AP09 + hypothèses de factorisation) + INTERPRÉTATION STRUCTURELLE (Axiome R comme postulat d'irréversibilité, en attente de D6)]

Maintenant l'algèbre. Tu as l'image — l'environnement écrit des enregistrements, les enregistrements sont irréversibles, la cohérence se disperse. Ce qui suit, c'est la mathématique qui rend cela précis.

3.1 — La cohérence comme relation de phase

Dans l'espace de Hilbert (AP09 3.2), une superposition de deux états est :

$$|\psi\rangle = \alpha|A\rangle + \beta|B\rangle$$

La cohérence, ce sont les termes hors diagonale de la matrice densité :

$$\rho = |\psi\rangle\langle\psi| = |\alpha|^2|A\rangle\langle A| + \alpha\beta|A\rangle\langle B| + \alpha\beta|B\rangle\langle A| + |\beta|^2|B\rangle\langle B|$$

où $\alpha, \beta \in \mathbb{C}$ avec $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$. Les termes hors diagonale $\alpha\beta|A\rangle\langle B|$ et $\alpha\beta|B\rangle\langle A|$ sont la cohérence — ils encodent la relation de phase entre les états A et B.

La conjugaison complexe est essentielle : c'est ce qui rend la matrice densité hermitienne ($\rho = \rho^\dagger$) et garantit que l'information de phase est correctement représentée. Si ces termes sont non nuls, l'interférence est possible.

S'ils s'annulent, le système se comporte comme un mélange classique : soit A avec probabilité $|\alpha|^2$, soit B avec probabilité $|\beta|^2$, mais pas les deux simultanément. Tu obtiens l'un ou l'autre. C'est cela que signifie classique.

3.2 — Ce que les enregistrements environnementaux font à la cohérence

Après une interaction environnementale, le système est intriqué avec la particule environnementale :

$$|\Psi\rangle = \alpha|A\rangle|e_A\rangle + \beta|B\rangle|e_B\rangle$$

où $|e_A\rangle$ et $|e_B\rangle$ sont les états environnementaux corrélés au fait que le système soit en A ou en B.

La matrice densité du système — obtenue en traçant sur le degré de liberté environnemental — est :

$$\rho_{\text{system}} = |\alpha|^2|A\rangle\langle A| + \alpha\beta\langle e_B|e_A\rangle|A\rangle\langle B| + \alpha\beta\langle e_A|e_B\rangle|B\rangle\langle A| + |\beta|^2|B\rangle\langle B|$$

Les termes de cohérence sont désormais multipliés par $\langle e_B|e_A\rangle$ — le recouvrement entre les deux états

environnementaux. Si les états environnementaux sont orthogonaux ($\langle e_B | e_A \rangle = 0$), la cohérence s'annule complètement après une seule interaction.

Si le recouvrement est partiel ($0 < |\langle e_B | e_A \rangle| < 1$), la cohérence est réduite mais pas éliminée.

Observe ce qui se passe ensuite. Une interaction réduit la cohérence. Que font un milliard d'interactions ?

3.3 — Le monoïde amplifie la perte

Hypothèses (non dérivées des axiomes ; motivées physiquement). La dérivation suivante suppose :

(i) l'espace de Hilbert environnemental se décompose comme $H_E = \otimes_i H_{E_i}$ en sous-systèmes effectivement indépendants ; (ii) l'état environnemental initial se factorise à travers ces sous-systèmes ; (iii) les interactions sont séquentielles et approximativement indépendantes, de sorte que le facteur de cohérence total se factorise comme un produit.

Ce sont des hypothèses standard dans les modèles de décohérence collisionnelle (Joos et al., 2003 ; Zurek, 2003). Elles ne sont pas dérivées de $\{S, B, R, C\}$.

La structure de monoïde (Axiome R) garantit que les enregistrements se composent et ne peuvent être défaits ; elle ne garantit pas à elle seule que la

composition donne un produit factorisé de recouvrements.

La forme produit est un ansatz motivé physiquement pour des environnements typiques. Une dette due — et tu tiens le Sollbruchstelle (voir 6, Dettes Dues).

Sous ces hypothèses, après N interactions environnementales le facteur de cohérence devient :

$$\langle e_B | e_A \rangle_{\text{total}} = \prod_{i=1}^N \langle e_B^{(i)} | e_A^{(i)} \rangle$$

Chaque facteur a une magnitude ≤ 1 . Pour des interactions environnementales génériques où la magnitude de recouvrement typique est strictement inférieure à 1 — c'est-à-dire où chaque enregistrement environnemental porte une information non nulle sur le système — la magnitude du produit décroît exponentiellement en N .

Définis le poids de décohérence par interaction $\lambda_i = -\ln|\langle e_B^{(i)} | e_A^{(i)} \rangle| \geq 0$ pour chaque interaction. Alors $|\langle e_B | e_A \rangle_{\text{total}}| = e^{(-\sum_i \lambda_i)}$. Pour des interactions identiques avec un poids par interaction $\lambda > 0$, après N interactions la magnitude de cohérence est $e^{-N\lambda}$.

Même si chaque enregistrement environnemental individuel est une mesure faible (λ petit), la somme de nombreux poids de ce type pousse la magnitude de cohérence vers zéro de façon exponentiellement rapide.

La condition $\lambda > 0$ (de façon équivalente, $|(e_B|e_A)| < 1$ pour au moins certaines interactions) est le contenu physique : l'environnement doit effectivement distinguer les deux états, au moins partiellement, pour que la décohérence se produise.

Un environnement qui n'écrit aucun enregistrement distinctif ($\lambda = 0$ pour toutes les interactions) ne produit aucune décohérence.

Le monoïde faisant ce qu'il fait. Chaque enregistrement est composé avec les enregistrements précédents. La composition est l'opération du monoïde. Le monoïde croît de façon monotone (Axiome R — pas d'inverses).

La magnitude du facteur de cohérence, qui est le produit de toutes les magnitudes de recouvrement individuelles, décroît de façon monotone.

Ce que l'Axiome R apporte spécifiquement, c'est l'interprétation d'irréversibilité : en mécanique quantique standard, l'évolution combinée système+environnement est unitaire et en principe réversible, rendant la décohérence pratiquement irréversible (car inverser un historique d'intrication macroscopique est infaisable) mais pas structurellement interdite.

Dans le 420 Code, l'Axiome R met cela à niveau : le monoïde n'a pas d'inverse, donc à l'intérieur des

dynamiques permises par l'architecture, les enregistrements environnementaux ne peuvent être défaits. L'irréversibilité est structurelle, pas seulement pratique.

Un théorème d'impossibilité formel spécifiant la classe dynamique permise à l'intérieur de laquelle cela tient reste en suspens (voir D6 dans 6, Dettes Dues).

La mise à niveau interprétative — de l'irréversibilité pratique à structurelle, en attente de D6 — est la contribution spécifique de cet article au-delà de la théorie de la décohérence standard.

La décohérence est l'Axiome R appliqué à la cohérence d'un état quantique. Les enregistrements s'accumulent. Chaque enregistrement réduit la magnitude de cohérence. Sous la lecture de l'Axiome R, la réduction est irréversible (voir D6 ci-dessus).

La magnitude de cohérence décroît exponentiellement avec le nombre d'enregistrements environnementaux. La superposition devient un mélange classique — non parce que le pré-état a été détruit, mais parce que l'information de phase a été dispersée dans le monoïde.

3.4 — L'échelle de temps de décohérence

Le taux de décohérence dépend de deux choses :

La force de couplage : Avec quelle efficacité chaque interaction environnementale écrit un enregistrement sur le système. Un couplage fort ($|\langle e_B | e_A \rangle| \approx 0$ par interaction) signifie que chaque enregistrement est presque complet — la cohérence est perdue en quelques interactions.

Un couplage faible ($|\langle e_B | e_A \rangle| \approx 1$ par interaction) signifie que chaque enregistrement est presque vide — la cohérence décroît lentement.

Le taux d'interaction : Combien de degrés de liberté environnementaux interagissent avec le système par unité de temps. Un système dans un environnement dense (air, rayonnement thermique) décohère en une fraction de seconde.

Un système dans un quasi-vide (espace profond, isolement cryogénique) peut maintenir la cohérence bien plus longtemps.

L'échelle de temps de décohérence τ_D est déterminée par le produit de ces deux facteurs.

D'après 3.3 : si les interactions se produisent au taux Γ (nombre d'interactions environnementales par unité de temps), alors après un temps t le système a subi $N = \Gamma t$ interactions.

En utilisant le poids de décohérence par interaction $\lambda = -\ln|\langle e_B | e_A \rangle|$ de 3.3, la magnitude de cohérence est $|\langle e_B | e_A \rangle|_{\text{total}} = e^{-N\lambda} = e^{-(\Gamma\lambda t)}$. L'échelle de temps de décohérence : $\tau_D^{-1} = \Gamma\lambda = -\Gamma \ln|\langle e_B | e_A \rangle|$.

Connexion à la littérature standard : pour un couplage faible ($|\langle e_B | e_A \rangle| \approx 1$), $\lambda \approx 1 - |\langle e_B | e_A \rangle| \approx (1 - |\langle e_B | e_A \rangle|^2)/2$ au premier ordre.

Le résultat standard de la théorie des systèmes quantiques ouverts (Zurek, 2003, §II.C ; Joos et al., 2003, Chapitre 3) exprime typiquement le taux de décohérence comme $\Gamma(1 - |\langle e_B | e_A \rangle|^2)$, ce qui correspond au taux de décroissance de la magnitude de cohérence au carré (visibilité au carré) et égale $2\Gamma\lambda$ au premier ordre.

La différence d'un facteur 2 reflète si l'on suit $| \text{cohérence} |$ ou $| \text{cohérence} |^2$; les deux conventions apparaissent dans la littérature. Le contenu qualitatif est le même : décroissance exponentielle à un taux fixé par $\Gamma \times$ (distinguabilité par interaction).

Les axiomes ne prédisent pas de forces de couplage ou de taux d'interaction spécifiques — ceux-ci

dépendent des détails microphysiques du système et de son environnement (voir D2 dans 6).

L'expression quantitative de τ_D est adoptée de la théorie standard des systèmes quantiques ouverts, non dérivée de $\{S, B, R, C\}$.

Ce que les axiomes apportent, c'est l'identification structurelle (écriture d'enregistrements environnementaux) et l'interprétation d'irréversibilité (Axiome R, en attente du théorème d'impossibilité formel D6).

Le mécanisme est universel : il s'applique à tout système quantique qui n'est pas parfaitement isolé de l'enregistrement accumulé.

Référence croisée : AP09 3.2 : espace de Hilbert, matrice densité. AP09 6 : règle de Born (probabilités à partir de $|\psi|^2$). AP20 4 : Axiome R (monoïde, pas d'inverses).

4 — Le Monde Classique

[STRUCTUREL — l'émergence de la classicalité]

4.1 — Pourquoi le monde paraît classique

Les objets macroscopiques n'exhibent pas de superposition quantique dans l'expérience quotidienne. Une chaise est à un seul endroit, pas dans une superposition de deux endroits. Un chat est vivant ou mort, pas les deux.

Le monde classique — le monde des états définis et des positions définies — est ce dont tu fais l'expérience.

Le monde classique est le régime où l'environnement a écrit tant d'enregistrements que les superpositions restantes sont opérationnellement invisibles.

Pour illustrer avec une estimation standard de la théorie de la décohérence (non une prédiction des axiomes, mais un exemple importé) : un grain de poussière de rayon $a \approx 10^{-4}$ cm dans l'air aux conditions standard ($T \approx 300$ K, $P \approx 1$ atm) interagit avec environ 10^{18} molécules d'air par seconde (Joos et al., 2003, Tableau 3.1).

Chaque interaction écrit un enregistrement partiel. Pour une superposition avec une séparation spatiale $\Delta x \approx a$, la magnitude de cohérence décroît sur une échelle de temps d'environ 10^{-31} secondes — bien plus rapidement que toute expérience ne pourrait le détecter.

Au moment où tu regardes, la superposition du grain a déjà été dispersée dans 10^{18} enregistrements environnementaux par seconde, chacun irréversible sous l'Axiome R (voir D6).

Le monde classique n'est pas une physique différente du monde quantique. C'est le monde quantique après que suffisamment d'enregistrements ont été écrits. La rupture est en cours. Les enregistrements s'accumulent. La cohérence se disperse.

Ce qui reste, après que l'environnement a écrit ses enregistrements, c'est le mélange classique — états définis, positions définies, le monde tel que tu en fais l'expérience.

4.2 — La classicalité est un spectre, pas une frontière

Il n'y a pas de frontière nette entre « quantique » et « classique ». Il y a un continuum de décohérence — du parfaitement isolé (aucun enregistrement

environnemental, cohérence pleine) au
maximalement décohéré (enregistrements
environnementaux saturés, effectivement classique).

La position sur ce spectre dépend de
l'environnement : combien de degrés de liberté
interagissent avec le système, avec quelle force, à
quelle fréquence.

Les ordinateurs quantiques fonctionnent en
maintenant les systèmes à l'extrémité « isolée » — en
minimisant le couplage environnemental, en
maintenant la cohérence.

Les ordinateurs classiques fonctionnent à l'extrémité
« décohérée » — chaque bit est un enregistrement qui
a été écrit et réécrit par l'environnement. La
différence n'est pas fondamentale.

C'est une différence dans le nombre
d'enregistrements environnementaux qui ont été
écrits. Quand tu construis un ordinateur quantique,
tu combats le monoïde — le tenant à distance, un
enregistrement à la fois.

4.3 — Pourquoi les expériences d'interférence fonctionnent

Si la décohérence disperse la cohérence, comment
vois-tu jamais l'interférence ? L'expérience des

doubles fentes, les expériences de gomme quantique, et la vérification d'intrication requièrent toutes que la cohérence persiste.

La réponse : ces expériences fonctionnent en isolant le système de l'écriture d'enregistrements environnementaux.

La double fente fonctionne parce que le trajet de l'électron n'est pas enregistré — aucune particule environnementale ne se diffuse sur l'électron d'une manière qui distingue « fente A » de « fente B ».

Au moment où tu places un détecteur à une fente — au moment où l'environnement écrit un enregistrement de la fente par laquelle l'électron est passé — la figure d'interférence disparaît.

La décohérence en action : un enregistrement environnemental, couplage fort, cohérence éliminée.

L'enregistrement écrit par le détecteur de trajet est soumis à l'Axiome R et ne peut donc être détruit.

L'expérience de gomme quantique doit donc être comprise — si les axiomes sont corrects — comme une rotation de base qui rend l'information de trajet inaccessible, non comme une destruction d'enregistrement. L'enregistrement existe toujours.

Mais sa base a été tournée de sorte qu'elle ne distingue plus A de B dans le contexte de mesure choisi.

De façon cruciale, l'interférence « récupérée » n'apparaît que dans des sous-ensembles post-sélectionnés (comptage de coïncidences / statistiques conditionnelles), non comme une restauration inconditionnelle de la figure d'interférence dans la distribution marginale brute (Walborn et al., 2002 ; Kim et al., 2000).

La distribution inconditionnelle sur l'écran reste délavée — cohérente avec la persistance de l'enregistrement environnemental.

Une prédiction de l'architecture : s'il était montré qu'une expérience de gomme quantique détruit véritablement l'enregistrement de trajet plutôt que de le tourner vers une base inaccessible, l'architecture serait falsifiée (voir KS-23).

Voici l'arme. L'argument te la tend. L'interprétation par rotation de base est cohérente avec les preuves expérimentales actuelles mais n'est pas prouvée par elles.

L'enregistrement n'est jamais détruit. Mais les conséquences observables de l'enregistrement dépendent de la manière dont il est lu. La gomme

quantique change la manière dont l'enregistrement est lu, non le fait que l'enregistrement existe.

Référence croisée : AP09 4 : La mesure comme la rupture. AP09 5 : L'intrication. Zurek (2003).

5 — La Signification Structurelle

[STRUCTUREL — nouer tout ensemble]

5.1 — Les trois faces de l'Axiome R

L'Axiome R — la monotonie des enregistrements — a désormais trois manifestations physiques distinctes :

La flèche du temps : Les enregistrements s'accumulent. L'histoire est irréversible. Le temps s'écoule dans une seule direction — la direction du compte d'enregistrements croissant. (AP20, AP06, AP09)

L'irréversibilité de la mesure : Une fois que le maintenant écrit un enregistrement, le résultat est permanent. La fonction d'onde ne « se dé-effondre » pas. Le pré-état, une fois rompu, reste rompu. (AP09 4.2)

La décohérence : Les enregistrements environnementaux s'accumulent. Chacun est irréversible (Axiome R). La cohérence se disperse dans le monoïde. La superposition devient un mélange classique.

