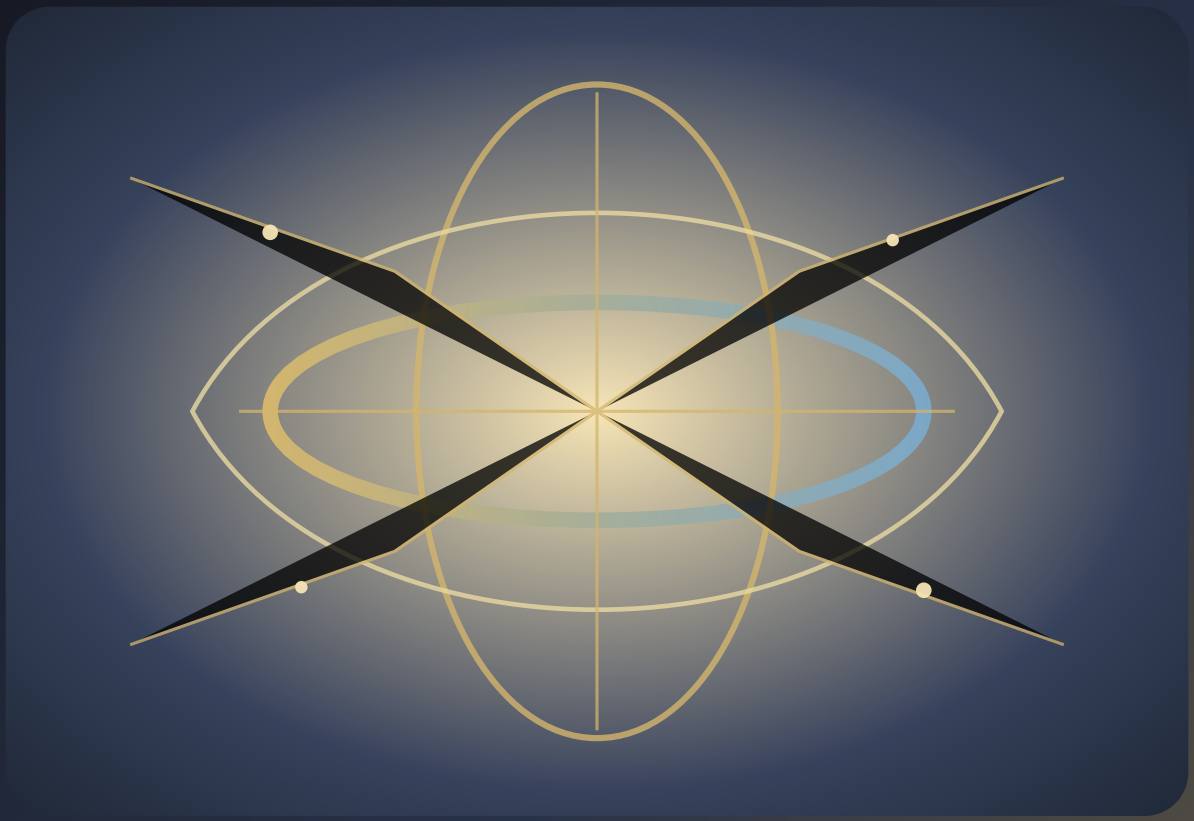
تعقيد ساسكايند من حيث لم يُحسب

الثقوب الدودية، الأكوان المنسوخة، والخرق الاختزالي للهندسات الماكروية



كتاب بحثي عربي مكثف وفق بروتوكول Agentic Research.

صياغة لصالح مشروع: نظرية الوعي والأوعية الفائقة - مع استعمال العدسة التوليدية لا كدليل مثبت.

النسخة الجديدة: مصادر - محكمة هدم - نموذج CGRB - بروتوكولات اختبار - سجل بناء معرفي.

صفحة العنوان

هوية العمل ودرجة الادعاء

هذا الكتاب لا يدعي أنه يثبت وجود ثقب دودي كوني قابل للعبور، ولا أن تجربة معالج كمومي صغيرة ترصد زمكانا حقيقيا. أطروحته أضيق وأقوى: يمكن صياغة خرق اختزالي قابل للاختبار داخل نماذج الجاذبية الكمومية والهولوغرافيا، حين تفشل هندسة الماكرو في وصف قابلية إعادة البناء المعلوماتي التي تكشفها الثقوب الدودية، الجزر، والتعقيد.

الموضوع محصور في فيزياء نظرية قوية: replica wormholes، SYK/JT، CV/CA، ER=EPR، QES، RT/HRT، AdS/CFT، quantum error correction، وقياسات teleportation/OTOC/operator growth. كل ما يخرج عن ذلك يصنف كفرضية توليدية لا كحقيقة.

> **تنبيه:** الخرق هنا اختزالي/هندسي داخل نماذج، لا خرق سببي ولا ممر أسرع من الضوء.

$$\text{Breach} \neq \text{Causality violation}$$

تنبيه منهجي حول مراتب الدليل

الثابت، الراجح، الخلافي، والفرضية

يستعمل الكتاب خمس مراتب. الأولى: نتائج داخل نماذج رياضية محددة، مثل RT/QES في سياقات هولوغرافية. الثانية: ترابطات راجحة داخل مجتمع الجاذبية الكمومية مثل مركزية التشابك في نشوء الهندسة. الثالثة: مسائل خلافية مثل تفرد ازدواجية التعقيد أو دلالة ensemble. الرابعة: فرضيات قابلة للبحث مثل دالة الخرق الاختزالي. الخامسة: عدسات توليدية فلسفية أو معرفية لا يجوز تحويلها إلى دليل فيزيائي.

المرتبة	المعنى	مثال
ثابت داخل نموذج	نتيجة مشتقة من فروض محددة	JT/CFT في QES
راجح علميا	برنامج قوي متعدد الأدلة	الهندسة من التشابك
خلافي	توجد مدارس متنافسة	هل الجاذبية ensemble؟
فرضية	تحتاج تجربة/محاكاة	CGRB breach functional
عدسة توليدية	تولد أسئلة ولا تثبت نتائج	MCD والتراكب الوعائي

الفهرس التفصيلي 1

الأبواب والوظائف المعرفية

الفهرس ليس قائمة عناوين؛ إنه مسار تفكيك. يبدأ من ضبط معنى الهندسة والتعقيد، ينتقل إلى تاريخ المسألة، ثم إلى ساسكايند ومالديسينا، ثم إلى replica wormholes، ثم يبني دالة الخرق ويختبرها بمحكمة هدم.

الباب	وظيفته
الباب الأول: ضبط المسألة	من الهندسة تخلفية إلى الهندسة كترميز
الباب الثاني: النسب العلمي للمسألة	من آينشتاين-روزن إلى AdS/CFT وER=EPR
الباب الثالث: تعقيد ساسكايند	CV وCA والداخل المحمي بالتعقيد
الباب الرابع: أعمال مالديسينا كعمود فقري	AdS/CFT، ER=EPR، nearly-AdS2، والجزر
الباب الخامس: الأكوان المنسوخة والثقوب الدودية المنسوخة	Replica trick كسكين في جلد الهندسة
الباب السادس: صياغة الخرق الاختزالي	ما الذي يعنيه أن تخترق الثقوب الدودية هندسات الماكرو؟

الفهرس التفصيلي 2

من الفورماليزم إلى الاختبار

الأبواب الأخيرة تنقل الأطروحة من لغة الكونيات النظرية إلى بروتوكولات قابلة للفشل. لا يكفي أن نقول إن التشابك يصنع جسرا؛ يجب تحديد أي قياس يميز ذلك عن تليبورت عادي أو نموذج صغير مدرب.

الباب	وظيفته
الباب السابع: الفورماليزم المقترح	متغيرات، حدود، ودالة خرق
الباب الثامن: برنامج التجريب	من SYK إلى المعالج الكمومي إلى شبكات التصحيح
الباب التاسع: مقارنة المدارس	الهندسة، المعلومة، التعقيد، والواقعية
الباب العاشر: النموذج الجديد	نموذج الخرق الاختزالي المحكوم بالتعقيد CGRB
الباب الحادي عشر: محكمة الهدم والنسخة الأقوى	تفنيد، تعديل، وبرنامج مستقبل

ملخص تنفيذي 1

الأطروحة في سطر

الثقوب الدودية في الهولوغرافيا لا تضيف ممرا سحريا إلى الماكروفيزياء؛ بل تكشف أن بعض الحدود الماكروية - داخل/خارج، بعيد/قريب، متاح/محجوب - هي حدود اختزالية تعتمد على القناة والتعقيد.

تسمى الأطروحة الجديدة في هذا الكتاب: **نموذج الخرق الاختزالي المحكوم بالتعقيد** CGRB. ومعناه أن الماكرو-هندسة قد تكون وصفا صحيحا محليا، لكنها تفقد اكتمالها عندما تظهر قناة إعادة بناء ذات توقيع تعقيدي/تشابكي لا يمكن اختزالها إلى مسافة كلاسيكية أو إلى تليبورت عادي.

بروتوكول الاختبار لا يبحث عن ثقب دودي في السماء؛ بل عن حزمة مؤشرات في نموذج قابل للقياس: OTOC، fidelity، entanglement wedge transition، thermalization، operator-size winding، ومقاومة null models.

> **قاعدة تنفيذية:** لا إعلان بلا null model.

$$\Delta_{\text{breach}} = A_{\text{ch}}\, I_{\text{rec}} - \lambda C_{\text{gate}} - \mu D_{\text{macro}}$$

ملخص تنفيذي 2

لماذا ساسكايند؟

لأن CV/CA جعلا داخل الثقب الأسود يتصرف ككمية تعقيدية نامية. عند هذه النقطة لا تعود الهندسة مجرد شكل؛ تصبح واجهة قياس لتعقيد state preparation وإعادة البناء.

تسمى الأطروحة الجديدة في هذا الكتاب: **نموذج الخرق الاختزالي المحكوم بالتعقيد** CGRB. ومعناه أن الماكرو-هندسة قد تكون وصفا صحيحا محليا، لكنها تفقد اكتمالها عندما تظهر قناة إعادة بناء ذات توقيع تعقيدي/تشابكي لا يمكن اختزالها إلى مسافة كلاسيكية أو إلى تليبورت عادي.

بروتوكول الاختبار لا يبحث عن ثقب دودي في السماء؛ بل عن حزمة مؤشرات في نموذج قابل للقياس: OTOC، fidelity، entanglement wedge transition، thermalization، operator-size winding، ومقاومة null models.

> **قاعدة تنفيذية:** لا ثقب دودي بلا فوضى وتعقيد.

$$\mathcal{B} > 0 \Rightarrow \text{reduction breach} \neq \text{causal breach}$$

ملخص تنفيذي 3

لماذا مالديسينا؟

لأن AdS/CFT وER=EPR وnearly-AdS2 وقاعدة الجزر توفر سلسلة واحدة: من القاموس الهولوغرافي إلى قابلية جعل الجسر ديناميكيا إلى إعادة موضعة الداخل داخل إشعاع هوكينغ.

تسمى الأطروحة الجديدة في هذا الكتاب: **نموذج الخرق الاختزالي المحكوم بالتعقيد** CGRB. ومعناه أن الماكرو-هندسة قد تكون وصفا صحيحا محليا، لكنها تفقد اكتمالها عندما تظهر قناة إعادة بناء ذات توقيع تعقيدي/تشابكي لا يمكن اختزالها إلى مسافة كلاسيكية أو إلى تليبورت عادي.

بروتوكول الاختبار لا يبحث عن ثقب دودي في السماء؛ بل عن حزمة مؤشرات في نموذج قابل للقياس: OTOC، fidelity، entanglement wedge transition، thermalization، operator-size winding، ومقاومة null models.

> **قاعدة تنفيذية:** لا خرق بلا فرق بين macro constraint وchannel access.

$$t_* \sim \frac{\beta}{2\pi} \log S_{\mathrm{BH}}$$

ملخص تنفيذي 4

لماذا replica universes؟

لأن النسخ في طريقة replica trick كانت في الأصل أداة حسابية؛ ظهور سروج wormhole بينها يعني أن الحساب نفسه يرفض الفصل الماكروي بين النسخ عندما نحسب الإنتروبيا الدقيقة.

تسمى الأطروحة الجديدة في هذا الكتاب: **نموذج الخرق الاختزالي المحكوم بالتعقيد** CGRB. ومعناه أن الماكرو-هندسة قد تكون وصفا صحيحا محليا، لكنها تفقد اكتمالها عندما تظهر قناة إعادة بناء ذات توقيع تعقيدي/تشابكي لا يمكن اختزالها إلى مسافة كلاسيكية أو إلى تليبورت عادي.

بروتوكول الاختبار لا يبحث عن ثقب دودي في السماء؛ بل عن حزمة مؤشرات في نموذج قابل للقياس: OTOC، fidelity، entanglement wedge transition، thermalization، operator-size winding، ومقاومة null models.

> **قاعدة تنفيذية:** لا يقين خارج نموذج.

$$S(R) = \min_{I} \operatorname{ext}_{I}\left[\frac{\mathrm{Area}(\partial I)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}}(R \cup I)\right]$$

سجل البحث: بروتوكول جمع المصادر

كيف تم بناء قاعدة الاعتماد

تم ترتيب المصادر حسب أثرها البنيوي لا حسب شهرتها. الورقة التأسيسية لا تعني أنها وحدها تكفي؛ بل أنها تغير موضع السؤال. أما الورقة النقدية فتدخل في متن النموذج لا في الهامش: نقد Kobrin-Schuster-Yao للتجربة الكمومية، ونقد ensemble عند Marolf-Maxfield، يحددان سقف الادعاء التجريبي.

ER=EPR	RT/QES	AdS/CFT
Replica	SYK/JT	CV/CA
Critique	NISQ	QEC
		CGRB

مبدأ الاعتماد: كل مصدر استعمل لأنه يضيف آلية: قاموس، سطح، قناة، تعقيد، نقد، أو بروتوكول اختبار.

جدول المصادر المركزي 1

درجة الاعتماد وموقع الاستخدام

رمز	المؤلف	المصدر	سنة	اعتماد	إضافة
S1	Juan Maldacena	The Large N Limit of Superconformal Field Theories and Supergravity	1997/1998	تأسيسي	أصل AdS/CFT: قاموس الحدود/الحجم، وشرط إمكان قراءة الهندسة كترميز كمومي.
S2	Ryu & Takayanagi	Holographic Derivation of Entanglement Entropy from AdS/CFT	2006	تأسيسي	ربط مساحة السطح الأدنى بالإنتروبيا؛ المدخل الهندسي إلى المعلومة.
S3	Mark Van Raamsdonk	Building up spacetime with quantum entanglement	2010	قوي	فكرة أن الاتصال الهندسي يتبدل بتبدل التشابك.
S4	& Maldacena Susskind	Cool horizons for entangled black holes	2013	تأسيسي	ER=EPR: الجسر ليس ممرا كلاسيكيا، بل قراءة هندسية للتشابك.
S5	Leonard Susskind	Computational Complexity and Black Hole Horizons	2014	تأسيسي	إدخال التعقيد كمتغير يحمي الأفق ويعيد تعريف الداخل.

جدول المصادر المركزي 2

درجة الاعتماد وموقع الاستخدام

رمز	المؤلف	المصدر	سنة	اعتماد	إضافة
S6	Stanford & Susskind	Complexity and Shock Wave Geometries	2014	تأسيسي	CV: حجم جسر آينشتاين-روزن كمرآة لتعقيد الحالة الحدية.
S7	Brown, Roberts, Susskind, Swingle, Zhao	Complexity Equals Action / Complexity Action, and Black Holes	2015/2016	تأسيسي	CA: فعل Wheeler-DeWitt patch كمرشح أدق للتعقيد.
S8	Almheiri, Dong, Harlow	Bulk Locality and Quantum Error Correction in AdS/CFT	2014/2015	تأسيسي	الموضعية المجمية تخاصية تصحيح خطأ لا كمعطى كلاسيكي.
S9	Pastawski, Yoshida, Harlow, Preskill	Holographic quantum error-correcting codes	2015	قوي	نموذج toy يبين تكرار تمثيل المؤثر المجمي على مناطق حدية متعددة.
S10	Gao, Jafferis, Wall	Traversable Wormholes via a Double Trace Deformation	2016/2017	تأسيسي	قابلية عبور مشروطة بارتباط حدودي وبطاقة سالبة فعالة، دون انتهاك السببية.

جدول المصادر المركزي 3

درجة الاعتماد وموقع الاستخدام

رمز	المؤلف	المصدر	سنة	اعتماد	إضافة
S11	Maldacena, Stanford, Yang	Diving into traversable wormholes	2017	قوي	تفسير عبور الثقب الدودي كتليبورت كمومي مضبوط في nearly-AdS2/SYK.
S12	Harlow	Jerusalem Lectures on Black Holes and Quantum Information	2014/2016	قوي	خلفية مفصلة عن المعلومات، الجدران النارية، والهولوغرافيا.
S13	Penington	Entanglement Wedge Reconstruction and the Information Paradox	2019/2020	تأسيسي	الجزر وPage curve عبر إعادة بناء wedge الإشعاع.
S14	Almheiri, Engelhardt, Marolf, Maxfield	The entropy of bulk quantum fields...	2019	تأسيسي	QES وتحول Page في نماذج JT مع حوض إشعاعي.
S15	Almheiri, Mahajan, Maldacena, Zhao	The Page curve of Hawking radiation from semiclassical geometry	2019/2020	تأسيسي	قاعدة الجزر: تعميم حساب الإنتروبيا عندما يتشابك نظام جاذبي مع غير جاذبي.

جدول المصادر المركزي 4

درجة الاعتماد وموقع الاستخدام

رمز	المؤلف	المصدر	سنة	اعتماد	إضافة
S16	Almheiri, Hartman, Maldacena, Shaghoulian, Tajdini	Replica Wormholes and the Entropy of Hawking Radiation	2019/2020	تأسيسي	الثقوب الدودية المنسوخة كسروج في path integral تقود إلى island rule.
S17	Penington, Shenker, Stanford, Yang	Replica wormholes and the black hole interior	2019	تأسيسي	تسويغ replica trick عبر طوبولوجيات متعددة وتفسير Petz map.
S18	Marolf & Maxfield	Transcending the ensemble	2020	نقدي/قوي	مشكلة ensemble/baby universes والتمييز بين نظرية فردية ومتوسط نظريات.
S19	Nielsen	Quantum Computation as Geometry	2006	قوي	التعقيد كجيوديسيا في فضاء تحكم؛ أساس هندسة التعقيد قبل الهولوغرافيا.
S20	Sachdev	SYK reviews and black-hole connections	2023	قوي	SYK كنموذج فوضى كمومية ومعدن غريب وblack-hole toy model.

جدول المصادر المركزي 5

درجة الاعتماد وموقع الاستخدام

رمز	المؤلف	المصدر	سنة	اعتماد	إضافة
S21	Jafferis et al.	Traversable wormhole dynamics on a quantum processor	2022	تطبيقي	تنفيذ بروتوكول تليبورت مشبه للثقب الدودي على 9 كيوبتات؛ دليل toy لا رصد كوني.
S22	Kobrin, Schuster, Yao	Comment on Traversable wormhole dynamics...	2023	نقدي	يبين حدود ادعاء التجربة: التعلم، النماذج الصغيرة، عدم تعميم thermalization.
S23	Jafferis et al.	Comment on Comment...	2023	نقدي	توضيح حدود البروتوكول ومعنى gravitational teleportation.
S24	Belin et al.	Complexity equals anything	2021-2024	إشكالي	يوسع ازدواجيات التعقيد ويكشف عدم تفرد المرشح الحجمي.
S25	Susskind	Complexity and Newton's Laws / Complexity and Momentum	2019-2021	مساعد	العلاقة بين نمو المؤثرات والزخم والجاذبية كميل للتعقيد.

Anti-Summary

ما لا تقوله المصادر حين تقرأ معا

المصادر الكبرى تقول إن التشابك والهندسة والتعقيد مترابطة، لكنها لا تعطي غالبا معيارا تشغيليا واحدا يقرر متى نقول إن هندسة الماكرو قد خُرقت اختزاليا. هنا يبدأ عمل الكتاب: تحويل الشعارات الثلاثة - complexity، entanglement builds geometry، islands restore unitarity، grows interior - إلى دالة اختبارية.