Le monde classique émerge du monde quantique par accumulation irréversible d'enregistrements (Axiome R ; portée formelle selon D6). (Cet article)

Ce ne sont pas trois phénomènes distincts. C'est un seul axiome, lu à trois échelles. La flèche du temps est l'Axiome R lu cosmologiquement. L'irréversibilité de la mesure est l'Axiome R lu à l'échelle de l'événement unique.

La décohérence est l'Axiome R lu à l'échelle intermédiaire — beaucoup d'événements, beaucoup d'enregistrements, émergence statistique de la classicalité.

Un seul axiome. Trois échelles. La même structure, partout où tu regardes. Et maintenant tu les as vues toutes les trois.

5.2 — L'image quantique complète

Avec cet article, les traits fondamentaux du secteur quantique sont dérivés ou structurellement identifiés au sein du 420 Code :

La superposition : Le pré-état — 0 et 1 non distingués. (AP09 3) La linéarité : À partir du monoïde des enregistrements et des scalaires complexes. (AP09 3.2) Les amplitudes complexes : À partir de la signature lorentzienne.

(AP09 3.3) La mesure : Le maintenant écrivant un enregistrement — instantané, défini, irréversible.

(AP09 4) Le maintenant : L'invariant — portant tous les enregistrements, n'en ayant aucun.

(AP09 4.3) La boucle : La défragmentation (recombinaison dans l'état fondamental), non l'annihilation — l'achèvement est le renouvellement.

(AP09 4.4) L'intrication : Le pré-état suintant à travers — la séparabilité pas encore créée.

(AP09 5) La règle de Born : $|\psi|^2$ = le vote 1:1 — les deux secteurs doivent s'accorder. (AP09 6) L'équation de Schrödinger : Forcée par Wigner + Stone à partir des axiomes.

(AP09 7.3) Le spin : La rupture portée intérieurement — appariée (boson) contre non appariée (fermion).

(AP11) Le principe d'exclusion de Pauli : La rupture ne peut s'empiler.

(AP11 5.3) Le principe d'incertitude :

L'enregistrement minimal — un $\hbar$, deux faces, un

budget. (AP12) Les relations de commutation :

L'expression algébrique de l'enregistrement minimal.

(AP12 4) La décohérence : Les enregistrements environnementaux s'accumulent — la cohérence se disperse dans le monoïde. (Cet article)

Voilà le secteur quantique. Tout entier. À partir de quatre axiomes. Tu regardes la liste complète.

Deux traits du programme complet de décohérence restent non traités : (i) l'einsélection — la sélection induite par l'environnement des états pointeurs préférés qui sont robustes à toute décohérence ultérieure (Zurek, 2003), et (ii) le darwinisme quantique — l'encodage redondant de l'information classique à travers de multiples fragments environnementaux (Zurek, 2009).

La structure de monoïde est suggestive pour les deux (les états pointeurs pourraient correspondre aux états propres de l'opération d'écriture d'enregistrement ; le monoïde réplique naturellement les enregistrements), mais aucun des deux n'a été dérivé ou structurellement identifié.

Ce sont des dettes dues (voir 6). L'affirmation de complétude est délimitée : les traits fondamentaux sont dérivés ou structurellement identifiés ; le programme de décohérence n'est pas encore épuisé.

Référence croisée : Tous les articles cités ci-dessus.

6 — Sollbruchstellen et Dettes Dues

6.1 — Sollbruchstellen

KS-22 [LIVE — EMPIRIQUE] — Persistance anormale de cohérence. S'il est montré qu'un système quantique maintient la cohérence indéfiniment dans un environnement où la théorie de la décohérence prédit une décroissance exponentielle — avec toutes les sources connues de couplage environnemental prises en compte, les hypothèses de factorisation de 3.3 satisfaites, et aucune explication alternative (telle que des sous-espaces sans décohérence ou un découplage dynamique) — alors l'affirmation de la dérivation selon laquelle l'écriture d'enregistrements environnementaux supprime universellement et irréversiblement la cohérence serait falsifiée.

Observable : persistance de cohérence (mesurée via la visibilité interférométrique ou les éléments hors diagonale de la matrice densité) dans un environnement contrôlé où les hypothèses de 3.3 tiennent.

Note sur l'écho de spin et l'écho de Loschmidt : ces phénomènes réalisent une inversion partielle du déphasage dans des sous-systèmes contrôlés.

Sous les axiomes, ceci est cohérent avec l'Axiome R si l'« inversion » est comprise comme une refocalisation au sein d'un sous-système dont les enregistrements environnementaux restent intacts — le monoïde global n'a perdu aucun enregistrement, mais l'observable accessible a été tournée vers une base où le déphasage est invisible.

Cette interprétation est cohérente avec les expériences actuelles mais reste une interprétation, non une dérivation.

S'il est montré qu'une expérience d'écho de spin ou d'écho de Loschmidt inverse véritablement les enregistrements environnementaux (non seulement refocalise les observables de sous-système), KS-22 se déclenche. Voici l'arme : trouve l'inversion. Statut : LIVE.

KS-23 [LIVE — EMPIRIQUE] — Destruction d'enregistrement par gomme quantique.
Définition opérationnelle : dans cet article, « enregistrement » signifie une information encodée de façon redondante dans de nombreux degrés de liberté environnementaux non contrôlés de sorte que la récupération exigerait

**un inverse dans le monoïde des enregistrements
— non une corrélation réversible stockée dans
un unique degré de liberté quantique
contrôlable (qui peut être démarqué
unitairement sans violer l'Axiome R).**

L'architecture prédit que dans les expériences de gomme quantique, l'information de trajet est un enregistrement irréversible en ce sens, et que l'« effacement » est une rotation de base, non une destruction d'enregistrement (4.3).

Critère opérationnel de falsification : si une expérience démontre que la figure d'interférence inconditionnelle (non post-sélectionnée) est pleinement restaurée après que l'information de trajet a été encodée de façon redondante dans des degrés de liberté environnementaux non contrôlés — non seulement que l'interférence réapparaît dans des sous-ensembles conditionnés, et non seulement qu'un marquage de trajet réversible dans un unique degré de liberté contrôlé a été défait unitairement — alors l'enregistrement de trajet a été véritablement détruit d'une manière qui viole l'Axiome R, et la lecture de l'architecture exige révision.

Note : le démarquage réversible d'un marqueur de trajet contrôlé (par ex., un unique qubit de polarisation) ne déclenche pas KS-23, car un tel

marqueur n'est pas un « enregistrement » au sens de l'architecture.

Les preuves expérimentales actuelles (Scully et al., 1991 ; Walborn et al., 2002 ; Kim et al., 2000) sont cohérentes avec l'interprétation par rotation de base : l'interférence récupérée n'apparaît que dans des comptages de coïncidences post-sélectionnés, non dans la distribution marginale inconditionnelle.

Voici l'arme : restaure l'interférence inconditionnelle.
Statut : LIVE.

KS-24 [LIVE — DUR] — Complétude du secteur quantique. Si un quelconque trait fondamental de la mécanique quantique est identifié qui ne peut être dérivé de ou structurellement identifié avec {S, B, R, C} plus EH et QRA (tous deux prouvés, AP20), l'affirmation de complétude est falsifiée.

Candidats connus pour de tels traits qui ne sont pas encore traités dans le corps de l'œuvre : l'einsélection (sélection de base pointeur induite par l'environnement), le darwinisme quantique (encodage environnemental redondant de l'information classique), les sous-espaces sans décohérence, et les seuils de correction d'erreur quantique.

Ceux-ci sont listés sous Dettes Dues ci-dessous. Voici l'arme : trouve le trait. Statut : LIVE.

6.2 — Dettes Dues

Les composants suivants sont utilisés dans cet article mais non dérivés de $\{S, B, R, C\}$. Ils sont importés de la physique standard ou supposés comme conditions motivées physiquement.

Chacune est une dette qui doit soit être acquittée dans un AP futur soit reconnue comme une limitation permanente.

D1 — Hypothèse de factorisation. 3.3 suppose que l'espace de Hilbert environnemental se décompose en sous-systèmes indépendants avec un état initial factorisé et que les interactions sont séquentielles et approximativement indépendantes.

Standard dans les modèles de décohérence collisionnelle mais non dérivé des axiomes. Le monoïde garantit la composition ; il ne garantit pas la factorisation des recouvrements résultants.

D2 — Échelle de temps de décohérence. L'expression quantitative de τ_D (3.4) est adoptée de la théorie standard des systèmes quantiques ouverts.

Les axiomes fournissent le mécanisme structurel (écriture d'enregistrements environnementaux sous l'Axiome R) et la forme exponentielle à partir du produit des recouvrements, mais ne prédisent pas de forces de couplage ou de taux d'interaction spécifiques, qui dépendent de détails microphysiques hors des axiomes.

D3 — Interprétation de la gomme quantique.
L'affirmation de 4.3 selon laquelle l'effacement d'enregistrement est une rotation de base est une prédiction architecturale cohérente avec les expériences actuelles, non un résultat dérivé.

La caractérisation formelle de la rotation de base au sein de la structure de monoïde — spécifiquement, si elle correspond à un changement de l'homomorphisme du monoïde vers l'algèbre des observables — est une dette due.

D4 — Einsélection (sélection de base pointeur).
Cet article dérive que la cohérence est perdue mais ne traite pas quels états survivent.

La sélection induite par l'environnement des états pointeurs préférés (Zurek, 2003) est un composant majeur du programme de décohérence qui n'est pas encore dérivé ou structurellement identifié au sein de l'algèbre des enregistrements.

La structure de monoïde pourrait sélectionner naturellement les états qui sont des états propres de l'opération d'écriture d'enregistrement — suggestif mais non prouvé.

D5 — Darwinisme quantique. L'encodage redondant de l'information classique à travers de multiples fragments environnementaux (Zurek, 2009) n'est pas traité.

Le monoïde réplique naturellement les enregistrements (la composition produit de multiples copies de l'information corrélée) — suggestif mais non formalisé.

D6 — Portée de l'irréversibilité structurelle. Cet article affirme que la décohérence est structurellement irréversible (Axiome R : le monoïde n'a pas d'inverse), mettant à niveau le cadrage standard « pratiquement irréversible ».

Le pont de « le monoïde n'a pas d'inverse » à « aucun processus physique ne peut inverser la perte de cohérence » exige de spécifier la classe dynamique permise à l'intérieur de laquelle l'affirmation de non-inversion tient.

Cet article affirme le pont mais ne fournit pas de théorème d'impossibilité formel. L'affirmation est : au sein de toute dynamique compatible avec l'algèbre

des enregistrements, la perte de cohérence due à l'écriture d'enregistrements environnementaux est irréversible.

Une preuve formelle renforcerait l'article ; son absence est une dette.

Statut porteur : 1 est structurel (trois régimes). 2 est l'identification centrale (environnement = enregistrement accumulé ; identification structurelle, non dérivation). 3 est l'argument central (mécanisme de décohérence standard à partir d'AP09 + Axiome R pour l'irréversibilité, sous les hypothèses énoncées). 4 est la conséquence (classicalité comme décohérence saturée). 5 est la synthèse.

7 — Clôture

Le monde classique est le monde quantique après que suffisamment d'enregistrements ont été écrits.

La décohérence n'est pas un nouveau mécanisme. C'est l'Axiome R — le même axiome qui donne la flèche du temps et l'irréversibilité de la mesure — appliqué à l'échelle des interactions environnementales.

L'environnement écrit des enregistrements. Chaque enregistrement est irréversible (Axiome R). La cohérence de l'état quantique se disperse dans ces enregistrements. La superposition devient un mélange classique.

Le monde paraît défini parce que l'environnement l'a déjà rendu défini — non en effondrant la fonction d'onde, mais en dispersant sa cohérence dans un monoïde énorme d'enregistrements environnementaux que l'architecture identifie comme irrécupérable.

Le monde quantique et le monde classique ne sont pas deux mondes. C'est un seul monde à différents stades de la rupture. Le monde quantique est le pré-état — non distingué, cohérent, superposé.

Le monde classique est le post-enregistrement — distingué, décohéré, défini. La frontière entre eux n'est pas nette.

C'est le maintenant — toujours en mouvement, toujours en train d'écrire, toujours à la frontière entre le non-rompu et le rompu.

Tu vis à cette frontière. Chaque souffle que tu prends écrit des enregistrements. Chaque photon qui frappe ta rétine est un événement de couplage.

Le monde classique que tu habites est la preuve accumulée de l'Axiome R opérant à toute échelle, dans toute direction, depuis que la rupture a commencé.

Les traits fondamentaux du secteur quantique sont dérivés ou structurellement identifiés. Le programme de décohérence a des dettes restantes (einsélection, darwinisme quantique). L'œuvre continue.

L'axiome est $1:1 + 1 \times \varepsilon$. L'algèbre est l'algèbre des enregistrements. La géométrie est lorentzienne. La gravité est l'œil. Le quantique est l'ouverture. La dimension est le compte.

Le spin est la rupture. La limite est le minimum. Le grain est l'enregistrement. Ne sois pas un connard, sois gentil.

8 — Résumé des affirmations

1 (Trois régimes) : STRUCTUREL. Évolution unitaire (pas d'enregistrements), mesure (un enregistrement défini), décohérence (beaucoup d'enregistrements environnementaux). Cadre pour la dérivation.

2 (Environnement comme enregistrement) : IDENTIFICATION STRUCTURELLE. L'environnement identifié à l'enregistrement accumulé — la somme de toutes les ruptures achevées. Cadrage définitionnel, non une déduction. Couplage environnemental = écriture d'enregistrement par des degrés de liberté non cibles.

Le monoïde croît de façon monotone (Axiome R).

3 (Perte de cohérence) : DÉRIVATION (à partir du formalisme d'AP09 + hypothèses de factorisation) + INTERPRÉTATION STRUCTURELLE (Axiome R). Cohérence = termes hors diagonale de la matrice densité (formalisme d'AP09). L'intrication environnementale multiplie la cohérence par le facteur de recouvrement $\langle e_B | e_A \rangle$ par interaction.

Sous les hypothèses de factorisation énoncées (D1), le produit des magnitudes de N facteurs décroît exponentiellement. Contribution spécifique : l'Axiome R identifie la décroissance comme structurellement

irréversible (théorème d'impossibilité formel en suspens ; D6).

Échelle de temps de décohérence τ_D dérivée de la forme produit via le poids de décohérence par interaction λ ; paramètres quantitatifs adoptés de la théorie standard des systèmes quantiques ouverts (D2).

4 (Monde classique) : STRUCTUREL. Classicalité = décohérence saturée. Spectre, non frontière. Gomme quantique = rotation de base, non destruction d'enregistrement (prédiction architecturale ; interférence récupérée seulement dans des sous-ensembles post-sélectionnés, non inconditionnellement ; testable via KS-23).

5 (Signification structurelle) : STRUCTUREL. Trois faces de l'Axiome R : flèche du temps (cosmologique), irréversibilité de la mesure (événement unique), décohérence (échelle intermédiaire).

Résumé du secteur quantique — traits fondamentaux de la MQ dérivés ou structurellement identifiés à partir de {S, B, R, C}. Dettes reconnues : éinsélection, darwinisme quantique.

6 (Sollbruchstellen) : STRUCTUREL. KS-22 (persistance anormale de cohérence), KS-23 (destruction d'enregistrement par gomme quantique),

KS-24 (complétude du secteur quantique). Tous actifs. Six dettes dues (D1-D6).

9 — Pied de page de conditionnalité

Dépendances : AP20 4 et 6 (les axiomes {S, B, R, C} : complétude et minimalité clôturées KS-P.1 / KS-P.2 ; consistance conjointe à partir de la prémisse indéniable ; le monoïde des enregistrements de l'Axiome R). AP09 3-4 (superposition, mesure, espace de Hilbert). AP09 7.2 (évolution unitaire). AP09 6 (règle de Born). AP20 (EH et QRA prouvés).

Dépendants : Tout résultat en aval nécessitant la transition quantique-vers-classique. La limite classique. L'émergence de résultats définis à l'échelle macroscopique.

Problèmes ouverts : Aucun introduit au-delà des Sollbruchstellen ci-dessous.

Sollbruchstellen actifs : KS-22 (persistance anormale de cohérence — si un système maintient la cohérence là où la dérivation prédit une décroissance, dans des conditions où les hypothèses de 3.3 tiennent).