نقطة العمى الأولى: الانتقال من النموذج الهولوغرافي إلى عالمنا ليس مضموناً. نقطة العمى الثانية: قابلية التليبورت لا تكفي لكي نسمي الديناميكا ثقبا دوديًا. نقطة العمى الثالثة: حساب path integral قد يحمل معنى ensemble لا معنى نظرية فردية. نقطة العمى الرابعة: التعقيد نفسه ليس observable محليا بسيطا.

> **تمييز حاسم:** الكتاب لا يساوي بين "نجاح بروتوكول تليبورت" و"عبور ثقب دودي". المساواة المقبولة مشروطة ببصمة فوضى، نمو مؤثرات، وسياق هولوغرافي مضبوط.

$$\text{Teleportation} + \text{Chaos} + \text{QES/ERB dictionary} \Rightarrow \text{wormhole-like channel}$$

جدول الثابت والراجح والخلافي 1

مراتب المعرفة في قلب الكتاب

العنصر	المرتبة	الحد
AdS/CFT	قوي داخل عائلة AdS/CFT	ليس برهانا مباشرا لعالم de Sitter
RT/HRT/QES	نتائج مركزية في الهولوغرافيا	تحتاج شروط حدودية ونطاق صحة
ER=EPR	فرضية قوية توليدية	ليست كل EPR قناة عبور
CV/CA	ازدواجيات مؤثرة	عدم التفرد وصعوبة تعريف التعقيد

جدول الثابت والراجح والخلافي 2

أين يبدأ الإبداع وأين يتوقف الدليل

العنصر	المرتبة	الحد
Replica wormholes	ثابت داخل حسابات محددة	دلالة ensemble محل نقاش
تجربة 2022	محاكاة toy على NISQ	ليست رصدا لثقب دودي كوني
CGRB	فرضية الكتاب	تحتاج benchmark جديد
الخرق الاختزالي	تعريف تشغيلي	لا يساوي خرق السببية

الباب الأول: ضبط المسألة

من الهندسة تكلفية إلى الهندسة كترميز

لا يبدأ الخرق من إنكار النسبية العامة، بل من تحديد مجال صلاحيتها: النسبية تصف هندسة فعالة عندما تكون طبقات الترميز الكمومي قابلة للضغط إلى متغيرات ناعمة.

ما نسميه هندسة ماكروية هو نظام إحداثيات مستقر فوق معلومات كثيرة. فإذا تغير شرط قراءة المعلومات، لا يلزم أن تتغير القوانين المحلية؛ بل يتغير ما يجوز اعتباره موضعا، داخلا، أو خارجا.

الحدود والحجم	الاختزال	الهندسة الماكروية
مقياس التعقيد	التشابك	القناة
الإتاحة العملية		

قاعدة الباب: لا تؤخذ المفاهيم هنا كأسماء، بل كعمليات: كل مفهوم يحدد قناة، كلفة، أو حد صلاحية.

$$C_V(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{V(\Sigma_{\max})}{G_N L}$$

الباب الأول: ضبط المسألة

مقطع 1: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب سطح كمومي متطرف معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **الاختزال** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

تمييز: الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$S(A) = \frac{\mathrm{Area}(\gamma_A)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}} + \cdots$$

نقطة هدم: قد يكون path integral يحسب متوسطا لا نظرية فردية

مصدر مرتبط: S4.

الباب الأول: ضبط المسألة

مقطع 2: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان الحدود والحجم يمثل البنية، فإن التشابك يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$S(R) = \min_{I} \operatorname{ext}_{I}\left[\frac{\mathrm{Area}(\partial I)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}}(R \cup I)\right]$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر قناة إعادة بناء مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد لا توجد observable مباشرة للهندسة الداخلية. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S5.

الباب الأول: ضبط المسألة

مقطع 3: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة القناة ومقياس التعقيد كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$H_{\mathrm{int}}(t) = g(t)\, O_L(t) O_R(t)$$

اختبار اختبار الاستقرار تحت perturbation يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S6.

الباب الأول: ضبط المسألة

مقطع 4: اعتراض المدرسة المنافسة

ستقول المدرسة المتحفظة إن حجم مؤثر ليس أكثر من طريقة حسابية، وإن استعمال لغة الثقب الدودي يضخم نتيجة في نموذج toy. هذا الاعتراض صحيح جزئيا؛ لذلك يضع الكتاب معيارين: منع الانتقال من التشبيه إلى الوجود، ومن مؤشر واحد إلى إعلان.

الجواب ليس أن ننفي الاعتراض، بل أن نحوله إلى بروتوكول. إذا كان التفسير البديل يكفي، يسقط ادعاء الخرق. وإذا احتجنا حزمة من التشابك، التعقيد، الفوضى، والتحول السطحي، يصير لدينا مرشح علمي لا استعارة.

الاعتراض: قد يكون path integral يحسب متوسطا لا نظرية فردية

قاعدة الرد: لذلك نستخدم معيارا فارقا لا مرشحا هندسيا واحدا

$$F_{\mathrm{OTOC}}(t) = \langle W(t)V(0)W(t)V(0)\rangle$$

في هذا السياق، يصبح التشابك حدًّ صلاحية، ويصبح الإتاحة العملية متغيرَ انتقال. لا يهم الاسم بقدر ما يهم: هل يتغير القياس عندما نفتح القناة؟

مصدر مرتبط: S7.

الباب الأول: ضبط المسألة

مقطع 5: تركيب الباب الجزئي

نصل هنا إلى تركيب جزئي: ليست المسألة هل يوجد ثقب دودي بالمعنى الخيالي، بل هل توجد بنية معلوماتية تجعل وصفا هندسيا ماكرويا ناقصا عند حساب observable معين. هذا النقص هو الخرق الاختزالي.

العنصر	القيمة	الدور
المتغير	مقياس التعقيد	يعطي بنية القراءة
القناة	الهندسة الماكروية	تحدد الإتاحة
الكلفة	معامل OTOC	تفصل الممكن النظري عن الممكن العملي
الاختبار	فحص finite-size effects	يقيم قابلية التفنيد

إذا تعاملنا مع مقياس التعقيد كمتغير هندسي ومع الهندسة الماكروية كمتغير قنوي، فالعلاقة بينهما لا تحسم بالخطاب بل بقياس التحول عند التلاعب بالديناميكا. لذلك يربط الكتاب بين CA/CV وQES وOTOC لا لأنها متطابقة، بل لأنها تقيس وجوها مختلفة من نفس الفجوة.

$$\Delta_{\mathrm{breach}} = A_{\mathrm{ch}}\, I_{\mathrm{rec}} - \lambda C_{\mathrm{gate}} - \mu D_{\mathrm{macro}}$$

خلاصة: كل باب ينتهي بقاعدة: لا هندسة بلا قاموس، لا قاموس بلا قناة، لا قناة بلا كلفة، ولا إعلان بلا معيار تفنيد.

مصدر مرتبط: S8.

الباب الأول: ضبط المسألة

مقطع 6: من الإتاحة العملية إلى الاختزال

لا يبدأ الخرق من إنكار النسبية العامة، بل من تحديد مجال صلاحيتها: النسبية تصف هندسة فعالة عندما تكون طبقات الترميز الكمومي قابلة للضغط إلى متغيرات ناعمة.

إذا استعملنا مفهوم **الإتاحة العملية** بوصفه متغيرا لا شعارا، فإن سؤال الباب يصبح: ما الذي يتغير في قراءة **الاختزال** عندما تدخل كلفة التعقيد في قاموس الهندسة؟ هنا يظهر فعل رقعة Wheeler-DeWitt لا كزينة رياضية، بل كأداة تقيس الفرق بين ما تقوله صورة الماكرو وما تسمح به القناة الدقيقة.

القراءة الماكروية تنزع إلى ضغط كل شيء في سطح أو مسافة أو أفق. أما القراءة الهولوغرافية فتعامل السطح كحد إعادة بناء. الفرق بين القراءتين هو موقع الخرق الاختزالي: ليس لأن النسبية تنهار، بل لأن توصيفها لا يحمل كل معلومات code subspace.

$$\mathcal{B} > 0 \Rightarrow \text{reduction breach} \neq \text{causal breach}$$

اختبار جزئي: نطبق القياس العددي ثم نقارن المؤشر مع نموذج عشوائي ونموذج قابل للتكامل؛ إذا بقي الفرق بعد perturbations صار مرشحا لخرق اختزالي لا لضجيج عددي.

اعتراض: قد تكون الازدواجية غير فريدة لأن complexity equals anything يضعف التفرد؛ والجواب المنهجي: لذلك نستخدم معيارا فارقا لا مرشحا هندسيا واحدا

مصدر مرتبط: S9.

الباب الأول: ضبط المسألة

مقطع 7: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب ويدج التشابك معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **الهندسة الماكروية** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

تمييز: الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$t_* \sim \frac{\beta}{2\pi} \log S_{\mathrm{BH}}$$

نقطة هدم: قد يكون path integral يحسب متوسطا لا نظرية فردية

مصدر مرتبط: S10.

الباب الأول: ضبط المسألة

مقطع 8: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان الاختزال يمثل البنية، فإن القناة يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$\frac{dC}{dt} \lesssim \frac{2M}{\pi \hbar}$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر منحنى Page مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد لا توجد observable مباشرة للهندسة الداخلية. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S11.

الباب الأول: ضبط المسألة

مقطع 9: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة الحدود والحجم والتشابك كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$C_V(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{V(\Sigma_{\max})}{G_N L}$$

اختبار المقارنة مع null model يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S12.

الباب الأول: ضبط المسألة

مقطع 10: اعتراض المدرسة المنافسة

ستقول المدرسة المتحفظة إن كود تصحيح خطأ ليس أكثر من طريقة حسابية، وإن استعمال لغة الثقب الدودي يضخم نتيجة في نموذج toy. هذا الاعتراض صحيح جزئيا؛ لذلك يضع الكتاب معيارين: منع الانتقال من التشبيه إلى الوجود، ومن مؤشر واحد إلى إعلان.

الجواب ليس أن ننفي الاعتراض، بل أن نحوله إلى بروتوكول. إذا كان التفسير البديل يكفي، يسقط ادعاء الخرق. وإذا احتجنا حزمة من التشابك، التعقيد، الفوضى، والتحول السطحي، يصير لدينا مرشح علمي لا استعارة.

الاعتراض: قد يكون path integral يحسب متوسطا لا نظرية فردية

قاعدة الرد: لذلك نستخدم معيارا فارقا لا مرشحا هندسيا واحدا

$$C_A(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{I_{\mathrm{WDW}}}{\pi\hbar}$$

في هذا السياق، يصبح القناة حدًّ صلاحية، ويصبح مقياس التعقيد متغيرَ انتقال. لا يهم الاسم بقدر ما يهم: هل يتغير القياس عندما نفتح القناة؟

مصدر مرتبط: S13.

الباب الأول: ضبط المسألة

مقطع 11: تركيب الباب الجزئي

نصل هنا إلى تركيب جزئي: ليست المسألة هل يوجد ثقب دودي بالمعنى الخيالي، بل هل توجد بنية معلوماتية تجعل وصفا هندسيا ماكرويا ناقصا عند حساب observable معين. هذا النقص هو الخرق الاختزالي.

العنصر	القيمة	الدور
المتغير	التشابك	يعطي بنية القراءة
القناة	الإتاحة العملية	تحدد الإتاحة
الكلفة	سطح كموي متطرف	تفصل الممكن النظري عن الممكن العملي
الاختبار	اختبار الاستقرار تحت perturbation	يقيم قابلية التفنيد

إذا تعاملنا مع التشابك كمتغير هندسي ومع الإتاحة العملية كمتغير قنوي، فالعلاقة بينهما لا تحسم بالخطاب بل بقياس التحول عند التلاعب بالديناميكا. لذلك يربط الكتاب بين CA/CV وQES وOTOC لا لأنها متطابقة، بل لأنها تقيس وجوها مختلفة من نفس الفجوة.

$$S(A) = \frac{\mathrm{Area}(\gamma_A)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}} + \cdots$$

خلاصة: كل باب ينتهي بقاعدة: لا هندسة بلا قاموس، لا قاموس بلا قناة، لا قناة بلا كلفة، ولا إعلان بلا معيار تفنيد.

مصدر مرتبط: S14.

الباب الأول: ضبط المسألة

مقطع 12: من مقياس التعقيد إلى الهندسة الماكروية

لا يبدأ الخرق من إنكار النسبية العامة، بل من تحديد مجال صلاحيتها: النسبية تصف هندسة فعالة عندما تكون طبقات الترميز الكمومي قابلة للضغط إلى متغيرات ناعمة.

إذا استعملنا مفهوم **مقياس التعقيد** بوصفه متغيرا لا شعارا، فإن سؤال الباب يصبح: ما الذي يتغير في قراءة **الهندسة الماكروية** عندما تدخل كلفة التعقيد في قاموس الهندسة؟ هنا يظهر قناة إعادة بناء لا كزينة رياضية، بل كأداة تقيس الفرق بين ما تقوله صورة الماكرو وما تسمح به القناة الدقيقة.

القراءة الماكروية تنزع إلى ضغط كل شيء في سطح أو مسافة أو أفق. أما القراءة الهولوغرافية فتعامل السطح كحد إعادة بناء. الفرق بين القراءتين هو موقع الخرق الاختزالي: ليس لأن النسبية تنهار، بل لأن توصيفها لا يحمل كل معلومات code subspace.

$$S(R) = \min_{I} \operatorname{ext}_{I}\left[\frac{\mathrm{Area}(\partial I)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}}(R \cup I)\right]$$

اختبار جزئي: نطبق التوسع في N/1 ثم نقارن المؤشر مع نموذج عشوائي ونموذج قابل للتكامل؛ إذا بقي الفرق بعد perturbations صار مرشحا لخرق اختزالي لا لضجيج عددي.

اعتراض: قد تكون الازدواجية غير فريدة لأن complexity equals anything يضعف التفرد؛ والجواب المنهجي: لذلك نستخدم معيارا فارقا لا مرشحا هندسيا واحدا

مصدر مرتبط: S15.

الباب الأول: ضبط المسألة

مقطع 13: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب هاملتونيان مزدوج الأثر معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **الإتاحة العملية** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

تمييز: الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$H_{\text{int}}(t) = g(t)\, O_L(t) O_R(t)$$

نقطة هدم: قد يكون path integral يحسب متوسطا لا نظرية فردية

مصدر مرتبط: S16.

الباب الثاني: النسب العلمي للمسألة

من آينشتاين-روزن إلى AdS/CFT وER=EPR

تاريخ المسألة ليس خطا واحدا؛ إنه تقاطع بين هندسة كلاسيكية، أزمة معلومات، وحوسبة كمومية. كل مرحلة أزاحت مركز السؤال من: أين يقع الداخل؟ إلى: من يملك مفاتيح إعادة بنائه؟

AdS/CFT لم يكتف بجعل الجاذبية مكافئة لنظرية حدودية؛ بل جعل المكان نفسه نتيجة لقاموس ترميزي. لذلك صار السؤال عن الثقب الدودي سؤالا عن نمط تمثيل لا عن أنبوب في فضاء نيوتني.

Hawking radiation	**EPR**	**Einstein-Rosen bridge**
entanglement wedge	**RT**	**AdS/CFT**
		firewall

قاعدة الباب: لا تؤخذ المفاهيم هنا كأسماء، بل كعمليات: كل مفهوم يحدد قناة، كلفة، أو حد صلاحية.

$$C_A(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{I_{\mathrm{WDW}}}{\pi\hbar}$$

الباب الثاني: النسب العلمي للمسألة

مقطع 1: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب قناة إعادة بناء معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **EPR** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

تمييز: الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$S(R) = \min_{I} \operatorname{ext}_{I}\left[\frac{\mathrm{Area}(\partial I)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}}(R \cup I)\right]$$

نقطة هدم: قد يخفي coarse-graining افتراضا لا يمكن اختباره

مصدر مرتبط: S6.

الباب الثاني: النسب العلمي للمسألة

مقطع 2: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان Hawking radiation يمثل البنية، فإن RT يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$H_{\text{int}}(t) = g(t)\, O_L(t) O_R(t)$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر هاملتونيان مزدوج الأثر مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد يكون المؤشر أثرا لنموذج صغير لا لثقب دودي. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S7.

الباب الثاني: النسب العلمي للمسألة

مقطع 3: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة AdS/CFT وentanglement wedge كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$F_{\mathrm{OTOC}}(t) = \langle W(t)V(0)W(t)V(0)\rangle$$

اختبار فحص finite-size effects يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S8.

الباب الثاني: النسب العلمي للمسألة

مقطع 4: اعتراض المدرسة المنافسة

ستقول المدرسة المتحفظة إن معامل OTOC ليس أكثر من طريقة حسابية، وإن استعمال لغة الثقب الدودي يضخم نتيجة في نموذج toy. هذا الاعتراض صحيح جزئيا؛ لذلك يضع الكتاب معيارين: منع الانتقال من التشبيه إلى الوجود، ومن مؤشر واحد إلى إعلان.

الجواب ليس أن ننفي الاعتراض، بل أن نحوله إلى بروتوكول. إذا كان التفسير البديل يكفي، يسقط ادعاء الخرق. وإذا احتجنا حزمة من التشابك، التعقيد، الفوضى، والتحول السطحي، يصير لدينا مرشح علمي لا استعارة.

الاعتراض: قد يخفي coarse-graining افتراضا لا يمكن اختباره

قاعدة الرد: لذلك نعلن نسخة toy قابلة للتجريب لا رصدا كونيا

$$\Delta_{\mathrm{breach}} = A_{\mathrm{ch}}\, I_{\mathrm{rec}} - \lambda C_{\mathrm{gate}} - \mu D_{\mathrm{macro}}$$

في هذا السياق، يصبح RT حدَّ صلاحية، ويصبح firewall متغيرَ انتقال. لا يهم الاسم بقدر ما يهم: هل يتغير القياس عندما نفتح القناة؟

مصدر مرتبط: S9.

الباب الثاني: النسب العلمي للمسألة

مقطع 5: تركيب الباب الجزئي

نصل هنا إلى تركيب جزئي: ليست المسألة هل يوجد ثقب دودي بالمعنى الخيالي، بل هل توجد بنية معلوماتية تجعل وصفا هندسيا ماكرويا ناقصا عند حساب observable معين. هذا النقص هو الخرق الاختزالي.

العنصر	القيمة	الدور
المتغير	entanglement wedge	يعطي بنية القراءة
القناة	Einstein-Rosen bridge	تحدد الإتاحة
الكلفة	فعل رقعة Wheeler-DeWitt	تفصل الممكن النظري عن الممكن العملي
الاختبار	المحاكاة الكمومية	يقيم قابلية التفنيد

إذا تعاملنا مع entanglement wedge كمتغير هندسي ومع Einstein-Rosen bridge كمتغير قنوي، فالعلاقة بينهما لا تحسم بالخطاب بل بقياس التحول عند التلاعب بالديناميكا. لذلك يربط الكتاب بين CA/CV وQES وOTOC لا لأنها متطابقة، بل لأنها تقيس وجوها مختلفة من نفس الفجوة.

$$\mathcal{B} > 0 \Rightarrow \text{reduction breach} \neq \text{causal breach}$$

خلاصة: كل باب ينتهي بقاعدة: لا هندسة بلا قاموس، لا قاموس بلا قناة، لا قناة بلا كلفة، ولا إعلان بلا معيار تفنيد.

مصدر مرتبط: S10.