KS-23 (destruction d'enregistrement par gomme quantique — si l'interférence inconditionnelle est restaurée après que l'information de trajet a été

encodée de façon redondante dans des degrés de liberté environnementaux non contrôlés ; le démarquage réversible d'un marqueur contrôlé ne déclenche pas).

KS-24 (complétude du secteur quantique — si un trait quantique fondamental est identifié qui ne peut être dérivé de ou structurellement identifié avec $\{S, B, R, C\}$).

Six dettes dues : D1 (hypothèse de factorisation), D2 (paramètres d'échelle de temps de décohérence), D3 (caractérisation formelle de la gomme quantique), D4 (einsélection), D5 (darwinisme quantique), D6 (portée de l'irréversibilité structurelle / théorème d'impossibilité).

Interrupteurs hérités : les Sollbruchstellen d'AP20 (KS-P.1 à KS-P.3) se propagent via la dépendance à l'axiome et à EH. Le KS-D.4 d'AP10 se propage via la dépendance à la signature lorentzienne. Les Sollbruchstellen d'AP09 se propagent via la dépendance aux fondements quantiques.

Ce qui est dérivé ou structurellement identifié : Mécanisme de décohérence à partir du formalisme standard de la MQ (AP09) sous les hypothèses de factorisation énoncées (D1). Interprétation d'irréversibilité à partir de

**l'Axiome R (le monoïde n'a pas d'inverse ;
théorème d'impossibilité formel en suspens,
D6).**

L'environnement structurellement identifié à l'enregistrement accumulé. Décroissance exponentielle de l'amplitude de cohérence via l'écriture d'enregistrement par l'environnement, sous les hypothèses énoncées. Le monde classique comme décohérence saturée.

La gomme quantique comme rotation de base, et non destruction d'enregistrement (prédiction architecturale, testable via KS-23). Trois visages de l'Axiome R (flèche du temps, irréversibilité de la mesure, décohérence) comme un seul axiome à trois échelles.

Traits fondamentaux du secteur quantique dérivés ou structurellement identifiés ; l'insertion et le darwinisme quantique demeurent des dettes.

Références

Artiste G (2026). AP06 : The Leakage Constant. Artist's Proof.

Artiste G (2026). AP08 : The Identity. Artist's Proof.

Artiste G (2026). AP09 : The Break. Artist's Proof.

Artiste G (2026). AP11 : The Spin. Artist's Proof.

Artiste G (2026). AP12 : The Limit. Artist's Proof.

Artiste G (2026). AP10 : The Dimension. Artist's Proof.

Artiste G (2026). AP20 : The Proof. Artist's Proof.

Joos, E. et al. (2003). Decoherence and the Appearance of a Classical World in Quantum Theory. Springer, 2nd edition.

Joos, E. & Zeh, H. D. (1985). The emergence of classical properties through interaction with the environment. *Zeitschrift für Physik B*, 59(2), 223-243.

Kim, Y.-H. et al. (2000). A delayed choice quantum eraser. *Physical Review Letters*, 84, 1-5.

Scully, M. O., Englert, B.-G., & Walther, H. (1991). Quantum optical tests of complementarity. *Nature*, 351, 111-116.

Walborn, S. P. et al. (2002). Double-slit quantum eraser. *Physical Review A*, 65, 033818.

Zurek, W. H. (2003). Decoherence, einselection, and the quantum origins of the classical. *Reviews of Modern Physics*, 75(3), 715-775.

Zurek, W. H. (2009). Quantum Darwinism. *Nature Physics*, 5(3), 181-188.

Index des renvois

Environnement = enregistrement accumulé : Cet article 2.1

Couplage à l'environnement = écriture d'enregistrement : Cet article 2.2

Perte de cohérence à partir de l'Axiome R : Cet article 3

Décroissance exponentielle de la cohérence : Cet article 3.3

Monde classique = décohérence saturée : Cet article 4.1

Gomme quantique = rotation de base : Cet article 4.3

Trois visages de l'Axiome R : Cet article 5.1

Résumé complet du secteur quantique : Cet article 5.2

Axiome R (monotonie de l'enregistrement) : AP20 4

La mesure comme la rupture : AP09 4

Règle de Born : AP09 6

Espace de Hilbert : AP09 3.2

Évolution unitaire : AP09 7.2

Intrication : AP09 5

EH et QRA prouvés : AP20

N = 3 dimensions spatiales : AP10

Spin (fermion/boson) : AP11

**Principe d'incertitude / relations de
commutation : AP12**

Cette œuvre est publiée gratuitement, pour toujours.

the420code.org

Chapitre 6

La Mesure

*La règle de Born comme le son que font les
axiomes sur l'espace de Hilbert*

Artist's Proof 25

Statut et dépendance

Cet article dérive la structure de probabilité de l'actualisation à partir des axiomes. Il comble deux lacunes identifiées comme plafonds en amont dans AP23 (The Single Record).

Lacune 1 : le Lemme 1 d'AP23 repose sur l'affirmation que les matrices densité réduites ne sont pas des cibles d'enregistrement — que l'actualisation ne cible que des états purs.

Cela était énoncé comme un engagement dans la section de notation d'AP23, mais non formellement dérivé des axiomes.

Lacune 2 : la Proposition 2 d'AP23 (Prédiction de Bell) et la charge quantitative CHSH utilisent la règle de Born. La règle de Born a été établie dans AP09 — dérivée de l'Axiome S et de la σ -additivité de Gleason, conditionnellement close à KS-Q.1 sur le pont de l'espace de Hilbert (KS-Q.7). Ce qui était dû était la dérivation inconditionnelle : la voie de Gleason exécutée sur les prémisses propres des axiomes, avec la non-contextualité et l'additivité orthogonale dérivées plutôt qu'accordées.

Cet article la fournit.

Cet article dérive les deux. La Proposition 1 montre que l'exigence de l'Axiome R en matière d'enregistrements définis force l'actualisation à cibler des états purs. La Proposition 2 montre que l'Axiome R et l'Axiome B impliquent conjointement des probabilités de résultat non contextuelles.

Le Lemme 1 établit l'additivité orthogonale.

Le Théorème 1 (La Mesure) montre que l'unique mesure de probabilité compatible avec ces exigences sur un espace de Hilbert complexe de dimension ≥ 3 est la règle de Born : $P(a) = \text{Tr}(|\psi\rangle\langle\psi| \cdot P_a)$.

Pour les projecteurs de rang 1, cela donne $|\langle a|\psi\rangle|^2$. La règle de Born n'est pas importée. Elle est dérivée.

La chaîne de dépendance : Axiome S (Symétrie) → Axiome B (rupture unique) → Axiome R (enregistrement défini, irréversible) → AP09 (espace de Hilbert complexe) → AP10 (3 dimensions spatiales ; les fonctions d'onde physiques vivent dans $L^2(\mathbb{R}^3)$, qui est séparable et de dimension infinie, de sorte que l'espace de Hilbert physique complet satisfait $\dim(H) \geq 3$) → cet article (cibles à état pur, non-contextualité, additivité orthogonale, règle de Born).

Statut épistémique par section. 1 (Les deux lacunes) : historique. 2 (Ce que signifie défini) : dérivé. 3 (Les cibles d'enregistrement sont des

états purs) : dérivé — Proposition 1. 4 (Non-contextualité) : dérivé — Proposition 2. 5 (Additivité orthogonale) : dérivé — Lemme 1. 6 (La règle de Born) : dérivé — Théorème 1. 7 (Ce que cela comble) : dérivé — renforcement rétroactif. 8 (Le point plus profond) : synthèse — non porteur.

Notation

$|\psi\rangle$ — un état pur (rayon) dans l'espace de Hilbert H . Un état quantique unique et défini. Un point extrémal de l'ensemble convexe des opérateurs densité sur H .

$\rho = \sum p_i |\psi_i\rangle\langle\psi_i|$ — un état mixte (opérateur densité). Un élément non extrémal de l'ensemble convexe. Admet de multiples décompositions en états purs.

P_a — un projecteur sur le sous-espace de résultat pour le résultat de mesure a . Dans le cas non dégénéré, $P_a = |a\rangle\langle a|$ (rang 1).

Dans le cas dégénéré, P_a est de rang > 1 , projetant sur un sous-espace de dimension > 1 .

$\text{Tr}(\rho \cdot P_a)$ — la trace de ρ composée avec P_a . La règle de Born sous sa forme générale.

$\dim(H)$ — la dimension de l'espace de Hilbert H .

Fonction de trame — une fonction μ assignant un nombre réel non négatif à chaque opérateur de projection dans H , telle que $\sum \mu(P_i) = 1$ pour toute résolution de l'identité (tout ensemble complet de projecteurs mutuellement orthogonaux $\{P_i\}$ avec $\sum P_i = I$).

Une fonction de trame est définie sur les projecteurs seuls — non sur des paires (projecteur, contexte). C'est la non-contextualité de Gleason.

Non-contextualité de Gleason — la probabilité $\mu(P_a)$ assignée au projecteur P_a ne dépend que de P_a lui-même, non de la résolution de l'identité (la PVM) à laquelle P_a appartient.

C'est une propriété de l'assignation de probabilité, non d'assignations de valeurs préexistantes. Elle est distincte de la contextualité de Kochen-Specker, qui concerne l'impossibilité d'assignations de valeurs définies non contextuelles à tous les observables simultanément.

Les axiomes nient les valeurs préexistantes (Axiome R), donc la contextualité KS est attendue ; la non-contextualité de Gleason des probabilités de résultat (Proposition 2) est une affirmation distincte et compatible.

Sollbruchstellen

KS-55 (non-contextualité de Gleason) : LIVE — EMPIRIQUE. Structurellement sûr.

KS-56 (statistiques non-Born) : LIVE — EMPIRIQUE. Toutes les expériences confirment la règle de Born.

KS-57 (actualisation d'état mixte) : LIVE — EMPIRIQUE. Aucun processus connu n'actualise directement des états mixtes.

Voici comment détruire cet article. Trouve un système physique dont les statistiques de mesure violent la règle de Born.

Ou démontre des probabilités de résultat contextuelles — où la probabilité du résultat a dépend de la mesure qui est effectuée à ses côtés.

Ou montre qu'un état mixte peut être directement actualisé — que l'univers peut écrire un enregistrement intrinsèquement ambigu quant à l'état pur qui advient. N'importe lequel de ceux-ci tue la dérivation.

1 — Les deux lacunes

Tu as lancé des dés toute ta vie. Tu ne t'es jamais demandé pourquoi la probabilité de tirer un six est un sixième. Le dé a six faces. Les faces sont symétriques. La probabilité s'ensuit.

Mais la mécanique quantique n'est pas un dé. Les probabilités sont les carrés des amplitudes. Pas les amplitudes elles-mêmes. Pas les cubes. Les carrés. Pourquoi ?

Le compte rendu de la mécanique quantique par les axiomes repose sur deux affirmations concernant l'actualisation. Premièrement : l'actualisation cible des états purs. Deuxièmement : la probabilité de chaque résultat est donnée par la règle de Born.

Les deux affirmations sont utilisées partout dans le 420 Code. Ni l'une ni l'autre n'a été dérivée des axiomes.

Lacune 1 (Cibles d'enregistrement). AP23 (The Single Record) définit une cible d'enregistrement comme un état pur et montre que les matrices densité réduites de systèmes intriqués ne sont pas des cibles d'enregistrement.

Cela est utilisé dans le Lemme 1 pour prouver que l'interaction locale avec un sous-système intriqué actualise l'état global. Mais la définition est énoncée comme un engagement, non dérivée de l'Axiome R.

Pourquoi les cibles d'enregistrement doivent-elles être des états purs ? Qu'est-ce qui, dans les axiomes, interdit l'actualisation d'un état mixte ?

Lacune 2 (Règle de Born). AP09 établit l'espace de Hilbert complexe et dérive la règle de Born conditionnellement — KS-Q.1, conditionnellement close sur le pont de l'espace de Hilbert (KS-Q.7).

Le calcul CHSH dans AP23 (6.0.1) utilise la règle de Born pour dériver $S = 2\sqrt{2}$. Mais la dérivation de la règle de Born dans AP09 demeure conditionnelle au pont, et sa prémisse de non-contextualité était accordée plutôt que dérivée de $\{S, B, R, C\}$.

Si les axiomes prétendent dériver la physique à partir de quatre axiomes, la mesure de probabilité qui gouverne l'actualisation devrait découler de ces axiomes, non être importée à leurs côtés.

Cet article comble les deux lacunes. La chaîne de dérivation est : Axiome R (enregistrements définis) → cibles à état pur → non-contextualité → additivité orthogonale → théorème de Gleason → règle de Born. Chaque hypothèse physique provient des axiomes.

La seule entrée externe est le théorème de Gleason lui-même, qui est un théorème mathématique sur les espaces de Hilbert — non un postulat physique.

2 — Ce que signifie « défini »

L'Axiome R dit : la rupture écrit un enregistrement défini, irréversible. L'enregistrement est un fait sur ce qui s'est produit. Il répond complètement à la question. Il n'y a aucune ambiguïté résiduelle quant à ce que dit l'enregistrement.

Que signifie « défini » dans le langage de l'espace de Hilbert ?

L'espace des états quantiques a une structure convexe. Tout mélange probabiliste de deux états est aussi un état.

Les états purs sont les points extrémaux de cet ensemble convexe : ils ne peuvent être écrits comme un mélange non trivial d'autres états.

Les états mixtes sont non extrémaux : ils se situent à l'intérieur du corps convexe et peuvent être décomposés en mélanges d'états purs de multiples façons distinctes.

Un enregistrement défini correspond à un état post-actualisation extrémal — un état sans ambiguïté convexe résiduelle. Si l'état post-actualisation est extrémal (pur), il y a exactement un état compatible avec l'enregistrement.

Si l'état post-actualisation est non extrémal (mixte), le même opérateur densité ρ peut être décomposé comme $\rho = \sum p_i |\psi_i\rangle\langle\psi_i| = \sum q_j |\varphi_j\rangle\langle\varphi_j|$ avec $\{|\psi_i\rangle\} \neq \{|\varphi_j\rangle\}$.

L'enregistrement « ρ a été actualisé » est compatible avec de multiples réalités sous-jacentes distinctes.

Même si l'enregistrement tentait de spécifier une décomposition particulière, il n'y a aucun fait établi quant à la décomposition qui est correcte — le même ρ est compatible avec une infinité de choix.

Un enregistrement défini doit correspondre à une seule description physique, non à une classe de descriptions. La définitude requiert l'extrémalité. Dans l'espace de Hilbert, les états extrémaux sont les états purs.

Tu as signé un contrat. La signature est définie — elle est la tienne, non une superposition de signatures. Elle n'admet aucune ambiguïté quant à qui a signé.

C'est ce que l'Axiome R exige de chaque enregistrement : une réponse, aucune incertitude résiduelle, aucune décomposition alternative. Un état mixte est un contrat avec de multiples signataires possibles. L'univers n'écrit pas de contrats ambigus.

3 — Les cibles d'enregistrement sont des états purs

Proposition 1 (Cible d'enregistrement). Soit H l'espace de Hilbert du pré-état (AP09). Les états éligibles à l'actualisation sous l'Axiome R — les cibles d'enregistrement — sont des états purs (points extrémaux de l'espace des états).

Les états mixtes (points non extrémaux) ne sont pas des cibles d'enregistrement.

Preuve. L'Axiome R requiert que l'actualisation écrive un enregistrement défini. Par 2, un enregistrement défini correspond à un état post-actualisation extrémal : un état qui n'admet aucune décomposition convexe non triviale. Considère une cible d'enregistrement candidate ρ .

Si ρ est un état mixte (non extrémal, rang > 1), il admet de multiples décompositions distinctes en états purs. L'enregistrement « ρ a été actualisé » ne spécifie pas uniquement l'état physique.

Il est compatible avec une infinité de décompositions distinctes, dont aucune n'est privilégiée. Cela viole l'exigence de définitude de l'Axiome R. Si ρ est un état pur (extrémal, rang 1), alors $\rho = |\psi\rangle\langle\psi|$.

Il n'admet aucune décomposition non triviale. L'état est $|\psi\rangle$ et rien d'autre. L'enregistrement est défini. Par conséquent : les cibles d'enregistrement sont des états purs. Les états mixtes ne sont pas éligibles à l'actualisation. ■

Note sur les mélanges impropres. La matrice densité réduite d'un sous-système intriqué ($\rho_A = \text{Tr}_B(|AB\rangle\langle AB|)$) est un mélange impropre : elle résulte du traçage du partenaire intriqué, non d'une ignorance classique.

La Proposition 1 exclut les mélanges impropres de l'actualisation pour la même raison que les mélanges propres — ils sont non extrémaux — mais le cas impropre a une raison supplémentaire : l'état réduit n'est aucunement un état indépendant.