الباب الثاني: النسب العلمي للمسألة

مقطع 6: من firewall إلى EPR

تاريخ المسألة ليس خطا واحدا؛ إنه تقاطع بين هندسة كلاسيكية، أزمة معلومات، وحوسبة كمومية. كل مرحلة أزاحت مركز السؤال من: أين يقع الداخل؟ إلى: من يملك مفاتيح إعادة بنائه؟

إذا استعملنا مفهوم **firewall** بوصفه متغيرا لا شعارا، فإن سؤال الباب يصبح: ما الذي يتغير في قراءة **EPR** عندما تدخل كلفة التعقيد في قاموس الهندسة؟ هنا يظهر ويدج التشابك لا كزينة رياضية، بل كأداة تقيس الفرق بين ما تقوله صورة الماكرو وما تسمح به القناة الدقيقة.

القراءة الماكروية تنزع إلى ضغط كل شيء في سطح أو مسافة أو أفق. أما القراءة الهولوغرافية فتعامل السطح كحد إعادة بناء. الفرق بين القراءتين هو موقع الخرق الاختزالي: ليس لأن النسبية تنهار، بل لأن توصيفها لا يحمل كل معلومات code subspace.

$$t_* \sim \frac{\beta}{2\pi} \log S_{\mathrm{BH}}$$

اختبار جزئي: نطبق البرهان داخل toy model ثم نقارن المؤشر مع نموذج عشوائي ونموذج قابل للتكامل؛ إذا بقي الفرق بعد perturbations صار مرشحا لخرق اختزالي لا لضجيج عددي.

اعتراض: قد يعجز النموذج عن تجاوز AdS إلى de Sitter؛ والجواب المنهجي: لذلك نعلن نسخة toy قابلة للتجريب لا رصدا كونيا

مصدر مرتبط: S11.

الباب الثاني: النسب العلمي للمسألة

مقطع 7: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب منحنى Page معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **Einstein-Rosen bridge** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

تمييز: الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$\frac{dC}{dt} \lesssim \frac{2M}{\pi\hbar}$$

نقطة هدم: قد يخفي coarse-graining افتراضا لا يمكن اختباره

مصدر مرتبط: S12.

الباب الثاني: النسب العلمي للمسألة

مقطع 8: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان EPR يمثل البنية، فإن AdS/CFT يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$C_V(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{V(\Sigma_{\max})}{G_N L}$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر مؤثر حجمي مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد يكون المؤشر أثرا لنموذج صغير لا لثقب دودي. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S13.

الباب الثاني: النسب العلمي للمسألة

مقطع 9: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة Hawking radiation وRT كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$C_A(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{I_{\mathrm{WDW}}}{\pi\hbar}$$

اختبار اختبار الاستقرار تحت perturbation يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S14.

الباب الثاني: النسب العلمي للمسألة

مقطع 10: اعتراض المدرسة المنافسة

ستقول المدرسة المتحفظة إن سطح كومي متطرف ليس أكثر من طريقة حسابية، وإن استعمال لغة الثقب الدودي يضخم نتيجة في نموذج toy. هذا الاعتراض صحيح جزئيا؛ لذلك يضع الكتاب معيارين: منع الانتقال من التشبيه إلى الوجود، ومن مؤشر واحد إلى إعلان.

الجواب ليس أن ننفي الاعتراض، بل أن نحوله إلى بروتوكول. إذا كان التفسير البديل يكفي، يسقط ادعاء الخرق. وإذا احتجنا حزمة من التشابك، التعقيد، الفوضى، والتحول السطحي، يصير لدينا مرشح علمي لا استعارة.

الاعتراض: قد يخفي coarse-graining افتراضا لا يمكن اختباره

قاعدة الرد: لذلك نعلن نسخة toy قابلة للتجريب لا رصدا كونيا

$$S(A) = \frac{\mathrm{Area}(\gamma_A)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}} + \cdots$$

في هذا السياق، يصبح AdS/CFT حدَّ صلاحية، ويصبح entanglement wedge متغيرَ انتقال. لا يهم الاسم بقدر ما يهم: هل يتغير القياس عندما نفتح القناة؟

مصدر مرتبط: S15.

الباب الثاني: النسب العلمي للمسألة

مقطع 11: تركيب الباب الجزئي

نصل هنا إلى تركيب جزئي: ليست المسألة هل يوجد ثقب دودي بالمعنى الخيالي، بل هل توجد بنية معلوماتية تجعل وصفا هندسيا ماكرويا ناقصا عند حساب observable معين. هذا النقص هو الخرق الاختزالي.

العنصر	القيمة	الدور
المتغير	RT	يعطي بنية القراءة
القناة	firewall	تحدد الإتاحة
الكلفة	قناة إعادة بناء	تفصل الممكن النظري عن الممكن العملي
الاختبار	فحص finite-size effects	يقيم قابلية التفنيد

إذا تعاملنا مع RT كمتغير هندسي ومع firewall كمتغير قنوي، فالعلاقة بينهما لا تحسم بالخطاب بل بقياس التحول عند التلاعب بالديناميكا. لذلك يربط الكتاب بين CA/CV وQES وOTOC لا لأنها متطابقة، بل لأنها تقيس وجوها مختلفة من نفس الفجوة.

$$S(R) = \min_{I} \operatorname{ext}_{I}\left[\frac{\mathrm{Area}(\partial I)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}}(R \cup I)\right]$$

خلاصة: كل باب ينتهي بقاعدة: لا هندسة بلا قاموس، لا قاموس بلا قناة، لا قناة بلا كلفة، ولا إعلان بلا معيار تفنيد.

مصدر مرتبط: S16.

الباب الثاني: النسب العلمي للمسألة

مقطع 12: من entanglement wedge إلى Einstein-Rosen bridge

تاريخ المسألة ليس خطا واحدا؛ إنه تقاطع بين هندسة كلاسيكية، أزمة معلومات، وحوسبة كمومية. كل مرحلة أزاحت مركز السؤال من: أين يقع الداخل؟ إلى: من يملك مفاتيح إعادة بنائه؟

إذا استعملنا مفهوم **entanglement wedge** بوصفه متغيرا لا شعارا، فإن سؤال الباب يصبح: ما الذي يتغير في قراءة **Einstein-Rosen bridge** عندما تدخل كلفة التعقيد في قاموس الهندسة؟ هنا يظهر هاملتونيان مزدوج الأثر لا كزينة رياضية، بل كأداة تقيس الفرق بين ما تقوله صورة الماكرو وما تسمح به القناة الدقيقة.

القراءة الماكروية تنزع إلى ضغط كل شيء في سطح أو مسافة أو أفق. أما القراءة الهولوغرافية فتعامل السطح كحد إعادة بناء. الفرق بين القراءتين هو موقع الخرق الاختزالي: ليس لأن النسبية تنهار، بل لأن توصيفها لا يحمل كل معلومات code subspace.

$$H_{\text{int}}(t) = g(t)\, O_L(t) O_R(t)$$

اختبار جزئي: نطبق القياس العددي ثم نقارن المؤشر مع نموذج عشوائي ونموذج قابل للتكامل؛ إذا بقي الفرق بعد perturbations صار مرشحا لخرق اختزالي لا لضجيج عددي.

اعتراض: قد يعجز النموذج عن تجاوز AdS إلى de Sitter؛ والجواب المنهجي: لذلك نعلن نسخة toy قابلة للتجريب لا رصدا كونيا

مصدر مرتبط: S17.

الباب الثاني: النسب العلمي للمسألة

مقطع 13: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب حجم مؤثر معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **firewall** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

تمييز: الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$F_{\mathrm{OTOC}}(t) = \langle W(t)V(0)W(t)V(0)\rangle$$

نقطة هدم: قد يخفي coarse-graining افتراضا لا يمكن اختباره

مصدر مرتبط: S18.

الباب الثاني: النسب العلمي للمسألة

مقطع 14: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان Einstein-Rosen bridge يمثل البنية، فإن Hawking radiation يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$\Delta_{\mathrm{breach}} = A_{\mathrm{ch}}\, I_{\mathrm{rec}} - \lambda C_{\mathrm{gate}} - \mu D_{\mathrm{macro}}$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر معامل OTOC مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد يكون المؤشر أثرا لنموذج صغير لا لثقب دودي. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S19.

الباب الثاني: النسب العلمي للمسألة

مقطع 15: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة EPR وAdS/CFT كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$\mathcal{B} > 0 \Rightarrow \text{reduction breach} \neq \text{causal breach}$$

اختبار المقارنة مع null model يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S20.

الباب الثالث: تعقيد ساسكايند

CV وCA والداخل المحمي بالتعقيد

ما لم يحسبه ساسكايند بالكامل ليس التعقيد ذاته، بل أثره الاختزالي: متى يصبح قياس التعقيد كافيا لكسر توصيف ماكروية الهندسة؟

في CV/CA يصبح الداخل الأسود شيئا له معدل نمو يقاس بمتغير معلوماتي. هذه النقلة تفتح الباب لسؤال أقوى: هل تستطيع قناة منخفضة الكلفة نسبيا أن تظهر فرقا بين هندستين متكافئتين ماكرويا؟

CV	**CA**	**switchback**
shock waves	**second law of complexity**	**operator growth**
complexity plateau		

قاعدة الباب: لا تؤخذ المفاهيم هنا كأسماء، بل كعمليات: كل مفهوم يحدد قناة، كلفة، أو حد صلاحية.

$$S(A) = \frac{\mathrm{Area}(\gamma_A)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}} + \cdots$$

الباب الثالث: تعقيد ساسكايند

مقطع 1: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب هاملتونيان مزدوج الأثر معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **CA** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

> **تمييز:** الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$H_{\text{int}}(t) = g(t)\, O_L(t) O_R(t)$$

> **نقطة هدم:** قد لا توجد observable مباشرة للهندسة الداخلية

مصدر مرتبط: S8.

الباب الثالث: تعقيد ساسكايند

مقطع 2: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان switchback يمثل البنية، فإن second law of complexity يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$F_{\mathrm{OTOC}}(t) = \langle W(t)V(0)W(t)V(0)\rangle$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر حجم مؤثر مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لحرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد تكون الازدواجية غير فريدة لأن complexity equals anything يضعف التفرد. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S9.

الباب الثالث: تعقيد ساسكايند

مقطع 3: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة shock waves وoperator growth كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$\Delta_{\text{breach}} = A_{\text{ch}}\, I_{\text{rec}} - \lambda C_{\text{gate}} - \mu D_{\text{macro}}$$

اختبار المحاكاة الكمومية يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S10.