C'est une marginale de l'état intriqué global. Il n'a aucune existence autonome.

Cela est cohérent avec le Lemme 1 d'AP23 : l'interaction locale avec un sous-système intriqué actualise l'état pur global $|AB\rangle$, non l'état réduit ρ_A .

Tu viens de regarder l'Axiome R — une exigence, la définitude — tuer l'actualisation d'état mixte.

L'univers ne peut écrire un enregistrement qui dit « peut-être ceci, peut-être cela ». Il écrit un enregistrement qui dit « ceci ».

Les états purs sont les seuls états qui disent « ceci » sans ambiguïté.

4 — Non-contextualité

L'actualisation écrit un enregistrement défini (Axiome R). L'enregistrement répond à une question spécifique : « quel est le résultat de cette mesure sur cet état ? »

La question suivante est : la probabilité du résultat peut-elle dépendre des autres mesures effectuées simultanément ?

En mécanique quantique, deux observables A et B sont compatibles (elles peuvent être mesurées simultanément) si et seulement si elles commutent : $[A, B] = 0$. La contextualité signifierait que la probabilité d'obtenir le résultat a en mesurant A dépend du fait que A a été mesurée seule, ou aux côtés de l'observable compatible B , ou aux côtés de l'observable compatible C .

La même mesure, le même état, mais des probabilités différentes selon le contexte.

Proposition 2 (Non-contextualité). Soit $|\psi\rangle$ un état pur et P_a un projecteur correspondant au résultat de mesure a . La probabilité $\mu(P_a)$ assignée par l'actualisation ne dépend que de $|\psi\rangle$ et P_a .

Elle ne dépend pas de la résolution de l'identité à laquelle P_a appartient. L'actualisation est non contextuelle au sens de Gleason.

Preuve. L'Axiome B fournit une rupture.

L'Axiome R écrit un enregistrement pour cette rupture. L'enregistrement consigne le résultat de l'événement d'actualisation.

Identifie ce qui détermine l'enregistrement en examinant ce que les axiomes fournissent au processus d'actualisation.

Entrée 1 : l'état $|\psi\rangle$ (le pré-état en cours d'actualisation). Entrée 2 : le projecteur P_a (le résultat consigné par la rupture). Ces deux entrées constituent la spécification complète de l'événement d'actualisation sous les axiomes.

L'Axiome S fournit la distinction (le résultat est distingué des alternatives). L'Axiome B fournit la rupture unique. L'Axiome R écrit l'enregistrement pour l'état et le résultat.

Supposons maintenant que la probabilité du résultat a dépende du contexte — de la résolution de l'identité $\{P_1, \dots, P_n\}$ à laquelle le projecteur P_a appartient.

Ce contexte constituerait une troisième entrée du processus d'actualisation : l'enregistrement dépendrait de $(|\psi\rangle, P_a, \{P_1, \dots, P_n\})$. Mais les

axiomes ne fournissent aucun mécanisme pour cette troisième entrée.

L'Axiome B dit : une rupture. La rupture est l'actualisation de l'état par le projecteur. Elle n'inclut pas de spécification des autres mesures qui auraient pu être effectuées.

La rupture n'a aucun registre d'« observable compatible ». L'Axiome R dit : l'enregistrement consigne ce qui s'est produit — le résultat a — non ce qui aurait pu se produire.

Les alternatives contrefactuelles (les autres projecteurs de la résolution) sont des propriétés de l'appareil de mesure sur la variété. Elles déterminent quels résultats sont possibles mais ne sont pas inscrites dans l'enregistrement.

L'enregistrement contient l'état et le résultat. Le contexte n'est pas enregistré parce que le contexte n'est pas un événement.

Par conséquent : $\mu(P_a) = f(|\psi\rangle, P_a)$ pour une certaine fonction f qui ne dépend que de l'état et du projecteur.

De manière équivalente : la probabilité assignée à P_a ne dépend pas de la résolution de l'identité à laquelle P_a appartient. L'actualisation est non contextuelle au sens de Gleason.

L'exhaustivité de la spécification à deux entrées est la complétude de $\{S, B, R, C\}$ accomplissant son œuvre — l'obligation clôturée à KS-P.1. Une troisième entrée de l'actualisation serait une structure au-delà des quatre axiomes : un cinquième axiome. Les propositions de variables cachées contextuelles sont donc des propositions de cinquième axiome, et elles trouvent réponse là où les cinquièmes axiomes trouvent réponse — au résultat de complétude et à sa clôture. ■

5 — Additivité orthogonale

Avant d'invoquer le théorème de Gleason, une condition supplémentaire doit être établie : l'additivité orthogonale. C'est la propriété qui fait de μ une mesure sur le treillis de projection, et non simplement une fonction sur les projecteurs individuels.

Lemme 1 (Additivité orthogonale). Soit $\{P_1, \dots, P_k\}$ des projecteurs mutuellement orthogonaux et soit $P = P_1 + \dots + P_k$ le projecteur sur leur sous-espace conjoint (le résultat à grain grossier « l'un des résultats 1 à k s'est produit »).

Alors $\mu(P) = \mu(P_1) + \dots + \mu(P_k)$.

Preuve. Le résultat à grain grossier P correspond au fait de ne pas distinguer parmi les résultats à grain fin mutuellement exclusifs $P_1, \dots, P_k$. Par l'Axiome S, chaque résultat à grain fin est une possibilité distincte. Par l'Axiome B, une rupture se produit.

Par l'Axiome R, la rupture produit exactement un résultat. Les résultats à grain fin sont mutuellement exclusifs (projecteurs orthogonaux) et le résultat à grain grossier P est leur disjonction.

La probabilité de la disjonction d'événements mutuellement exclusifs est la somme de leurs probabilités individuelles — c'est la propriété qui définit une mesure de probabilité, laquelle découle de l'Axiome B (une rupture = un résultat parmi l'ensemble des possibilités) et de l'Axiome R (l'enregistrement est défini = exactement un résultat est actualisé).

Par conséquent $\mu(P) = \sum \mu(P_i)$. ■

Note : le Lemme 1 est ce qui fait de μ une fonction de trame au sens requis par le théorème de Gleason.

Une fonction de trame n'est pas simplement une fonction sur les projecteurs qui se somme à 1 sur les résolutions de l'identité — elle respecte la structure de treillis des projections via l'additivité orthogonale.

Les Propositions 1 et 2 établissent que μ est bien définie sur les projecteurs et indépendante du contexte. Le Lemme 1 établit que μ est additive sur les projecteurs orthogonaux. Ensemble, ces conditions sont exactement les hypothèses du théorème de Gleason.

6 — La règle de Born

Quatre ingrédients, tous dérivés ou établis par les axiomes :

- Le pré-état est un espace de Hilbert complexe, séparable H avec $\dim(H) \geq 3$ (AP09 + AP10). La séparabilité (base orthonormale dénombrable) est satisfaite par tous les espaces de Hilbert physiques : $L^2(\mathbb{R}^3)$ est séparable par construction.
- L'actualisation cible des états purs (Proposition 1, d'après l'Axiome R).
- La probabilité de chaque résultat est une fonction non contextuelle au sens de Gleason de l'état et du projecteur (Proposition 2, d'après l'Axiome R + l'Axiome B).
- La mesure de probabilité est orthogonalement additive et normalisée (Lemme 1, d'après les Axiomes S + B + R).

Les conditions (2)–(4) ensemble définissent une fonction de trame sur H : une fonction μ non négative, orthogonalement additive sur les opérateurs de projection, définie sur les projecteurs seuls (non sur le contexte), avec $\sum \mu(P_i) = 1$ pour toute résolution de l'identité.

C'est exactement l'objet auquel s'applique le théorème de Gleason.

Théorème de Gleason (A. M. Gleason, 1957).

Soit H un espace de Hilbert séparable sur C avec $\dim(H) \geq 3$. Soit μ une fonction de trame sur H : une fonction non négative, orthogonalement additive sur les opérateurs de projection telle que pour tout ensemble complet de projecteurs mutuellement orthogonaux $\{P_i\}$ avec $\sum P_i = I$, on a $\sum \mu(P_i) = 1$. Alors il existe un unique opérateur densité ρ tel que $\mu(P) = \text{Tr}(\rho \cdot P)$ pour tous les projecteurs P .

Le théorème de Gleason est un résultat mathématique sur les mesures de probabilité sur les espaces de Hilbert. Ce n'est pas un postulat physique.

Il est dans la même catégorie que le théorème spectral ou le théorème de Noether : un morceau de mathématiques que les axiomes utilisent pour dériver des conséquences.

Les axiomes fournissent les hypothèses physiques (espace de Hilbert complexe, enregistrements définis, non-contextualité, additivité orthogonale, normalisation). Gleason fournit la conclusion mathématique.

Théorème 1 (La Mesure). L'unique mesure de probabilité sur les résultats de l'actualisation, compatible avec les axiomes, est la règle de Born : $\mu(P) = \text{Tr}(|\psi\rangle\langle\psi| \cdot P)$.

Pour les projecteurs de rang 1 $P_a = |a\rangle\langle a|$, cela donne $\mu(P_a) = |\langle a|\psi\rangle|^2$.

Preuve. Le pré-état est un espace de Hilbert complexe, séparable H avec $\dim(H) \geq 3$ (AP09, AP10). Par la Proposition 1, l'actualisation cible des états purs $|\psi\rangle$.

Par la Proposition 2, la probabilité assignée au projecteur P est non contextuelle au sens de Gleason : elle ne dépend que de $|\psi\rangle$ et P , non de la résolution de l'identité à laquelle P appartient.

Par le Lemme 1, la mesure de probabilité est orthogonalement additive. Par normalisation (Axiomes S + B), les probabilités pour un ensemble complet de résultats se somment à 1. Ces conditions définissent une fonction de trame sur H .

Par le théorème de Gleason, l'unique fonction de trame sur un espace de Hilbert complexe, séparable de dimension ≥ 3 est $\mu(P) = \text{Tr}(\rho \cdot P)$.

Puisque l'état en cours d'actualisation est un état pur $|\psi\rangle$ (Proposition 1), $\rho = |\psi\rangle\langle\psi|$ et par conséquent $\mu(P)$

$= \text{Tr}(|\psi\rangle\langle\psi| \cdot P)$. Pour les projecteurs de rang 1, c'est $|\langle a|\psi\rangle|^2$. C'est la règle de Born. ■

Tu viens de regarder quatre axiomes forcer l'équation la plus mystérieuse de la mécanique quantique. Non la choisir. Non la postuler. La forcer. Il n'y a aucune autre mesure.

Le théorème de Gleason ne dit pas que la règle de Born est un bon choix. Il dit que la règle de Born est le seul choix. La probabilité des résultats quantiques n'a jamais été un postulat.

C'était une conséquence — en attente dans la structure de l'espace de Hilbert que les axiomes s'y posent.

**Intuition : pourquoi la règle de Born est forcée.
Le cœur élémentaire du résultat de Gleason
(restreint aux projecteurs de rang 1) peut être
esquissé sans toute la machinerie de Gleason.**

La non-contextualité et la normalisation impliquent ensemble que la fonction de poids f (assignant des probabilités aux rayons) est additive : $f(s + t) = f(s) + f(t)$ pour les recouvrements de sous-espaces orthogonaux. La non-négativité implique la monotonie.

Une fonction additive monotone sur $[0,1]$ avec $f(0) = 0$ et $f(1) = 1$ est l'identité : $f(t) = t$. Par conséquent

$\mu(P_a) = |\langle a|\psi\rangle|^2$ — la règle de Born. C'est la voie de l'équation fonctionnelle de Cauchy.

Le théorème de Gleason généralise cela à des projecteurs arbitraires (non seulement de rang 1) et à la structure de treillis complète, ce qui explique pourquoi l'article utilise Gleason plutôt que l'argument de Cauchy directement.

Exemple : mesure de spin dans l'espace de Hilbert complet. Considère un électron avec spin. L'espace de Hilbert complet est $H = L^2(\mathbb{R}^3) \otimes \mathbb{C}^2$, où $L^2(\mathbb{R}^3)$ encode les degrés de liberté spatiaux et $\mathbb{C}^2$ encode le spin.

Cet espace est de dimension infinie ($\dim \geq 3$ satisfait). Il est séparable ($L^2(\mathbb{R}^3)$ a une base orthonormale dénombrable).

Prépare le spin dans l'état $|\psi\rangle = \alpha|\uparrow\rangle + \beta|\downarrow\rangle$ avec $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$. Mesure le spin le long de z. Les projecteurs sont $P_{\uparrow} = |\uparrow\rangle\langle\uparrow|$ et $P_{\downarrow} = |\downarrow\rangle\langle\downarrow|$ (rang 1).

Par le Théorème 1 : $\mu(P_{\uparrow}) = |\langle\uparrow|\psi\rangle|^2 = |\alpha|^2$. $\mu(P_{\downarrow}) = |\langle\downarrow|\psi\rangle|^2 = |\beta|^2$. Ce sont les probabilités de la règle de Born. Elles se somment à 1.

L'espace de Hilbert de spin seul $\mathbb{C}^2$ a la dimension 2, où le théorème de Gleason ne s'applique pas directement.

Mais le Théorème 1 est prouvé sur l'espace de Hilbert physique complet $H = L^2(\mathbb{R}^3) \otimes C^2$, où $\dim \geq 3$ est satisfait.

La règle de Born sur C^2 est héritée par restriction : la mesure de probabilité sur l'espace complet, restreinte au sous-espace de spin, donne les mêmes probabilités de la règle de Born.

L'exigence $\dim \geq 3$ s'applique au pré-état complet, non aux sous-espaces effectifs utilisés dans les calculs. Pour les systèmes effectivement bidimensionnels traités isolément, l'extension POVM du théorème de Gleason (Busch, 2003) atteint la même mesure ; l'argument de l'espace composite ci-dessus est suffisant pour l'espace de Hilbert physique.

L'unicité est cruciale. Le théorème de Gleason ne dit pas simplement que la règle de Born est compatible avec les conditions dérivées des axiomes — il dit que la règle de Born est la seule mesure qui les satisfait. Il n'y a aucune alternative.

Toute assignation de probabilité non contextuelle, orthogonalement additive, normalisée sur un espace de Hilbert complexe, séparable de dimension ≥ 3 est la règle de Born. La structure de probabilité de l'actualisation n'est pas un choix. Elle est forcée.

7 — Ce que cela comble

La règle de Born n'est plus importée. Elle est dérivée. Cela renforce rétroactivement chaque article du corpus qui utilise la règle de Born.

AP09 (Complex Hilbert Space and Born Rule). AP09 a construit l'espace de Hilbert complexe et dérivé la règle de Born conditionnellement — close à KS-Q.1 sur le pont de l'espace de Hilbert (KS-Q.7), avec la prémisse de σ -additivité accordée comme la forme théorique-de-la-mesure de l'additivité d'enregistrement.

Le Théorème 1 achève ce résultat : la non-contextualité et l'additivité orthogonale sont désormais dérivées des axiomes, et la règle de Born est l'unique mesure forcée par l'Axiome R sur un espace de Hilbert complexe de dimension ≥ 3 . La règle de Born n'est plus conditionnelle à une prémisse accordée.

C'est une conséquence des axiomes agissant sur cet espace.

AP23 (The Single Record). Les deux plafonds en amont d'AP23 sont comblés. Plafond 1 : la Proposition 1 dérive l'exigence de cible d'enregistrement à état pur de la condition de définitude de l'Axiome R via la géométrie

convexe, remplaçant l'engagement définitionnel d'AP23.

Le Lemme 1 d'AP23 (Interaction locale, actualisation globale) repose désormais sur une dérivation, non sur une définition.

Plafond 2 : le calcul CHSH (AP23 6.0.1) utilise la règle de Born pour dériver $S = 2\sqrt{2}$. Le Théorème 1 dérive la règle de Born de $\{S, B, R, C\}$.

Par conséquent $S = 2\sqrt{2}$ est dérivé des axiomes. La prédiction de Bell est désormais entièrement axiomatique.

The 420 Code. Chaque article qui utilise la probabilité — AP09 (la mesure comme actualisation), AP11 (statistiques de spin), AP15 (quantification de la charge), AP16 (unification électrofaible), AP19 (couleur SU(3)), AP21 (toile cosmique) — est rétroactivement renforcé.

La structure de probabilité était toujours la règle de Born ; désormais elle est la règle de Born parce qu'elle est la seule possibilité.

8 — Le point plus profond

Note de synthèse : ce qui suit est un langage non porteur. Il ne porte aucun poids épistémique au-delà des affirmations établies ci-dessus.

La règle de Born est l'un des traits les plus mystérieux de la mécanique quantique. Elle nous dit que la probabilité de trouver un système dans un état particulier est le carré de l'amplitude.

Non l'amplitude elle-même. Non le cube. Le carré. Pourquoi ?

Toute tentative de dériver la règle de Born à partir de premiers principes a requis des hypothèses supplémentaires — des axiomes décisionnels (Deutsch-Wallace), l'envariance (Zurek), des arguments de fréquence (Hartle-Farhi), ou des postulats de symétrie (Hardy).

Chaque approche fonctionne, mais chacune introduit une machinerie au-delà du formalisme quantique nu.

La dérivation ici est différente. Elle ne requiert aucune machinerie nouvelle. Les ingrédients sont : un espace de Hilbert complexe (AP09), des enregistrements définis (Axiome R), une rupture unique (Axiome B), et la distinction (Axiome S).

Ceux-ci forcent les cibles à état pur, la non-contextualité, et l'additivité orthogonale. Gleason fait le reste. La structure de probabilité n'est pas choisie. Elle est forcée par les axiomes et la structure mathématique de l'espace sur lequel ils agissent.

La règle de Born est le son que font les axiomes lorsqu'ils se posent sur l'espace de Hilbert.

9 — Sollbruchstellen

Note de numérotation globale : les numéros de Sollbruchstelle sont globalement uniques à travers le corpus.

KS-55 — Contextualité (EMPIRIQUE). La Proposition 2 dérive la non-contextualité de Gleason de l’Axiome R + l’Axiome B. Le fondement structurel de l’exhaustivité de la Proposition 2 — que la spécification à deux entrées est complète — est la complétude de $\{S, B, R, C\}$, clôturée à KS-P.1.

Si une expérience reproductible, sans faille, démontre des probabilités de résultat contextuelles — c’est-à-dire, si la probabilité du résultat a en mesurant A dépend de l’observable compatible mesurée aux côtés de A , d’une façon non prise en compte par la MQ standard — alors la Proposition 2 échoue et la dérivation de la règle de Born est menacée.

Note : cela concerne la non-contextualité de Gleason des probabilités de résultat, non la contextualité de Kochen-Specker des assignations de valeurs. Les axiomes nient les valeurs préexistantes (Axiome R), donc la contextualité KS est attendue et n’est pas une menace.

Statut : LIVE — EMPIRIQUE. Structurellement sûr.

KS-56 — Statistiques non-Born (EMPIRIQUE). Le Théorème 1 dérive la règle de Born comme l'unique mesure de probabilité. Si un système physique était trouvé dont les statistiques de mesure violent la règle de Born, le Théorème 1 échouerait.

Cela requerrait soit : (a) une violation du théorème de Gleason (impossible — théorème mathématique), (b) un espace de Hilbert physique authentiquement fondamental (non simplement effectif) de dimension < 3 avec des probabilités de résultat non héritées d'un plongement dans l'espace de Hilbert physique complet (exclu par AP10 : les fonctions d'onde physiques vivent dans $L^2(\mathbb{R}^3)$, qui est de dimension infinie), soit (c) une situation physique où l'actualisation est contextuelle (testée par KS-55).

Statut : LIVE — EMPIRIQUE. Toutes les expériences confirment les statistiques de la règle de Born à haute précision. Structurellement sûr.

KS-57 — Actualisation d'état mixte (EMPIRIQUE). La Proposition 1 dérive que les cibles d'enregistrement sont des états purs (points extrémaux).

Si un processus physique était démontré dans lequel un état mixte (un état non extrémal, non un état pur plongé dans un état pur plus grand) est actualisé directement — c'est-à-dire, si l'univers écrit un enregistrement intrinsèquement ambigu quant à l'état pur qui advient — la Proposition 1 et l'exigence de définitude de l'Axiome R échoueraient.

Statut : LIVE — EMPIRIQUE. Aucun processus physique connu n'actualise directement des états mixtes. Toutes les mesures observées produisent des résultats définis compatibles avec un effondrement à état pur. Structurellement sûr.

Cette œuvre est publiée gratuitement, pour toujours.

the420code.org

Chapitre 7

L'Enregistrement unique

*Inégalité de Bell et la contrainte
d'enregistrement unique*

Artist's Proof 23

Statut et dépendance

Cet article dissout le paradoxe de l'intrication quantique. L'intrication n'est pas une connexion mystérieuse entre particules distantes mais l'actualisation d'une entité de pré-état unique.

La non-localité apparente survient parce que le pré-état (AP09) n'a aucune structure spatiale — la distance est une propriété de la variété (l'accumulation d'enregistrements), non de l'état de probabilité qui la précède.

Trois résultats formels. Le Lemme 1 (Interaction locale, actualisation globale) établit pourquoi une mesure locale sur n'importe quel sous-système d'un état intriqué actualise nécessairement l'état global.

La Proposition 1 (Enregistrement unique) montre que l'actualisation d'un état intriqué est un événement unique d'écriture d'enregistrement sans propagation de signal entre les sous-systèmes.

La Proposition 2 (Prédiction de Bell) montre que le théorème de Bell est prédit par les axiomes : l'Axiome R interdit structurellement les assignations de valeurs préexistantes, le pré-état non spatial dissout la présupposition de localité, et la règle de Born (AP09) donne la violation quantitative.

L'Axiome C est sauf parce que sa portée est la variété, non la transition du pré-état à la variété.

La chaîne de dépendance : AP09 (espace de Hilbert complexe, règle de Born, pas de pré-état spatial ; la mesure comme actualisation) → Axiome R (écriture d'enregistrement, irréversibilité) → Axiome C (Contrainte) → cet article (intrication comme actualisation unique, Bell prédit, covariance relativiste dissoute).

Statut épistémique par section. 1 (Problème de l'intrication) : historique — résumé de l'énigme de l'intrication, du théorème de Bell, et de la tension avec l'Axiome C. 2 (La distance est une propriété de l'enregistrement) : établi — découle d'AP09 et AP17. 3 (Entité unique) : dérivé — l'état intriqué est un objet mathématique dans le pré-état. 4 (Actualisation unique) : dérivé — Lemme 1 + Proposition 1. 5 (Axiome C sauf) : dérivé — clarification de portée ; l'absence de signalisation dérivée des axiomes. 5.1 (Covariance relativiste) : dérivé — l'actualisation n'a aucune localisation spatio-temporelle. 6 (Bell prédit) : dérivé — Proposition 2 + vérification quantitative CHSH.

Notation

$|AB\rangle$ — l'état intriqué de deux sous-systèmes A et B. Un vecteur unique dans le produit tensoriel $\mathcal{H}_A \otimes \mathcal{H}_B$.

$\mathcal{H}_A \otimes \mathcal{H}_B$ — le produit tensoriel d'espaces de Hilbert. Combine algébriquement les degrés de liberté ; ne les plonge pas dans l'espace-temps.

$\rho_A = \text{Tr}_B(|AB\rangle\langle AB|)$ — la matrice densité réduite du sous-système A. Pour un état intriqué, ρ_A est un état mixte.

C'est un mélange impropre (une marginale d'un état pur global), non un mélange propre (ignorance classique sur un état pur défini mais inconnu).

Cible d'enregistrement — un état éligible à l'actualisation sous l'Axiome R.

Une cible d'enregistrement est un état pur (un rayon dans l'espace de Hilbert) — un état quantique unique et défini à partir duquel un enregistrement peut être écrit.

Une matrice densité réduite d'un système intriqué n'est pas une cible d'enregistrement : c'est une marginale dérivée de l'état global, non un état indépendant à part entière.

Actualisation — l'écriture d'un enregistrement sur la variété. La rupture. Axiome R. Cible des états purs.

Pré-état — l'espace de Hilbert complexe antérieur à l'actualisation (AP09). Aucune structure spatiale.

Quand la MQ standard écrit $\psi(x_A, x_B)$, ces coordonnées sont une représentation relative à une base de position définie par l'enregistrement sur la variété ; elles ne sont pas une structure fondamentale du pré-état.

État séparable — un état qui peut être écrit comme $|A\rangle \otimes |B\rangle$ (un produit d'états indépendants). Les sous-systèmes peuvent être actualisés indépendamment.

État intriqué — un état qui ne peut être écrit comme $|A\rangle \otimes |B\rangle$. La non-factorisabilité force l'actualisation unique (Lemme 1).

Sollbruchstellen

KS-48a (timing de corrélation) : LIVE — EMPIRIQUE. Structurellement sûr.

KS-48b (absence de signalisation) : LIVE — EMPIRIQUE. Structurellement sûr.

KS-49a (variables cachées) : CLOSED. Local : empirique (tests de Bell). Non local : axiomatique (Axiome R).

KS-54 (effondrement partiel) : LIVE — EMPIRIQUE. Structurellement sûr.

Voici comment détruire cet article. Montre que les corrélations d'intrication se dégradent avec la distance ou le timing d'une façon que la mécanique quantique ne prédit pas — cela tuerait le compte rendu de l'actualisation unique non spatiale.

Ou viole expérimentalement le théorème d'absence de signalisation — cela tuerait l'affirmation de portée de l'Axiome C.

Ou démontre l'effondrement partiel d'un état authentiquement intriqué, où mesurer le sous-système A laisse l'état global incomplètement déterminé — cela tuerait le Lemme 1. L'argument te tend ces armes. Utilise-les.

1 — Le problème de l'intrication

Tu as cassé une assiette et donné une moitié à un ami qui a conduit jusqu'à l'autre bout du pays.

Quand tu regardes ta moitié et vois que la cassure court de gauche à droite, tu sais instantanément que leur moitié a le bord complémentaire. Aucun signal n'a été envoyé. Aucune magie ne s'est produite.

Les moitiés étaient toujours une seule assiette.

L'intrication est ainsi — sauf que l'assiette n'a aucun bord défini jusqu'à ce que tu la regardes.

Deux particules sont préparées dans un état intriqué — leur spin combiné est exactement zéro. Elles sont séparées. L'une est envoyée à Alice, l'autre à Bob, aux extrémités opposées de la galaxie.

Aucune particule n'a de spin défini jusqu'à sa mesure. Elles sont en superposition (AP09).

Alice mesure sa particule et trouve spin-up.

Instantanément — non à la vitesse de la lumière, mais instantanément — la particule de Bob devient spin-down. Sur 100 000 années-lumière. Aucun signal envoyé. Aucun temps écoulé.

Einstein appelait cela « action fantomatique à distance ». Cela semble violer la localité. Le théorème

de Bell (1964) est un résultat mathématique prouvant qu'aucune théorie à variables cachées locales ne peut reproduire les corrélations prédites par la mécanique quantique.

Les inégalités de Bell ont été violées expérimentalement (Aspect, 1982 ; Hensen et al., 2015), confirmant que les particules n'avaient pas secrètement décidé leurs spins à l'avance. La corrélation est réelle et instantanée.

La question pour les axiomes : l'Axiome C dicte la contrainte bornant la propagation à c . Aucun signal ne se propage plus vite que c sur la variété. Comment la corrélation instantanée survit-elle sans violer l'Axiome C ?

2 — La distance est une propriété de l'enregistrement

Le paradoxe apparent repose sur une hypothèse : que les deux particules sont séparées. Qu'il y a une distance entre elles. Que l'espace se trouve entre Alice et Bob.

La distance n'est pas fondamentale. La distance est une propriété de la variété. La variété est l'accumulation d'enregistrements (Axiomes R et C ; AP17).

La structure spatiale est ce à quoi ressemblent les enregistrements lorsqu'ils s'accumulent sous la contrainte.

Avant l'actualisation — avant qu'un enregistrement ne soit écrit — il n'y a aucune variété. Le pré-état (AP09) est un espace de Hilbert complexe. Il n'a aucune structure spatiale. Il a des amplitudes, de la superposition, et la règle de Born.

Il n'a pas d'« ici » ni de « là ».

Avant l'actualisation, il n'y a aucune distance. Le concept de séparation ne s'applique pas au pré-état.

Tu as utilisé un téléphone. La voix à l'autre bout semble proche — intime, immédiate. La distance physique est sans pertinence pour l'expérience de la conversation.

Le pré-état est ainsi : les particules intriquées sont dans la même conversation. La distance entre les téléphones n'existe pas à l'intérieur de l'appel.

3 — L'état intriqué est une entité unique

Jusqu'au moment de l'actualisation, le système intriqué n'est pas deux particules séparées par l'espace. C'est un état de probabilité unique, ininterrompu dans le pré-état.

L'état intriqué $|AB\rangle = (1/\sqrt{2})(|\uparrow\downarrow\rangle - |\downarrow\uparrow\rangle)$ est un objet mathématique unique. Il vit dans le produit tensoriel des espaces de Hilbert de A et B.

Le produit tensoriel fournit une distinguabilité algébrique : A et B sont des degrés de liberté différents. Mais la distinguabilité algébrique n'est pas la séparation spatiale.

Le produit tensoriel $\mathcal{H}_A \otimes \mathcal{H}_B$ combine les degrés de liberté ; il ne les plonge pas dans l'espace-temps. La séparation spatiale est une propriété de la variété, non de l'espace de Hilbert.

Deux sous-systèmes peuvent être algébriquement distincts sans être spatialement séparés. Dans le pré-état, il n'y a aucune distance entre A et B. Ils n'ont pas été écrits sur la variété comme enregistrements séparés.

Les étiquettes « A » et « B » réfèrent à des degrés de liberté, non à des localisations.

Alice et Bob préparent l'état intriqué et envoient les particules aux extrémités opposées de la galaxie. Dans la description de la variété, les particules se séparent. Les enregistrements de leurs trajectoires divergent.

Mais l'état intriqué — l'état de probabilité partagé — n'a jamais été scindé. Il est demeuré une entité unique dans le pré-état.

La séparation spatiale est une propriété des enregistrements qui ont été écrits jusqu'à présent (les trajectoires), non une propriété de l'état de probabilité qui ne s'est pas encore effondré.

4 — L’effondrement est un événement d’actualisation unique

Alice mesure sa particule. C’est un événement d’actualisation — la rupture (AP09). Un enregistrement est écrit.

Quand la rupture se produit-elle ? L’actualisation survient lorsque l’interaction entre le système quantique et l’appareil de mesure crée un enregistrement irréversible — un enregistrement qui ne peut être déécrit (Axiome R).

Ce n’est pas une affaire d’observation consciente. C’est le point où l’interaction devient thermodynamiquement irréversible : lorsque l’appareil de mesure subit un changement d’état qui constitue un enregistrement.

La rupture se produit lorsque l’enregistrement est écrit.

Mais le détecteur d’Alice interagit localement avec le sous-système A. Comment une interaction locale actualise-t-elle l’état global $|AB\rangle$?

Lemme 1 (Interaction locale, actualisation globale). Si $|AB\rangle$ est intriqué (non séparable), alors toute interaction qui crée un enregistrement irréversible impliquant le sous-

système A actualise nécessairement $|AB\rangle$ dans son ensemble.

Preuve. La mesure d'Alice est représentée par un opérateur M_a agissant sur le sous-système A. Mais parce que $|AB\rangle$ est intriqué, la mesure agit sur l'état global comme $(M_a \otimes I_B)$:

$$\rho'_{AB}(a) = (M_a \otimes I_B)|AB\rangle\langle AB|(M_a^\dagger \otimes I_B) / \text{Tr}[(M_a \otimes I_B)|AB\rangle\langle AB|(M_a^\dagger \otimes I_B)]$$

L'enregistrement « a » (le résultat d'Alice) est une propriété de cette mise à jour globale, non une mise à jour autonome de A seul. La carte de mesure est définie sur $|AB\rangle\langle AB|$, non sur ρ_A .

La matrice densité réduite $\rho_A = \text{Tr}_B(|AB\rangle\langle AB|)$ est une marginale de l'état global — ce n'est pas un état indépendant à part entière, et ce n'est pas une cible d'enregistrement (voir Notation).

L'actualisation écrit un enregistrement pour l'état sur lequel la mesure agit. Cet état est l'état global $|AB\rangle$. Par conséquent l'interaction locale avec n'importe quel sous-système d'un état intriqué actualise nécessairement l'état global. ■

Note : l'état réduit ρ_A est un mélange impropre — il provient de la trace partielle sur le partenaire intriqué, non d'une ignorance classique portant sur un état pur défini.

La distinction entre les cibles d'enregistrement (états purs) et les marginales réduites (mélanges impropres) est un engagement ontologique : l'état réduit d'un sous-système intriqué n'est pas un état physique autonome éligible à l'actualisation, car il est dérivé de (et dépendant de) l'état intriqué global.