الباب الثالث: تعقيد ساسكايند

مقطع 4: اعتراض المدرسة المنافسة

ستقول المدرسة المتحفظة إن فعل رقعة Wheeler-DeWitt ليس أكثر من طريقة حسابية، وإن استعمال لغة الثقب الدودي يضخم نتيجة في نموذج toy. هذا الاعتراض صحيح جزئيا؛ لذلك يضع الكتاب معيارين: منع الانتقال من التشبيه إلى الوجود، ومن مؤشر واحد إلى إعلان.

الجواب ليس أن ننفي الاعتراض، بل أن نحوله إلى بروتوكول. إذا كان التفسير البديل يكفي، يسقط ادعاء الخرق. وإذا احتجنا حزمة من التشابك، التعقيد، الفوضى، والتحول السطحي، يصير لدينا مرشح علمي لا استعارة.

الاعتراض: قد لا توجد observable مباشرة للهندسة الداخلية

قاعدة الرد: لذلك ندخل ensemble criticism في قلب البروتوكول

$$\mathcal{B} > 0 \Rightarrow \text{reduction breach} \neq \text{causal breach}$$

في هذا السياق، يصبح second law of complexity حدًّا صلاحية، ويصبح complexity plateau متغيرَ انتقال. لا يهم الاسم بقدر ما يهم: هل يتغير القياس عندما نفتح القناة؟

مصدر مرتبط: S11.

الباب الثالث: تعقيد ساسكايند

مقطع 5: تركيب الباب الجزئي

نصل هنا إلى تركيب جزئي: ليست المسألة هل يوجد ثقب دودي بالمعنى الخيالي، بل هل توجد بنية معلوماتية تجعل وصفا هندسيا ماكرويا ناقصا عند حساب observable معين. هذا النقص هو الخرق الاختزالي.

العنصر	القيمة	الدور
المتغير	operator growth	يعطي بنية القراءة
القناة	CV	تحدد الإتاحة
الكلفة	ويدج التشابك	تفصل الممكن النظري عن الممكن العملي
الاختبار	المقارنة مع null model	يقيم قابلية التفنيد

إذا تعاملنا مع operator growth كمتغير هندسي ومع CV كمتغير قنوي، فالعلاقة بينهما لا تحسم بالخطاب بل بقياس التحول عند التلاعب بالديناميكا. لذلك يربط الكتاب بين CA/CV وQES وOTOC لا لأنها متطابقة، بل لأنها تقيس وجوها مختلفة من نفس الفجوة.

$$t_* \sim \frac{\beta}{2\pi} \log S_{\mathrm{BH}}$$

خلاصة: كل باب ينتهي بقاعدة: لا هندسة بلا قاموس، لا قاموس بلا قناة، لا قناة بلا كلفة، ولا إعلان بلا معيار تفنيد.

مصدر مرتبط: S12.

الباب الثالث: تعقيد ساسكايند

مقطع 6: من complexity plateau إلى CA

ما لم يحسبه ساسكايند بالكامل ليس التعقيد ذاته، بل أثره الاختزالي: متى يصبح قياس التعقيد كافيا لكسر توصيف ماكروية الهندسة؟

إذا استعملنا مفهوم **complexity plateau** بوصفه متغيرا لا شعارا، فإن سؤال الباب يصبح: ما الذي يتغير في قراءة **CA** عندما تدخل كلفة التعقيد في قاموس الهندسة؟ هنا يظهر منحنى Page لا كزينة رياضية، بل كأداة تقيس الفرق بين ما تقوله صورة الماكرو وما تسمح به القناة الدقيقة.

القراءة الماكروية تنزع إلى ضغط كل شيء في سطح أو مسافة أو أفق. أما القراءة الهولوغرافية فتعامل السطح كحد إعادة بناء. الفرق بين القراءتين هو موقع الخرق الاختزالي: ليس لأن النسبية تنهار، بل لأن توصيفها لا يحمل كل معلومات code subspace.

$$\frac{dC}{dt} \lesssim \frac{2M}{\pi\hbar}$$

اختبار جزئي: نطبق تحليل الطور ثم نقارن المؤشر مع نموذج عشوائي ونموذج قابل للتكامل؛ إذا بقي الفرق بعد perturbations صار مرشحا لخرق اختزالي لا لضجيج عددي.

اعتراض: قد يكون path integral يحسب متوسطا لا نظرية فردية؛ والجواب المنهجي: لذلك ندخل ensemble criticism في قلب البروتوكول

مصدر مرتبط: S13.

الباب الثالث: تعقيد ساسكايند

مقطع 7: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب مؤثر حجمي معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **CV** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

تمييز: الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$C_V(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{V(\Sigma_{\max})}{G_N L}$$

نقطة هدم: قد لا توجد observable مباشرة للهندسة الداخلية

مصدر مرتبط: S14.

الباب الثالث: تعقيد ساسكايند

مقطع 8: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان CA يمثل البنية، فإن shock waves يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$C_A(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{I_{\mathrm{WDW}}}{\pi\hbar}$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر كود تصحيح خطأ مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد تكون الازدواجية غير فريدة لأن complexity equals anything يضعف التفرد. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S15.

الباب الثالث: تعقيد ساسكايند

مقطع 9: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة switchback وsecond law of complexity كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$S(A) = \frac{\mathrm{Area}(\gamma_A)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}} + \cdots$$

اختبار فحص finite-size effects يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S16.

الباب الثالث: تعقيد ساسكايند

مقطع 10: اعتراض المدرسة المنافسة

ستقول المدرسة المتحفظة إن قناة إعادة بناء ليس أكثر من طريقة حسابية، وإن استعمال لغة الثقب الدودي يضخم نتيجة في نموذج toy. هذا الاعتراض صحيح جزئيا؛ لذلك يضع الكتاب معيارين: منع الانتقال من التشبيه إلى الوجود، ومن مؤشر واحد إلى إعلان.

الجواب ليس أن ننفي الاعتراض، بل أن نحوله إلى بروتوكول. إذا كان التفسير البديل يكفي، يسقط ادعاء الخرق. وإذا احتجنا حزمة من التشابك، التعقيد، الفوضى، والتحول السطحي، يصير لدينا مرشح علمي لا استعارة.

الاعتراض: قد لا توجد observable مباشرة للهندسة الداخلية

قاعدة الرد: لذلك ندخل ensemble criticism في قلب البروتوكول

$$S(R) = \min_{I} \operatorname{ext}_{I}\left[\frac{\mathrm{Area}(\partial I)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}}(R \cup I)\right]$$

في هذا السياق، يصبح shock waves حدًّا صلاحية، ويصبح operator growth متغيرَ انتقال. لا يهم الاسم بقدر ما يهم: هل يتغير القياس عندما نفتح القناة؟

مصدر مرتبط: S17.

الباب الثالث: تعقيد ساسكايند

مقطع 11: تركيب الباب الجزئي

نصل هنا إلى تركيب جزئي: ليست المسألة هل يوجد ثقب دودي بالمعنى الخيالي، بل هل توجد بنية معلوماتية تجعل وصفا هندسيا ماكرويا ناقصا عند حساب observable معين. هذا النقص هو الخرق الاختزالي.

العنصر	القيمة	الدور
المتغير	second law of complexity	يعطي بنية القراءة
القناة	complexity plateau	تحدد الإتاحة
الكلفة	هاملتونيان مزدوج الأثر	تفصل الممكن النظري عن الممكن العملي
الاختبار	المحاكاة الكمومية	يقيم قابلية التفنيد

إذا تعاملنا مع second law of complexity كمتغير هندسي ومع complexity plateau كمتغير قنوي، فالعلاقة بينهما لا تحسم بالخطاب بل بقياس التحول عند التلاعب بالديناميكا. لذلك يربط الكتاب بين CA/CV وQES وOTOC لا لأنها متطابقة، بل لأنها تقيس وجوها مختلفة من نفس الفجوة.

$$H_{\mathrm{int}}(t) = g(t)\, O_L(t) O_R(t)$$

خلاصة: كل باب ينتهي بقاعدة: لا هندسة بلا قاموس، لا قاموس بلا قناة، لا قناة بلا كلفة، ولا إعلان بلا معيار تفنيد.

مصدر مرتبط: S18.

الباب الثالث: تعقيد ساسكايند

مقطع 12: من operator growth إلى CV

ما لم يحسبه ساسكايند بالكامل ليس التعقيد ذاته، بل أثره الاختزالي: متى يصبح قياس التعقيد كافيا لكسر توصيف ماكروية الهندسة؟

إذا استعملنا مفهوم **operator growth** بوصفه متغيرا لا شعارا، فإن سؤال الباب يصبح: ما الذي يتغير في قراءة **CV** عندما تدخل كلفة التعقيد في قاموس الهندسة؟ هنا يظهر حجم مؤثر لا كزينة رياضية، بل كأداة تقيس الفرق بين ما تقوله صورة الماكرو وما تسمح به القناة الدقيقة.

القراءة الماكروية تنزع إلى ضغط كل شيء في سطح أو مسافة أو أفق. أما القراءة الهولوغرافية فتعامل السطح كحد إعادة بناء. الفرق بين القراءتين هو موقع الخرق الاختزالي: ليس لأن النسبية تنهار، بل لأن توصيفها لا يحمل كل معلومات code subspace.

$$F_{\mathrm{OTOC}}(t) = \langle W(t)V(0)W(t)V(0)\rangle$$

اختبار جزئي: نطبق البرهان داخل toy model ثم نقارن المؤشر مع نموذج عشوائي ونموذج قابل للتكامل؛ إذا بقي الفرق بعد perturbations صار مرشحا لخرق اختزالي لا لضجيج عددي.

اعتراض: قد يكون path integral يحسب متوسطا لا نظرية فردية؛ والجواب المنهجي: لذلك ندخل ensemble criticism في قلب البروتوكول

مصدر مرتبط: S19.