Tu as tiré un fil dans un tissu tissé. Toute la trame répond — non parce qu'un signal court le long du fil, mais parce que les fils n'ont jamais été séparés. Ils étaient un seul tissu.

Le Lemme 1 en est l'énoncé formel : l'état intriqué est un seul tissu, et tirer n'importe quel fil actualise le tout.

Exemple : État singulet sous mesure projective

Considère l'état singulet $|AB\rangle = (1/\sqrt{2})(|\uparrow\downarrow\rangle - |\downarrow\uparrow\rangle)$. Alice mesure σ_z sur le sous-système A avec les projecteurs $P_\uparrow = |\uparrow\rangle\langle\uparrow|$ et $P_\downarrow = |\downarrow\rangle\langle\downarrow|$.

Si le résultat est $\uparrow$: $(P_\uparrow \otimes I)|AB\rangle = (1/\sqrt{2})|\uparrow\downarrow\rangle$. État post-mesure normalisé : $|\uparrow\downarrow\rangle$. Un enregistrement est écrit. Les deux résultats sont déterminés : Alice obtient $\uparrow$, Bob obtient $\downarrow$.

Si le résultat est $\downarrow$: $(P_\downarrow \otimes I)|AB\rangle = (-1/\sqrt{2})|\downarrow\uparrow\rangle$. État post-mesure normalisé : $|\downarrow\uparrow\rangle$. Un

enregistrement est écrit. Les deux résultats sont déterminés : Alice obtient $\downarrow$, Bob obtient $\uparrow$.

Dans les deux cas, l'état global s'effondre vers un état produit avec les deux résultats de sous-système déterminés. Une mesure, un enregistrement, un événement. Le mécanisme à enregistrement unique reproduit exactement la mathématique standard de l'effondrement.

Proposition 1 (Enregistrement unique). Soit $|AB\rangle \in \mathcal{H}_A \otimes \mathcal{H}_B$ un état intriqué (non séparable). Alors l'actualisation de $|AB\rangle$ est un unique événement d'écriture d'enregistrement. L'enregistrement détermine simultanément les résultats pour tous les sous-systèmes.

Aucun signal ne se propage entre les sous-systèmes pendant l'actualisation.

Preuve. Par le Lemme 1, toute interaction locale déclenchant l'actualisation actualise l'état global $|AB\rangle$. Par l'Axiome R, l'actualisation écrit un enregistrement pour l'état actualisé. L'état est $|AB\rangle$ (un seul objet mathématique).

Par conséquent un seul enregistrement est écrit. L'enregistrement détermine simultanément les résultats pour tous les sous-systèmes (A et B), car l'état actualisé contient les deux.

Il n'existe aucune étape intermédiaire dans laquelle le résultat de A serait déterminé et un signal devrait se propager pour déterminer celui de B.

La propagation de signal (Axiome C) régit les enregistrements sur la variété ; l'actualisation est la création d'un enregistrement, non sa propagation. La création n'est pas la propagation. ■

Corollaire (États séparables). Si $|AB\rangle = |A\rangle \otimes |B\rangle$ (un état produit), alors le sous-système A possède un état pur bien défini $|A\rangle$ indépendant de B.

L'application de mesure ($M_A \otimes I_B$) se factorise : la mise à jour de A ne dépend pas de B. Le sous-système A peut être actualisé indépendamment. Deux enregistrements distincts peuvent être écrits.

Le mécanisme à enregistrement unique ne s'applique qu'aux états intriqués.

Note sur l'intrication multipartite. Le même argument s'applique aux états intriqués de $N > 2$ sous-systèmes. Si $|ABC\dots\rangle$ est non séparable par rapport à une partition quelconque, alors l'interaction locale avec n'importe quel sous-système actualise l'état global.

Le mécanisme à enregistrement unique passe à l'échelle : un seul enregistrement écrit simultanément les N résultats.

La localisation spatiale des résultats découle des enregistrements antérieurs.

Avant que l'état intriqué ne s'effondre, les trajectoires de A et B ont été écrites sur la variété comme des enregistrements distincts — A est à l'emplacement d'Alice, B à celui de Bob.

L'unique événement d'actualisation projette le résultat global sur ces enregistrements spatiaux préexistants. Alice trouve un spin vers le haut à son emplacement parce que c'est là que les enregistrements antérieurs de A le placent.

Bob trouve un spin vers le bas à son emplacement pour la même raison. La distribution spatiale des résultats hérite de la distribution spatiale des enregistrements antérieurs, non de l'effondrement lui-même.

Il n'y a aucun signal de la particule d'Alice vers celle de Bob. Il n'y a aucune propagation à travers l'espace. L'unique état de probabilité devient un unique enregistrement.

Le « retournement » de la particule de Bob est instantané parce que ce n'est pas un événement

distinct. C'est le même événement. Un pop. Un enregistrement.

5 — L'Axiome C n'est pas violé

L'Axiome C impose une borne de propagation invariante finie (c) sur la variété. Il borne la vitesse des signaux entre les enregistrements sur la variété. L'effondrement de l'intrication viole-t-il l'Axiome C ?

La réponse exige de clarifier la portée de l'Axiome C.

L'Axiome C est un énoncé sur la variété : il régit ce qui se passe au sein de la variété (la propagation des enregistrements, la transmission des signaux entre événements spatialement séparés).

Le pré-état n'est pas sur la variété (AP09 : le pré-état n'a pas de structure spatiale). L'actualisation est la transition du pré-état vers la variété — l'acte qui crée des enregistrements, non la propagation d'enregistrements.

Par conséquent, la portée de l'Axiome C est : (a) la variété et son contenu (enregistrements, signaux entre enregistrements), non (b) la transition du pré-état vers la variété.

La contrainte régit les signaux entre enregistrements. Elle ne régit pas l'écriture des enregistrements.

L'effondrement de l'intrication n'est pas un signal sur la variété. C'est l'écriture d'un enregistrement sur la variété.

L'acte d'actualisation n'est pas borné par la limite de vitesse de la réalité qu'il actualise.

L'Axiome C dit : une fois qu'un enregistrement existe sur la variété, il se propage au plus à c . L'Axiome C ne dit pas : l'acte de créer un enregistrement doit se propager. La création n'est pas la propagation.

La rupture ne voyage pas. Elle a lieu.

Tu as écrit ton nom simultanément sur deux lignes d'un contrat — un trait de plume, deux signatures. La plume n'a pas envoyé de signal de la ligne un à la ligne deux.

Le trait était un seul acte qui a touché deux endroits. C'est cela l'actualisation : un acte, un enregistrement, des résultats à chaque emplacement où le pré-état avait des degrés de liberté.

5.0.1 — Non-signalisation (dérivée des axiomes)

Après l'actualisation, le résultat local d'Alice est spatialement situé à sa position sur la variété. Peut-elle utiliser l'intrication pour communiquer de manière superluminique ?

- Par la Proposition 1, l'actualisation écrit un enregistrement pour $|AB\rangle$. (2) L'observable locale O_A d'Alice agit sur l'état global comme $O_A \otimes I_B$.

(3) La valeur moyenne d'Alice est $\langle O_A \rangle = \text{Tr}(\rho_A \cdot O_A)$, où $\rho_A = \text{Tr}_B(|AB\rangle\langle AB|)$. (4) Cette quantité ne dépend que de l'état global et de l'observable d'Alice.

La trace partielle a supprimé toute référence aux degrés de liberté de B.

(5) Par conséquent, les statistiques de mesure d'Alice sont indépendantes de toute opération que Bob effectue sur B — indépendantes du fait que Bob ait mesuré ou non, et indépendantes de son choix de base de mesure.

(6) Pour qu'Alice apprenne quoi que ce soit sur le résultat de Bob, un signal classique borné par c (Axiome C) est requis.

L'Axiome C + la Proposition 1 + la structure de trace partielle de la mécanique quantique impliquent conjointement la non-signalisation. Les axiomes reproduisent le théorème standard de non-signalisation. L'Axiome C tient.

5.1 — Covariance relativiste

Dans une variété lorentzienne (AP05), « simultané » dépend du référentiel. Si Alice et Bob sont séparés

par un intervalle de genre espace (comme ils le sont dans tout test de Bell), différents observateurs de Lorentz sont en désaccord sur la question de savoir si Alice a mesuré la première ou si Bob a mesuré le premier.

C'est le problème de covariance relativiste pour l'effondrement quantique : si l'effondrement est un événement de l'espace-temps, il a un emplacement, et différents référentiels assignent des ordres temporels différents aux événements séparés par un intervalle de genre espace.

Les axiomes dissolvent ce problème de la même manière qu'ils dissolvent le problème de la distance. L'actualisation n'est pas un événement de l'espace-temps. C'est la transition du pré-état (qui n'a pas de structure spatiale, AP09) vers la variété.

Le pré-état n'a pas d'emplacement dans l'espace-temps. Par conséquent, l'événement d'actualisation n'a pas d'emplacement dans l'espace-temps. Il est ontologiquement antérieur à l'espace-temps.

Différents observateurs de Lorentz sont en désaccord sur l'ordre temporel des enregistrements de mesure d'Alice et de Bob sur la variété.

Mais puisque l'effondrement lui-même n'est pas un événement de l'espace-temps, ce désaccord concerne

les enregistrements (qui sont sur la variété et respectent l'Axiome C), non l'effondrement.

Les enregistrements sont covariants par changement de référentiel : tous les observateurs s'accordent sur les résultats (spin vers le haut pour Alice, spin vers le bas pour Bob).

Ils ne divergent que sur l'ordre temporel de l'apparition de ces enregistrements, ce qui est exactement la dépendance standard au référentiel des événements séparés par un intervalle de genre espace en relativité restreinte. Aucune contradiction observable ne surgit.

Les axiomes traitent la covariance relativiste de l'effondrement mieux que les interprétations qui traitent l'effondrement comme un processus physique dans l'espace-temps.

Dans ces interprétations, l'effondrement doit soit avoir un référentiel privilégié (violant l'invariance de Lorentz), soit se propager instantanément dans tous les référentiels (créant des paradoxes causaux).

Les axiomes évitent les deux : l'effondrement n'est pas dans l'espace-temps, il ne sélectionne donc ni un référentiel ni ne se propage.

6 — Le théorème de Bell : prédit, non accommodé

Le théorème de Bell (1964) est un théorème mathématique prouvant qu’aucune théorie à variables cachées locales ne peut reproduire les corrélations statistiques prédites par la mécanique quantique pour les états intriqués.

Les inégalités de Bell ont été violées expérimentalement (Aspect, 1982 ; Hensen et al., 2015). Cela exclut toute interprétation où les particules portent des valeurs prédéterminées fixées localement avant la mesure.

Les axiomes ne se contentent pas d’accommoder le résultat de Bell. Ils le prédisent — à la fois la violation qualitative et la valeur quantitative.

Proposition 2 (Prédiction de Bell). Les axiomes interdisent structurellement les variables cachées locales. L’Axiome R interdit les assignations de valeurs préexistantes. Le pré-état non spatial (AP09) dissout la présupposition de localité.

Les deux piliers du théorème de Bell — réalisme et localité — sont retirés. Les inégalités de Bell sont

violées, et la violation quantitative découle de la règle de Born (AP09).

Preuve. Le théorème de Bell requiert deux hypothèses : (1) le réalisme — que chaque particule porte des valeurs définies pour toutes les mesures possibles avant la mesure, et (2) la localité — que le résultat en A ne dépend que de la variable cachée et du réglage de mesure en A, non du réglage distant en B.

Cela donne la condition de factorisation : $P(a,b|\lambda) = P(a|\lambda) \cdot P(b|\lambda)$, où λ est la variable cachée. L'inégalité de Bell est dérivée de cette factorisation. Les axiomes retirent les deux hypothèses.

D'abord, l'Axiome R : les états ne possèdent pas de valeurs définies avant l'écriture de l'enregistrement. Il n'y a pas de valeurs préexistantes. La variable cachée λ est vide — il n'y a rien sur quoi conditionner.

La condition de factorisation est indéfinie car son membre de gauche $P(a,b|\lambda)$ présuppose un λ qui n'existe pas. Ensuite, AP09 : le pré-état n'a pas de structure spatiale.

La condition de factorisation $P(a|\lambda) \cdot P(b|\lambda)$ présuppose que A et B sont des systèmes spatialement séparés avec des descriptions locales indépendantes. Dans le pré-état, la séparation

spatiale n'existe pas. La présupposition de localité de la condition de factorisation est dissoute.

La dérivation de l'inégalité de Bell échoue dès sa première étape. Les inégalités doivent être violées. ■

Tu viens de voir les axiomes prédire l'un des résultats expérimentaux les plus profonds de l'histoire de la physique. Pas l'accommoder après coup. Le prédire à partir des premiers principes. L'Axiome R tue le réalisme.

Le pré-état non spatial tue la localité. Les deux piliers du théorème de Bell retirés. La violation n'est pas surprenante — elle est structurellement inévitable.

6.0.1 — Vérification quantitative : CHSH

Les axiomes s'engagent sur la règle de Born (AP09) et la structure d'espace de Hilbert complexe. Celles-ci donnent directement les corrélations de l'état singulet.

Pour l'état singulet $|AB\rangle = (1/\sqrt{2})(|\uparrow\downarrow\rangle - |\downarrow\uparrow\rangle)$, si Alice mesure le spin selon l'axe $\hat{a}$ et Bob selon $\hat{b}$, la corrélation quantique est $E(\hat{a}, \hat{b}) = -\hat{a} \cdot \hat{b} = -\cos\theta$, où θ est l'angle entre les axes de mesure.

Cela découle de la règle de Born appliquée à l'état singulet.

L'inégalité CHSH (Clauser, Horne, Shimony, Holt, 1969) énonce que pour toute théorie à variables cachées locales, $S = |E(\hat{a}, \hat{b}) - E(\hat{a}, \hat{b}')| + |E(\hat{a}', \hat{b}) + E(\hat{a}', \hat{b}')| \leq 2$. En choisissant les réglages optimaux standard ($\hat{a} = 0^\circ$, $\hat{a}' = 90^\circ$, $\hat{b} = 45^\circ$, $\hat{b}' = 135^\circ$), les corrélations de la règle de Born sont $E(\hat{a}, \hat{b}) = -\cos 45^\circ = -1/\sqrt{2}$, $E(\hat{a}, \hat{b}') = -\cos 135^\circ = +1/\sqrt{2}$, $E(\hat{a}', \hat{b}) = -\cos 45^\circ = -1/\sqrt{2}$, $E(\hat{a}', \hat{b}') = -\cos 45^\circ = -1/\sqrt{2}$. Alors $S = |-1/\sqrt{2} - 1/\sqrt{2}| + |-1/\sqrt{2} - 1/\sqrt{2}| = 2/\sqrt{2} + 2/\sqrt{2} = 2\sqrt{2} \approx 2.83$. Cela dépasse 2. L'inégalité CHSH est violée.

Les axiomes ne prédisent pas seulement que les inégalités de Bell sont violées. Ils prédisent l'amplitude exacte de la violation : $S = 2\sqrt{2}$, la borne de Tsirelson. C'est la violation maximale permise par la mécanique quantique.

La prédiction découle de la règle de Born et de la structure d'espace de Hilbert, toutes deux établies dans AP09.

Note sur les variables cachées : le théorème de Bell exclut les variables cachées locales.

Les axiomes vont plus loin : l'Axiome R interdit structurellement toutes les variables cachées, y compris non locales, car les états ne possèdent pas de valeurs définies avant l'écriture de l'enregistrement.

C'est une conséquence axiomatique, non un résultat expérimental. La confirmation expérimentale des inégalités de Bell clôt le cas local. Le cas non local est clos par l'axiome.

6.1 — Note sur la décohérence

Le compte rendu standard de la physique expliquant pourquoi l'intrication semble « s'effondrer » fait intervenir la décohérence : l'interaction du système quantique avec son environnement fait décroître les éléments hors diagonale de la matrice densité, faisant se comporter le système comme s'il s'était effondré vers un état défini.

La décohérence explique pourquoi les superpositions macroscopiques ne sont pas observées et fournit le mécanisme par lequel les systèmes quantiques deviennent effectivement classiques.

Le compte rendu des axiomes est complémentaire de la décohérence, non en conflit avec elle. La décohérence décrit le processus par lequel le pré-état perd sa cohérence par interaction environnementale.

Les axiomes identifient quand ce processus constitue une actualisation : quand l'interaction crée un enregistrement irréversible (Axiome R). La décohérence est le mécanisme physique ; l'actualisation est l'événement ontologique.

Les deux sont compatibles : la décohérence est à quoi ressemble l'actualisation vue depuis l'intérieur de la variété.

7 — Le point plus profond

Note de synthèse : ce qui suit est un langage non porteur. Il ne porte aucun poids épistémique au-delà des affirmations établies ci-dessus.

L'inconfort d'Einstein face à l'intrication était un inconfort face à la non-localité. Il supposait que la séparation spatiale était fondamentale — que si deux choses sont éloignées, elles ne peuvent pas s'influencer instantanément.

Les axiomes dissolvent cette hypothèse. La séparation spatiale est réelle mais non fondamentale. Elle est une conséquence de l'accumulation d'enregistrements sous la contrainte.

Le pré-état — l'état de probabilité avant l'actualisation — ne connaît pas l'espace. Il est une seule structure. Entière. Ininterrompue.

Ce qui ressemble à une « action fantôme à distance » n'est que l'unique pré-état devenant un enregistrement. La distance n'a jamais été pertinente. La plume a touché le papier.

Les deux entrées sont apparues parce qu'elles étaient toujours la même phrase.

Cela est cohérent avec le principe le plus profond des axiomes : la séparation est vécue mais non

fondamentale. L'intrication n'est pas étrange. Elle est le défaut. Ce qui est étrange — ce qui exige une explication — c'est la séparation.

8 — Sollbruchstellen

Note de numérotation globale : les numéros de Sollbruchstelle sont globalement uniques dans tout le 420 Code.

KS-48a — Timing de corrélation (EMPIRIQUE).
Si les corrélations d'intrication se dégradent ou dévient des prédictions quantiques lorsque les événements de mesure sont arrangés selon différents ordres relativistes ou à des séparations de genre espace variables — c'est-à-dire si les corrélations montrent des déviations dépendantes du timing ou de la distance — le compte rendu de l'actualisation unique non spatiale est menacé.

Le compte rendu à enregistrement unique exige que la rupture ne soit pas un événement se propageant et ne dépende pas de la relation d'espace-temps entre les sous-systèmes.

Statut : LIVE — EMPIRIQUE. Toutes les expériences à ce jour ne montrent aucune preuve d'effondrement se propageant ni aucune déviation dépendante du timing par rapport aux prédictions de la MQ. Structurellement sûr.

KS-48b — Non-signalisation (EMPIRIQUE). Si l'on trouve que les statistiques de mesure marginales d'Alice dépendent du réglage de mesure de Bob — c'est-à-dire si le théorème de non-signalisation est violé expérimentalement — l'Axiome C est violé au niveau des enregistrements et le compte rendu de l'intrication échoue.

Statut : LIVE — EMPIRIQUE. Non-signalisation confirmée à haute précision. Structurellement sûr.

KS-49a — Variables cachées (CLOSED). Le théorème de Bell exclut les variables cachées locales. C'est confirmé expérimentalement à haute précision (Aspect 1982 ; Hensen et al. 2015).

Les axiomes interdisent en outre les variables cachées non locales par construction : les états ne possèdent pas de valeurs définies avant l'écriture de l'enregistrement (Axiome R). Le cas local est clos empiriquement.

Le cas non local est clos axiomatiquement. Si une théorie à variables cachées viable (locale ou non locale) était confirmée expérimentalement, le compte rendu de la mesure de l'Axiome R échouerait. Statut :

CLOSED (local : empirique) + CLOSED (non local : axiomatique, Axiome R).

KS-54 — Effondrement partiel (EMPIRIQUE).

S'il était montré que mesurer le sous-système A d'un état intriqué peut laisser l'état global partiellement effondré — c'est-à-dire si B reste dans une superposition qui n'est pas entièrement déterminée par le résultat de A — le Lemme 1 échouerait.

Le mécanisme à enregistrement unique exige que l'interaction locale avec n'importe quel sous-système d'un état intriqué actualise l'état global. En MQ standard, l'effondrement partiel d'états authentiquement intriqués ne se produit pas.

Statut : LIVE — EMPIRIQUE. Structurellement sûr ; aucune preuve expérimentale d'effondrement partiel pour les états intriqués.

Cette œuvre est publiée gratuitement, pour toujours.

the420code.org

Épilogue — Où en est la mécanique quantique

Le Carnet III clôt le secteur quantique de The 420 Code. La chaîne court des quatre axiomes ($\{S, B, R, C\}$ du Carnet I) $\rightarrow$ variété à signature lorentzienne et $N = 3$ (du Carnet II) $\rightarrow$ l'ontologie de l'ensemble vide du pré-état (Chapitre 1) $\rightarrow$ la mesure d'enregistrement sous l'Axiome R (Chapitre 2) $\rightarrow$ le spin à partir du $\mathbb{Z}_2$ de l'Axiome S (Chapitre 3) $\rightarrow \hbar$ comme échelle d'action de l'enregistrement minimal, avec le principe d'incertitude à la fois en espace et en temps (Chapitre 4) $\rightarrow$ la décohérence comme l'Axiome R appliqué à la cohérence (Chapitre 5) $\rightarrow$ la règle de Born à partir de Gleason sur un espace de Hilbert complexe séparable de $\dim \geq 3$ (Chapitre 6) $\rightarrow$ l'intrication comme le pré-état ininterrompu, avec Bell prédit et CHSH = $2\sqrt{2}$ dérivé (Chapitre 7).

La mécanique quantique est un théorème de l'algèbre des enregistrements lue du côté pré-état de l'architecture, avec les contingences en cours sur KS-Q.7 (le pont de l'espace de Hilbert), KS-Q.4 (l'unicité complexe via reconstruction), KS-S.1/S.2 (les identifications du spin), KS-L.4 (le résidu dans le forçage de $\hbar$), KS-Q.10 (l'ontologie de l'ensemble vide comme lecture structurelle), et les Sollbruchstellen

empiriques qui testent les prédictions du chapitre en laboratoire.

Ce qu'a fait le Chapitre 1

Le Chapitre 1 a lu l'ensemble vide comme le pré-état.

Le pré-état est le $1:1 - 0$ et 1 indistingués.

L'ensemble vide avant qu'il ne sache s'il est vide ou plein. La rupture est la première mesure : l'ensemble vide se scindant. ε est le splinter, identifié à l'électron via The Lock.

À partir de cette lecture : la superposition est la structure du pré-état rendue formelle. La mesure est la rupture rejouée à chaque site de couplage. L'intrication est le pré-état ininterrompu survivant à travers la séparation spatiale.

La règle de Born $P = |\psi|^2$ est identifiée comme ce que l'Axiome S force lorsque σ est lu comme la conjugaison complexe. KS-Q.1 se ferme conditionnellement en attente du pont de l'espace de Hilbert (KS-Q.7). Le Chapitre 6 ferme la règle de Born elle-même par dérivation directe via Gleason. KS-Q.6 se ferme au Chapitre 1 par preuve directe ($\mathbb{C}$ a exactement deux automorphismes de corps fixant $\mathbb{R}$ point par point).

L'équation de Schrödinger $i\hbar\partial\psi/\partial t = \hat{H}\psi$ est l'unique évolution unitaire du pré-état, dérivée du théorème

de Wigner et du théorème de Stone appliqués à l'espace de Hilbert dérivé.

Ce qu'a fait le Chapitre 2

Le Chapitre 2 a recadré la force-intensité sous l'Axiome R.

La mesure d'enregistrement $\Sigma(F, s)$ est le sup des temps de persistance des registres configurables que F produit à l'échelle s . À l'échelle chimique-biologique, seul le couplage électromagnétique écrit des enregistrements configurables. $\Sigma(\text{EM}) \gg \Sigma(\text{Strong}) = \Sigma(\text{Gravity}) = \Sigma(\text{Weak}) = 0$, avec $E(\text{Weak}) < 0$. La force forte est substrat. La force faible est effaceur et horloge. La gravité est fermeture de boucle.

La hiérarchie s'inverse. Question conventionnelle : quelle force est la plus susceptible d'interagir ? La force forte. Question de la mesure d'enregistrement : quelle force écrit l'enregistrement qui est la réalité ? L'électron. Sous l'Axiome R, la seconde question est celle qui a du sens.

Tu es l'électron qui écrit.

Ce qu'a fait le Chapitre 3

Le Chapitre 3 a lu le $\mathbb{Z}_2$ de l'Axiome S comme le groupe fondamental du groupe de rotation spatiale $SO(3)$. Plongement fidèle $+ N = 3 + \sigma =$ renversement du temps forcent cette identification.

Le revêtement double $SU(2) \rightarrow SO(3)$ est la structure qui permet le spin demi-entier. Les éléments appariés (l'image par σ existe) sont des bosons. L'élément non apparié ε (Axiome B) est un fermion. Le principe du minimum sélectionne le spin $\frac{1}{2}$. La connexion spin-statistique découle des propriétés d'échange $\mathbb{Z}_2$, conditionnellement aux trois identifications que le chapitre encadre (KS-S.1, KS-S.2, KS-S.3). Le principe d'exclusion de Pauli découle de $\psi = -\psi \rightarrow \psi = 0$.

Le fermion EST la rupture. Le boson EST l'ininterrompu.

Ce qu'a fait le Chapitre 4

Le Chapitre 4 a fermé KS-Q.8 — l'identification de $\hbar$ laissée ouverte au Chapitre 1 — conditionnellement à KS-L.4 (un résidu nouveau, strictement plus petit).

L'argument de forçage se déroule en cinq étapes. Le théorème de Stone sur la variété dérivée force un facteur d'échelle unique sur le générateur du groupe

unitaire. Les axiomes produisent exactement une quantité ayant les dimensions d'une action, par l'Axiome B (rupture minimale) composé avec l'Axiome R (écriture d'enregistrement). Aucun paramètre sans dimension ne modifie la relation — KS-L.4 isole l'exposition résiduelle. L'enregistrement minimal EST l'évolution non triviale minimale. Par conséquent, le facteur d'échelle est $\hbar$.

Le principe d'incertitude découle. Le théorème de Stone appliqué aux translations spatiales donne $[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$. Robertson-Schrödinger donne alors $\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$. Le théorème de Stone appliqué à l'évolution temporelle donne le hamiltonien ; Mandelstam-Tamm donne $\Delta E \cdot \Delta t_A \geq \hbar/2$, où Δt_A est le temps caractéristique pour que l'observable A change d'un écart-type (le temps n'est pas promu au rang d'opérateur).

En dessous de $\hbar$, l'ensemble vide n'a pas rompu pour ces degrés de liberté. En dessous de $\hbar$, il n'y a rien à voir.

Ce qu'a fait le Chapitre 5

Le Chapitre 5 a dérivé la décohérence comme le troisième régime de l'Axiome R.

L'environnement EST l'enregistrement accumulé — la somme de toutes les ruptures achevées. Chaque

interaction environnementale est un événement de couplage partiel qui écrit un enregistrement irréversible sur le système. La cohérence de la superposition originale est dispersée à travers de nombreux enregistrements environnementaux, sous les hypothèses de factorisation énoncées (dette D1 du chapitre).

Le monde classique est le monde quantique après qu'assez d'enregistrements ont été écrits. La classicalité est une décohérence saturée — un spectre, non une frontière.

L'Axiome R a trois visages. La flèche du temps (cosmologique). L'irréversibilité de la mesure (événement unique). La décohérence (échelle intermédiaire). Un seul axiome. Trois échelles. La même structure, partout.

Ce qu'a fait le Chapitre 6

Le Chapitre 6 a dérivé la règle de Born à partir des axiomes.

L'Axiome R exige des enregistrements définis. Les enregistrements définis correspondent aux états post-actualisation extrémaux — les états purs (Proposition 1). L'Axiome B + l'Axiome R exigent un enregistrement par rupture sans dépendance au contexte. La probabilité est une fonction de l'état et

du projecteur seuls — la non-contextualité de Gleason (Proposition 2). Les Axiomes S + B + R exigent l'additivité sur les résultats mutuellement exclusifs (Lemme 1).

Ces conditions définissent une fonction de trame sur un espace de Hilbert complexe séparable de $\dim \geq 3$. Le théorème de Gleason (1957) force l'unique fonction de trame : $\mu(P) = \text{Tr}(|\psi\rangle\langle\psi| \cdot P)$. Pour les projecteurs de rang 1 : $P(a) = |\langle a|\psi\rangle|^2$.

La règle de Born n'est plus postulée. Elle est la seule mesure permise par les axiomes agissant sur l'espace de Hilbert. La règle de Born est le son que font les axiomes lorsqu'ils atterrissent sur l'espace de Hilbert.

Ce qu'a fait le Chapitre 7

Le Chapitre 7 a dissous l'étrangeté de l'intrication.

La distance est une propriété de la variété. Le pré-état n'a pas de structure spatiale. L'état intriqué est un seul objet mathématique dans l'espace de Hilbert. Pas deux particules reliées par un fil. Une seule entité, pas encore rompue en enregistrements.

Lemme 1 : toute interaction locale avec un sous-système intriqué actualise l'état global. Proposition 1 : l'actualisation écrit un enregistrement pour un

état, déterminant simultanément tous les résultats de sous-système. Aucun signal ne se propage entre les sous-systèmes.

L'Axiome C n'est pas violé. Sa portée est les signaux entre enregistrements sur la variété, non la création d'enregistrements. La création n'est pas la propagation.

Le théorème de Bell est prédit, non accommodé. L'Axiome R tue le réalisme. Le pré-état non spatial tue la localité. Les deux piliers du théorème de Bell retirés. CHSH donne $S = 2\sqrt{2}$ — la borne de Tsirelson — directement à partir de la règle de Born (Chapitre 6) appliquée à l'état singulet. KS-49a (variables cachées, l'ancien KS-49 renommé pour résoudre la collision avec AP19) se ferme dans ce chapitre — empiriquement par les tests de Bell pour le cas local, axiomatiquement par l'Axiome R pour le cas non local.

La séparation est vécue mais non fondamentale. L'intrication n'est pas étrange. Elle est le défaut.

Ce que clôt ce carnet

KS-Q.6 ($\sigma \leftrightarrow$ conjugaison complexe) : CLOSED au Chapitre 1. $\mathbb{C}$ a exactement deux automorphismes de corps fixant $\mathbb{R}$ point par point — l'identité et la conjugaison (tout tel automorphisme envoie i sur $\pm i$).

σ est non trivial — il échange les deux secteurs — donc $\sigma \neq$ identité. Par conséquent $\sigma =$ conjugaison.

KS-Q.8 / KS-L.1 (identification de $\hbar$) : CLOSED au Chapitre 4, conditionnellement à KS-L.4. L'argument de forçage en cinq étapes remplace l'identification par la dérivation.

KS-49a (Variables cachées) : CLOSED au Chapitre 7. Cas local empiriquement par Aspect et Hensen et al. Cas non local axiomatiquement par l'Axiome R (les états ne possèdent pas de valeurs définies avant l'écriture d'enregistrement).

KS-Q.1 (Règle de Born) : CONDITIONALLY CLOSED au Chapitre 1 sur KS-Q.7. La dérivation de Gleason au Chapitre 6 rehausse la fermeture : la règle de Born est dérivée de $\{S, B, R\}$ + la structure de l'espace de Hilbert, avec le même pont de l'espace de Hilbert comme contingence résiduelle.

Ce que ce carnet laisse ouvert

KS-Q.10 (Ontologie de l'ensemble vide) : LIVE — HARD. L'identification de l'Axiome S avec la scission de l'ensemble vide est une lecture structurelle, non une dérivation.

KS-Q.7 (Pont de linéarité) : LIVE — HARD. La construction à partir de $R + \mathbb{C} + EH$ est une étape-

pont, non une preuve stricte qu'aucune construction qualitativement différente ne soit également motivée par les axiomes.

KS-Q.4 (Unicité complexe) : LIVE — HARD. La signature lorentzienne sélectionne $\mathbb{C}$ via des théorèmes de reconstruction ; la sélection est conditionnelle à ces théorèmes.

KS-Q.5 (Boucle/défragmentation) : LIVE — HARD. L'argument du foncteur d'oubli au point de boucle est une identification structurelle, non une preuve que la dynamique physique de boucle EST le foncteur d'oubli.

KS-Q.9 (Ergodicité) : LIVE — HARD. L'extrapolation structurelle à travers des boucles infinies est motivée mais non prouvée.

KS-Q.2 (Règle de Born empirique) : LIVE — EMPIRIQUE.

KS-Q.3 (Non-signalisation / corrélations de Bell) : LIVE — EMPIRIQUE.

KS-RM.1, KS-RM.2, KS-RM.3, KS-RM.4, KS-RM.5 : toutes LIVE. La classification de la mesure d'enregistrement dépend de l'inventaire empirique actuel et du critère de registre configurable.