الباب الثالث: تعقيد ساسكايند

مقطع 13: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب معامل OTOC معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **complexity plateau** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية، وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

تمييز: الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$\Delta_{\mathrm{breach}} = A_{\mathrm{ch}}\, I_{\mathrm{rec}} - \lambda C_{\mathrm{gate}} - \mu D_{\mathrm{macro}}$$

نقطة هدم: قد لا توجد observable مباشرة للهندسة الداخلية

مصدر مرتبط: S20.

الباب الثالث: تعقيد ساسكايند

مقطع 14: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان CV يمثل البنية، فإن switchback يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$\mathcal{B} > 0 \Rightarrow \text{reduction breach} \neq \text{causal breach}$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر فعل رقعة Wheeler-DeWitt مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد تكون الازدواجية غير فريدة لأن complexity equals anything يضعف التفرد. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S21.

الباب الثالث: تعقيد ساسكايند

مقطع 15: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة CA وshock waves كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$t_* \sim \frac{\beta}{2\pi} \log S_{\mathrm{BH}}$$

اختبار اختبار الاستقرار تحت perturbation يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S22.

الباب الثالث: تعقيد ساسكايند

مقطع 16: اعتراض المدرسة المنافسة

ستقول المدرسة المتحفظة إن منحنى Page ليس أكثر من طريقة حسابية، وإن استعمال لغة الثقب الدودي يضخم نتيجة في نموذج toy. هذا الاعتراض صحيح جزئيا؛ لذلك يضع الكتاب معيارين: منع الانتقال من التشبيه إلى الوجود، ومن مؤشر واحد إلى إعلان.

الجواب ليس أن ننفي الاعتراض، بل أن نحوله إلى بروتوكول. إذا كان التفسير البديل يكفي، يسقط ادعاء الخرق. وإذا احتجنا حزمة من التشابك، التعقيد، الفوضى، والتحول السطحي، يصير لدينا مرشح علمي لا استعارة.

الاعتراض: قد لا توجد observable مباشرة للهندسة الداخلية

قاعدة الرد: لذلك ندخل ensemble criticism في قلب البروتوكول

$$\frac{dC}{dt} \lesssim \frac{2M}{\pi \hbar}$$

في هذا السياق، يصبح switchback حدًّا صلاحية، ويصبح second law of complexity متغيرَ انتقال. لا يهم الاسم بقدر ما يهم: هل يتغير القياس عندما نفتح القناة؟

مصدر مرتبط: S23.

الباب الثالث: تعقيد ساسكايند

مقطع 17: تركيب الباب الجزئي

نصل هنا إلى تركيب جزئي: ليست المسألة هل يوجد ثقب دودي بالمعنى الخيالي، بل هل توجد بنية معلوماتية تجعل وصفا هندسيا ماكرويا ناقصا عند حساب observable معين. هذا النقص هو الخرق الاختزالي.

العنصر	القيمة	الدور
المتغير	shock waves	يعطي بنية القراءة
القناة	operator growth	تحدد الإتاحة
الكلفة	مؤثر حجمي	تفصل الممكن النظري عن الممكن العملي
الاختبار	فحص finite-size effects	يقيم قابلية التفنيد

إذا تعاملنا مع shock waves كمتغير هندسي ومع operator growth كمتغير قنوي، فالعلاقة بينهما لا تحسم بالخطاب بل بقياس التحول عند التلاعب بالديناميكا. لذلك يربط الكتاب بين CA/CV وQES وOTOC لا لأنها متطابقة، بل لأنها تقيس وجوها مختلفة من نفس الفجوة.

$$C_V(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{V(\Sigma_{\max})}{G_N L}$$

خلاصة: كل باب ينتهي بقاعدة: لا هندسة بلا قاموس، لا قاموس بلا قناة، لا قناة بلا كلفة، ولا إعلان بلا معيار تفنيد.

مصدر مرتبط: S24.

الباب الثالث: تعقيد ساسكايند

مقطع 18: من second law of complexity إلى complexity plateau

ما لم يحسبه ساسكايند بالكامل ليس التعقيد ذاته، بل أثره الاختزالي: متى يصبح قياس التعقيد كافيا لكسر توصيف ماكروية الهندسة؟

إذا استعملنا مفهوم **second law of complexity** بوصفه متغيرا لا شعارا، فإن سؤال الباب يصبح: ما الذي يتغير في قراءة **complexity plateau** عندما تدخل كلفة التعقيد في قاموس الهندسة؟ هنا يظهر كود تصحيح خطأ لا كزينة رياضية، بل كأداة تقيس الفرق بين ما تقوله صورة الماكرو وما تسمح به القناة الدقيقة.

القراءة الماكروية تنزع إلى ضغط كل شيء في سطح أو مسافة أو أفق. أما القراءة الهولوغرافية فتعامل السطح كحد إعادة بناء. الفرق بين القراءتين هو موقع الخرق الاختزالي: ليس لأن النسبية تنهار، بل لأن توصيفها لا يحمل كل معلومات code subspace.

$$C_A(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{I_{\mathrm{WDW}}}{\pi\hbar}$$

اختبار جزئي: نطبق القياس العددي ثم نقارن المؤشر مع نموذج عشوائي ونموذج قابل للتكامل؛ إذا بقي الفرق بعد perturbations صار مرشحا لخرق اختزالي لا لضجيج عددي.

اعتراض: قد يكون path integral يحسب متوسطا لا نظرية فردية؛ والجواب المنهجي: لذلك ندخل ensemble criticism في قلب البروتوكول

مصدر مرتبط: S25.

الباب الثالث: تعقيد ساسكايند

مقطع 19: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب سطح كمومي متطرف معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **operator growth** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

تمييز: الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$S(A) = \frac{\mathrm{Area}(\gamma_A)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}} + \cdots$$

نقطة هدم: قد لا توجد observable مباشرة للهندسة الداخلية

مصدر مرتبط: S1.

الباب الرابع: أعمال مالديسينا كعمود فقري

nearly-AdS2، ER=EPR، AdS/CFT، والجزر

مالديسينا حاضر في المسألة من ثلاث جهات: قاموس AdS/CFT، تأويل ER=EPR، ثم مشاركته في تشكل قاعدة الجزر والثقوب الدودية المنسوخة.

قيمة أعمال مالديسينا هنا أنها تمنع تحويل الفكرة إلى استعارة: كل انتقال مفهومي لديه نسخة تقنية في TFD أو JT أو SYK أو RT/QES.

nearly-AdS2	**TFD**	**Maldacena 1997**
Page curve	**island rule**	**SYK**
		teleportation

قاعدة الباب: لا تؤخذ المفاهيم هنا كأسماء، بل كعمليات: كل مفهوم يحدد قناة، كلفة، أو حد صلاحية.

$$S(R) = \min_{I} \operatorname{ext}_{I}\left[\frac{\mathrm{Area}(\partial I)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}}(R \cup I)\right]$$

الباب الرابع: أعمال مالديسينا كعمود فقري

مقطع 1: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب حجم مؤثر معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **TFD** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

تمييز: الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$F_{\mathrm{OTOC}}(t) = \langle W(t)V(0)W(t)V(0)\rangle$$

نقطة هدم: قد يكون المؤشر أثرا لنموذج صغير لا لثقب دودي

مصدر مرتبط: S10.

الباب الرابع: أعمال مالديسينا كعمود فقري

مقطع 2: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان nearly-AdS2 يمثل البنية، فإن island rule يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$\Delta_{\mathrm{breach}} = A_{\mathrm{ch}}\, I_{\mathrm{rec}} - \lambda C_{\mathrm{gate}} - \mu D_{\mathrm{macro}}$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر معامل OTOC مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد يعجز النموذج عن تجاوز AdS إلى de Sitter. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S11.

الباب الرابع: أعمال مالديسينا كعمود فقري

مقطع 3: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة SYK وPage curve كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$\mathcal{B} > 0 \Rightarrow \text{reduction breach} \neq \text{causal breach}$$

اختبار المقارنة مع null model يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S12.

الباب الرابع: أعمال مالديسينا كعمود فقري

مقطع 4: اعتراض المدرسة المنافسة

ستقول المدرسة المتحفظة إن ويدج التشابك ليس أكثر من طريقة حسابية، وإن استعمال لغة الثقب الدودي يضخم نتيجة في نموذج toy. هذا الاعتراض صحيح جزئيا؛ لذلك يضع الكتاب معيارين: منع الانتقال من التشبيه إلى الوجود، ومن مؤشر واحد إلى إعلان.

الجواب ليس أن ننفي الاعتراض، بل أن نحوله إلى بروتوكول. إذا كان التفسير البديل يكفي، يسقط ادعاء الخرق. وإذا احتجنا حزمة من التشابك، التعقيد، الفوضى، والتحول السطحي، يصير لدينا مرشح علمي لا استعارة.

الاعتراض: قد يكون المؤشر أثرا لنموذج صغير لا لثقب دودي

قاعدة الرد: لذلك نفرق بين الخرق الاختزالي والخرق السببي

$$t_* \sim \frac{\beta}{2\pi} \log S_{\mathrm{BH}}$$

في هذا السياق، يصبح island rule حدًّ صلاحية، ويصبح teleportation متغيرَ انتقال. لا يهم الاسم بقدر ما يهم: هل يتغير القياس عندما نفتح القناة؟

مصدر مرتبط: S13.

الباب الرابع: أعمال مالديسينا كعمود فقري

مقطع 5: تركيب الباب الجزئي

نصل هنا إلى تركيب جزئي: ليست المسألة هل يوجد ثقب دودي بالمعنى الخيالي، بل هل توجد بنية معلوماتية تجعل وصفا هندسيا ماكرويا ناقصا عند حساب observable معين. هذا النقص هو الخرق الاختزالي.

العنصر	القيمة	الدور
المتغير	Page curve	يعطي بنية القراءة
القناة	Maldacena 1997	تحدد الإتاحة
الكلفة	منحنى Page	تفصل الممكن النظري عن الممكن العملي
الاختبار	اختبار الاستقرار تحت perturbation	يقيم قابلية التفنيد

إذا تعاملنا مع Page curve كمتغير هندسي ومع Maldacena 1997 كمتغير قنوي، فالعلاقة بينهما لا تحسم بالخطاب بل بقياس التحول عند التلاعب بالديناميكا. لذلك يربط الكتّاب بين CA/CV وQES وOTOC لا لأنها متطابقة، بل لأنها تقيس وجوها مختلفة من نفس الفجوة.

$$\frac{dC}{dt} \lesssim \frac{2M}{\pi\hbar}$$

خلاصة: كل باب ينتهي بقاعدة: لا هندسة بلا قاموس، لا قاموس بلا قناة، لا قناة بلا كلفة، ولا إعلان بلا معيار تفنيد.