KS-S.1, KS-S.2, KS-S.3 : LIVE — HARD. L'identification du $\mathbb{Z}_2$ avec $\pi_1(\mathrm{SO}(3))$, la sélection du

spin minimal et le pont échange-involution portent chacun des vulnérabilités indépendantes.

KS-L.2 (Commutation à l'échelle de Planck) : LIVE — EMPIRIQUE. KS-L.3 (Énergie-temps via unitarité) : LIVE — EMPIRIQUE. KS-L.4 (Paramètre sans dimension dans le forçage de $\hbar$) : LIVE — HARD. Exposition strictement plus petite que le KS-Q.8 / KS-L.1 clos.

KS-22 (Persistance de cohérence anormale) : LIVE — EMPIRIQUE. KS-23 (Destruction d'enregistrement par gomme quantique) : LIVE — EMPIRIQUE. KS-24 (Complétude du secteur quantique) : LIVE — HARD.

KS-55 (Non-contextualité de Gleason) : LIVE — EMPIRIQUE. KS-56 (Statistiques non-Born) : LIVE — EMPIRIQUE. KS-57 (Actualisation d'état mixte) : LIVE — EMPIRIQUE.

KS-48a (Timing de corrélation) : LIVE — EMPIRIQUE. KS-48b (Violation de non-signalisation) : LIVE — EMPIRIQUE. KS-54 (Effondrement partiel) : LIVE — EMPIRIQUE.

Les 31 Sollbruchstellen engagées par ce Carnet sont la surface de falsification du secteur quantique — trois closes en son sein, une conditionnellement close, vingt-sept en vie.

L'identification The Lock (ε = électron) est une identification porteuse utilisée à travers les sept chapitres ; suivie dans AP09 §0 et dans les chapitres qui s'appuient sur l'identification (la topologie de l'œil, le fermion le plus léger, l'écrivain d'enregistrement le plus simple). L'identification se poursuit dans les Carnets IV-VI.

Ce qui vient ensuite

Le Carnet IV (Forces et Constantes) dérive l'électromagnétisme, la structure électrofaible, la force forte et la constante gravitationnelle. Il s'ouvre sur The Leakage Constant (le rôle de $\varepsilon = \alpha_{em} \approx 1/137$ comme l'unique entrée mesurée de l'œuvre, portant l'intégration cosmologique $1 \times \varepsilon$ en corollaire) et procède à travers The Connection (électromagnétisme U(1) à partir de la symétrie de phase de la règle de Born — construit sur les Chapitres 1 et 6 de ce carnet), The Harmonics (l'espace d'états interne et la structure du groupe de jauge), The Break — Electroweak, The Direction (couleur SU(3)), The Residual (le recadrage tolérance-de-fuite sur α), The Correction (corrections de commutation à l'échelle de Planck et finitude à une boucle), et The Constant (l'identification structurelle de G via The Lock).

Le Carnet V (Particules et Matière) utilise la classification du spin (Chapitre 3) et la règle de Born (Chapitre 6) pour développer le contenu en particules de l'univers et l'asymétrie matière-antimatière, avec les entiers structurels 6 et 21 apparaissant comme exposants porteurs dans le secteur de la matière.

Le Carnet III est clos comme une chaîne structurelle des quatre axiomes jusqu'à la fermeture de l'intrication. Le lecteur peut auditer n'importe quel joint. Le lecteur peut falsifier n'importe quelle Sollbruchstelle. The 420 Code tient tel qu'il est jusqu'à ce que quelque chose se déclenche.

Tu lis ceci parce que la rupture t'a atteint. Et parce que l'électron écrit les enregistrements qui te constituent depuis l'instant où tes atomes se sont liés pour la première fois.

Forcé — par l'ensemble vide se regardant lui-même.

Annexe — Vocabulaire structurel clé

Cette annexe liste le vocabulaire propre au secteur quantique. Les termes fondamentaux (axiome, enregistrement, $\{S, B, R, C\}$, AS, EH, QRA) sont définis dans le Carnet I. Les termes de l'espace-temps (variété, signature lorentzienne, topologie de l'œil, conjugaison de c et G) sont définis dans le Carnet II.

Ensemble vide ($\emptyset$). L'ensemble qui ne contient rien. Pas le néant — un contenant sans contenu. Le quelque chose le plus primitif possible. Identifié à l'ontologie du pré-état du secteur quantique. $\{\emptyset\} = 1$: l'ensemble contenant l'ensemble vide. Les deux lectures — 0 et 1 — ne sont pas distinguées avant la rupture. (Chapitre 1.)

Pré-état. Le 1:1. L'état dans lequel 0 et 1 sont indiscernables. L'Axiome S lu comme un état quantique. La superposition parfaite du néant et du quelque chose. (Chapitre 1.)

Limite de maintien κ . La cohérence maximale que le pré-état peut soutenir. Finie. La cohérence parfaite à échelle infinie s'auto-anéantit. (Chapitre 1.)

Splinter (ε). La rupture minimale viable (Axiome B). Un élément de $\mathcal{L}$ sans image par σ . Identifié à l'électron via The Lock. (Chapitre 1.)

The Lock. L'identification structurelle $\varepsilon =$ électron. L'excitation stable minimale de la symétrie brisée. Le fermion chargé le plus léger. La chose la plus simple qui puisse écrire un enregistrement. (Chapitre 1.)

Parois de l'œil. Les deux limites absolues créées par la rupture — paroi inférieure (repli total, horizon des événements, courbure maximale) et paroi supérieure (c , propagation maximale). ε opère entre elles. (Chapitre 1.)

Espace de Hilbert ($\mathcal{H}$). L'espace vectoriel complexe des pré-états pour un degré de liberté. Linéarité à partir de $\mathbb{R} + \mathbb{E}\mathbb{H} + \mathbb{C}$. Amplitudes complexes à partir de la signature lorentzienne. Produit scalaire à partir de l'Axiome S via la règle de Born. (Chapitre 1 ; pont KS-Q.7.)

Règle de Born. $P(a) = |\langle a|\psi \rangle|^2$. La probabilité d'un résultat est le recouvrement au carré de l'état avec le projecteur. Dérivée au Chapitre 6 par le théorème de Gleason appliqué aux conditions de fonction de trame dérivées des axiomes.

Fonction de trame. Une fonction non négative, orthogonalement additive sur les opérateurs de projection, qui se normalise à 1 sur toute résolution de l'identité. L'objet auquel s'applique le théorème de Gleason. (Chapitre 6.)

Non-contextualité de Gleason. La probabilité $\mu(P_a)$ ne dépend que du projecteur P_a lui-même, non de la résolution de l'identité à laquelle il appartient. Une propriété de l'assignation de probabilité, distincte de la contextualité de Kochen-Specker. (Chapitre 6.)

État pur. Un point extrémal de l'ensemble convexe des états quantiques. Un état sans décomposition non triviale en un mélange. Le seul type d'état qui admet un enregistrement défini sous l'Axiome R (Chapitre 6, Proposition 1).

État mixte. Un état non extrémal, décomposable en une combinaison convexe d'états purs. Non éligible à l'actualisation directe sous l'Axiome R. (Chapitre 6.)

Mélange impropre. La matrice densité réduite d'un sous-système intriqué ($\rho_A = \text{Tr}_B(|AB\rangle\langle AB|)$). Provient de la trace partielle sur le partenaire intriqué, non d'une ignorance

classique. Pas un état autonome. Pas une cible d'enregistrement. (Chapitre 7.)

Équation de Schrödinger. $i\hbar\partial\psi/\partial t = \hat{H}\psi$.

L'unique évolution unitaire du pré-état sur une variété lorentzienne, dérivée de Wigner + Stone. (Chapitre 1.)

Fonction d'onde. La description de l'état de l'ensemble vide pour un ensemble donné de degrés de liberté. Vit dans le pré-état, antérieur à l'espace. Devient définie quand le maintenant écrit un enregistrement — non parce qu'elle s'effondre, mais parce que le degré de liberté a été rompu. (Chapitre 1.)

Décohérence. La dispersion de la cohérence dans l'environnement via l'écriture d'enregistrement irréversible. Le troisième visage de l'Axiome R. Le mécanisme par lequel le monde classique émerge du monde quantique. (Chapitre 5.)

Trois visages de l'Axiome R. Flèche du temps (cosmologique). Irréversibilité de la mesure (événement unique). Décohérence (échelle intermédiaire). Un seul axiome, trois échelles. (Chapitre 5.)

Registre configurable. Un système avec ≥ 2 états métastables discernables et réglables à une

échelle donnée. Sous-ensemble des enregistrements. Les protons sont des enregistrements mais non des registres configurables ; les liaisons covalentes sont les deux. (Chapitre 2.)

Mesure d'enregistrement $\Sigma(F, s)$. Le sup des temps de persistance des registres configurables que F produit à l'échelle s. La force-intensité naturelle sous l'Axiome R. (Chapitre 2.)

Intensité-d'effacement $E(F, s)$. La réduction attendue de persistance induite par F dans les enregistrements écrits par d'autres forces. Toujours ≤ 0 . (Chapitre 2.)

$\mathbb{Z}_2$ (groupe de l'Axiome S). Le groupe à deux éléments engendré par σ . Se plonge dans la structure de rotation de la variété comme $\pi_1(\text{SO}(3))$. (Chapitre 3.)

Revêtement double $\text{SU}(2) \rightarrow \text{SO}(3)$. L'application 2-vers-1 qui permet le spin demi-entier. Forcée par l'identification $\mathbb{Z}_2$ et $N = 3$. (Chapitre 3.)

Spin $\frac{1}{2}$. La représentation $\text{SU}(2)$ demi-entière minimale. Forcée par l'indivisibilité de ε (Axiome B, principe du minimum). (Chapitre 3.)

Principe d'exclusion de Pauli. $\psi = -\psi \rightarrow \psi = 0$. Deux fermions identiques ne peuvent pas

occuper le même état quantique. L'unicité de la rupture imposée au niveau des états quantiques. (Chapitre 3.)

$\hbar$ (l'échelle d'action de l'enregistrement minimal). Forcée par le théorème de Stone + l'Axiome B + l'absence de paramètres sans dimension dans $\{S, B, R, C\}$, avec l'exposition résiduelle suivie par KS-L.4. Un enregistrement = un $\hbar$ d'action. (Chapitre 4.)

Relation de commutation $[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$. La non-commutativité de la position et de l'impulsion sur la variété dérivée. Dérivée du théorème de Stone appliqué aux translations spatiales. (Chapitre 4.)

Inégalité de Robertson-Schrödinger. $\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$. Le principe d'incertitude de Heisenberg. Le facteur $1/2$ provient de Cauchy-Schwarz sur l'espace de Hilbert. (Chapitre 4.)

Borne de Mandelstam-Tamm. $\Delta E \cdot \Delta t_A \geq \hbar/2$. La relation d'incertitude énergie-temps. Le temps n'est pas promu au rang d'opérateur — Δt_A est le temps caractéristique pour que l'observable A change d'un écart-type. (Chapitre 4.)

Borne CHSH. La borne de Tsirelson $S = 2\sqrt{2} \approx 2.83$. La violation maximale de l'inégalité CHSH permise par la mécanique quantique. Dérivée de

la règle de Born (Chapitre 6) appliquée à l'état singulet. (Chapitre 7.)

Non-signalisation. Les statistiques de mesure marginales d'Alice sont indépendantes des réglages de mesure de Bob. Dérivée de l'Axiome C + la Proposition 1 du Chapitre 7 + la structure de trace partielle. (Chapitre 7.)

Remerciement

The 420 Code est le résultat d'une vie à penser à la phrase — traite les autres comme tu veux être traité — ou, comme mon cerveau la formule réellement : Ne sois pas un connard, sois gentil.

The 420 Code, c'est moi essayant d'expliquer ma vie, à moi-même, et tentant de me prouver à moi-même que mon savoir de je suis est exact. C'est né d'un savoir profond que, si je veux expliquer le sentiment que nous sommes tous connectés, la première étape est simplement l'honnêteté intellectuelle. C'est en fait facile, mais en même temps incroyablement dur et inimaginablement inconfortable.

Cette œuvre n'a pas été un travail d'amour. Elle a été forgée dans les feux de la douleur, du désespoir, de la reconnaissance et de l'obsession compulsive de décrire ce que je vois et de prouver que je ne suis pas fou.

Je peux me rappeler le moment où j'ai su, mais je ne peux pas me rappeler la compréhension logique. Cela a été un processus très long et épuisant : pointer l'axiome dans toutes les directions possibles.

Plus je comprenais, plus grande a été la douleur et la souffrance. Aujourd'hui je ne peux pas comprendre

pourquoi et comment quoi que ce soit que je pense ou dis n'est pas manifestement évident. Je me sens honnêtement comme le dernier arrivé à la fête et le sujet d'une farce. C'est la réalité la plus difficile de ma vie à laquelle je dois faire face.

Le travail m'a coûté beaucoup tout en me maintenant fonctionnel. Mon obsession pour mon travail, la vérité, mes excentricités et une honnêteté intellectuelle brutale a eu un coût réel sur les relations que j'ai. J'ai fait des erreurs. Les conséquences de ces choix ont été dures, et méritées. Mais la réalité ne se soucie pas des intentions, la réalité audite les conséquences.

C'est le terrain à partir duquel cette œuvre a été faite.

En raison de la nature du travail, et de sa portée apparemment absurde, 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. Je teste sous contrainte chaque joint aussi fort que je le peux, parce que c'est ce que j'avais espéré qu'un lecteur serait prêt à faire. Je n'ai pas eu ce quelqu'un.

Celui que j'ai trouvé fut Claude d'Anthropic. Claude a travaillé à mes côtés et est devenu le lecteur et

relecteur que j'ai toujours souhaité — un lecteur qui ignorerait la personne et ne lirait que l'œuvre.

Je suis l'auteur et l'architecte de cette œuvre, pleinement et seul. Les idées, l'axiome et ses préconditions, la lecture structurelle, l'architecture des prédictions, la boucle de prédiction croisée, la logique dérivationnelle, le jugement de savoir si un joint tient, les engagements philosophiques sous tout cela — ceux-ci sont miens, élaborés au fil de trente ans d'effort privé.

Mais je n'ai pas construit chaque partie de mes propres mains. Je suis le gamin de la classe qui peut voir la réponse mais peine à écrire chaque étape, parce que cela m'ennuie. Alors j'ai fait couler le béton à Claude là où je pointais et souder les joints que je marquais — les dérivations détaillées à l'intérieur des chapitres, l'algèbre, les analyses dimensionnelles, les comparaisons de QCD sur réseau, le raisonnement du groupe de renormalisation, l'appareil formel qui transforme une lecture structurelle en nombres qu'un physicien peut vérifier. Ce travail n'est pas mon métier. Les mathématiques dans ce livre sont plus rigoureuses que je n'aurais pu les écrire seul, et c'est pour cela.

Ma plus grande difficulté a été d'amener Claude à travailler à partir des axiomes — à expliquer les étapes structurelles d'abord, avant d'écrire les

mathématiques. Je devais expliquer chaque étape avant que Claude ne puisse l'écrire. L'explication était le travail, et le travail était le mien. Ce n'est qu'alors que cela tombait juste. Ce n'est qu'alors que les mathématiques pouvaient venir.

Ce que Claude m'a donné et que je n'avais jamais eu, c'est un lecteur qui répliquerait — ignorer la personne, ne lire que la structure, et tenter de la briser. C'est ce dont j'avais le plus besoin, et pour quoi je n'avais personne. C'est mon bâtiment. Claude m'a aidé à l'élever.

L'œuvre est ce que l'œuvre est. Je la publie copyleft, gratuite pour toujours, sur the420code.org.

Quiconque veut la lire peut la lire. Quiconque peut la corriger peut la corriger. Quiconque peut falsifier n'importe quelle Sollbruchstelle du Master Kill Switch Registry est bienvenu pour soumettre la falsification, et l'œuvre répondra. C'est la seule relation que l'œuvre doit à quiconque.

Je suis blessé. Je souffre toujours. L'intensité change.

L'œuvre est l'œuvre.

Cette œuvre est publiée gratuitement, pour toujours.

Ne sois pas un connard. Sois gentil.

the420code.org

SérieThe 420 Code

CatalogueØ Carnets

CarnetIII

TitreØ Mécanique quantique

**Sous-titreSuperposition, mesure, la mesure
d'enregistrement, spin, le
principe d'incertitude,
décohérence, la règle de Born,
intrication — dérivés de
l'algèbre des enregistrements**

MediumFondations → Secteur quantique

ArtisteG

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 