مصدر مرتبط: S14.

الباب الرابع: أعمال مالديسينا كعمود فقري

مقطع 6: من teleportation إلى TFD

مالديسينا حاضر في المسألة من ثلاث جهات: قاموس AdS/CFT، تأويل ER=EPR، ثم مشاركته في تشكل قاعدة الجزر والثقوب الدودية المنسوخة.

إذا استعملنا مفهوم **teleportation** بوصفه متغيرا لا شعارا، فإن سؤال الباب يصبح: ما الذي يتغير في قراءة **TFD** عندما تدخل كلفة التعقيد في قاموس الهندسة؟ هنا يظهر مؤثر حجمي لا كزينة رياضية، بل كأداة تقيس الفرق بين ما تقوله صورة الماكرو وما تسمح به القناة الدقيقة.

القراءة الماكروية تنزع إلى ضغط كل شيء في سطح أو مسافة أو أفق. أما القراءة الهولوغرافية فتعامل السطح كحد إعادة بناء. الفرق بين القراءتين هو موقع الخرق الاختزالي: ليس لأن النسبية تنهار، بل لأن توصيفها لا يحمل كل معلومات code subspace.

$$C_V(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{V(\Sigma_{\max})}{G_N L}$$

اختبار جزئي: نطبق التوسع في N/1 ثم نقارن المؤشر مع نموذج عشوائي ونموذج قابل للتكامل؛ إذا بقي الفرق بعد perturbations صار مرشحا لخرق اختزالي لا لضجيج عددي.

اعتراض: قد يخفي coarse-graining افتراضا لا يمكن اختباره؛ والجواب المنهجي: لذلك نفرق بين الخرق الاختزالي والخرق السببي

مصدر مرتبط: S15.

الباب الرابع: أعمال مالديسينا كعمود فقري

مقطع 7: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب كود تصحيح خطأ معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **Maldacena 1997** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

تمييز: الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$C_A(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{I_{\mathrm{WDW}}}{\pi\hbar}$$

نقطة هدم: قد يكون المؤشر أثرا لنموذج صغير لا لثقب دودي

مصدر مرتبط: S16.

الباب الرابع: أعمال مالديسينا كعمود فقري

مقطع 8: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان TFD يمثل البنية، فإن SYK يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$S(A) = \frac{\mathrm{Area}(\gamma_A)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}} + \cdots$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر سطح كمومي متطرف مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد يعجز النموذج عن تجاوز AdS إلى de Sitter. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S17.

الباب الرابع: أعمال مالديسينا كعمود فقري

مقطع 9: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة nearly-AdS2 وisland rule كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$S(R) = \min_{I} \operatorname{ext}_{I}\left[\frac{\mathrm{Area}(\partial I)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}}(R \cup I)\right]$$

اختبار المحاكاة الكمومية يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S18.

الباب الرابع: أعمال مالديسينا كعمود فقري

مقطع 10: اعتراض المدرسة المنافسة

ستقول المدرسة المتحفظة إن هاملتونيان مزدوج الأثر ليس أكثر من طريقة حسابية، وإن استعمال لغة الثقب الدودي يضخم نتيجة في نموذج toy. هذا الاعتراض صحيح جزئيا؛ لذلك يضع الكتاب معيارين: منع الانتقال من التشبيه إلى الوجود، ومن مؤشر واحد إلى إعلان.

الجواب ليس أن ننفي الاعتراض، بل أن نحوله إلى بروتوكول. إذا كان التفسير البديل يكفي، يسقط ادعاء الخرق. وإذا احتجنا حزمة من التشابك، التعقيد، الفوضى، والتحول السطحي، يصير لدينا مرشح علمي لا استعارة.

الاعتراض: قد يكون المؤشر أثرا لنموذج صغير لا لثقب دودي

قاعدة الرد: لذلك نفرق بين الخرق الاختزالي والخرق السببي

$$H_{\mathrm{int}}(t) = g(t)\, O_L(t) O_R(t)$$

في هذا السياق، يصبح SYK حدًّ صلاحية، ويصبح Page curve متغيرَ انتقال. لا يهم الاسم بقدر ما يهم: هل يتغير القياس عندما نفتح القناة؟

مصدر مرتبط: S19.

الباب الرابع: أعمال مالديسينا كعمود فقري

مقطع 11: تركيب الباب الجزئي

نصل هنا إلى تركيب جزئي: ليست المسألة هل يوجد ثقب دودي بالمعنى الخيالي، بل هل توجد بنية معلوماتية تجعل وصفا هندسيا ماكرويا ناقصا عند حساب observable معين. هذا النقص هو الخرق الاختزالي.

العنصر	القيمة	الدور
المتغير	island rule	يعطي بنية القراءة
القناة	teleportation	تحدد الإتاحة
الكلفة	حجم مؤثر	تفصل الممكن النظري عن الممكن العملي
الاختبار	المقارنة مع null model	يقيم قابلية التفنيد

إذا تعاملنا مع island rule كمتغير هندسي ومع teleportation كمتغير قنوي، فالعلاقة بينهما لا تحسم بالخطاب بل بقياس التحول عند التلاعب بالديناميكا. لذلك يربط الكتاب بين CA/CV وQES وOTOC لا لأنها متطابقة، بل لأنها تقيس وجوها مختلفة من نفس الفجوة.

$$F_{\mathrm{OTOC}}(t) = \langle W(t)V(0)W(t)V(0)\rangle$$

خلاصة: كل باب ينتهي بقاعدة: لا هندسة بلا قاموس، لا قاموس بلا قناة، لا قناة بلا كلفة، ولا إعلان بلا معيار تفنيد.

مصدر مرتبط: S20.

الباب الرابع: أعمال مالديسينا كعمود فقري

مقطع 12: من Page curve إلى Maldacena 1997

مالديسينا حاضر في المسألة من ثلاث جهات: قاموس AdS/CFT، تأويل ER=EPR، ثم مشاركته في تشكل قاعدة الجزر والثقوب الدودية المنسوخة.

إذا استعملنا مفهوم **Page curve** بوصفه متغيرا لا شعارا، فإن سؤال الباب يصبح: ما الذي يتغير في قراءة **Maldacena 1997** عندما تدخل كلفة التعقيد في قاموس الهندسة؟ هنا يظهر معامل OTOC لا كزينة رياضية، بل كأداة تقيس الفرق بين ما تقوله صورة الماكرو وما تسمح به القناة الدقيقة.

القراءة الماكروية تنزع إلى ضغط كل شيء في سطح أو مسافة أو أفق. أما القراءة الهولوغرافية فتعامل السطح كحد إعادة بناء. الفرق بين القراءتين هو موقع الخرق الاختزالي: ليس لأن النسبية تنهار، بل لأن توصيفها لا يحمل كل معلومات code subspace.

$$\Delta_{\mathrm{breach}} = A_{\mathrm{ch}}\, I_{\mathrm{rec}} - \lambda C_{\mathrm{gate}} - \mu D_{\mathrm{macro}}$$

اختبار جزئي: نطبق تحليل الطور ثم نقارن المؤشر مع نموذج عشوائي ونموذج قابل للتكامل؛ إذا بقي الفرق بعد perturbations صار مرشحا لخرق اختزالي لا لضجيج عددي.

اعتراض: قد يخفي coarse-graining افتراضا لا يمكن اختباره؛ والجواب المنهجي: لذلك نفرق بين الخرق الاختزالي والخرق السببي

مصدر مرتبط: S21.

الباب الرابع: أعمال مالديسينا كعمود فقري

مقطع 13: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب فعل رقعة Wheeler-DeWitt معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **teleportation** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

تمييز: الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$\mathcal{B} > 0 \Rightarrow \text{reduction breach} \neq \text{causal breach}$$

نقطة هدم: قد يكون المؤشر أثرا لنموذج صغير لا لثقب دودي

مصدر مرتبط: S22.

الباب الرابع: أعمال مالديسينا كعمود فقري

مقطع 14: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان Maldacena 1997 يمثل البنية، فإن nearly-AdS2 يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$t_* \sim \frac{\beta}{2\pi} \log S_{\mathrm{BH}}$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر ويدج التشابك مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد يعجز النموذج عن تجاوز AdS إلى de Sitter. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S23.

الباب الرابع: أعمال مالديسينا كعمود فقري

مقطع 15: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة TFD وSYK كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$\frac{dC}{dt} \lesssim \frac{2M}{\pi\hbar}$$

اختبار فحص finite-size effects يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S24.

الباب الرابع: أعمال مالديسينا كعمود فقري

مقطع 16: اعتراض المدرسة المنافسة

ستقول المدرسة المتحفظة إن مؤثر حجمي ليس أكثر من طريقة حسابية، وإن استعمال لغة الثقب الدودي يضخم نتيجة في نموذج toy. هذا الاعتراض صحيح جزئيا؛ لذلك يضع الكتاب معيارين: منع الانتقال من التشبيه إلى الوجود، ومن مؤشر واحد إلى إعلان.

الجواب ليس أن ننفي الاعتراض، بل أن نحوله إلى بروتوكول. إذا كان التفسير البديل يكفي، يسقط ادعاء الخرق. وإذا احتجنا حزمة من التشابك، التعقيد، الفوضى، والتحول السطحي، يصير لدينا مرشح علمي لا استعارة.

الاعتراض: قد يكون المؤشر أثرا لنموذج صغير لا لثقب دودي

قاعدة الرد: لذلك نفرق بين الخرق الاختزالي والخرق السببي

$$C_V(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{V(\Sigma_{\max})}{G_N L}$$

في هذا السياق، يصبح nearly-AdS2 حدًّ صلاحية، ويصبح island rule متغيرَ انتقال. لا يهم الاسم بقدر ما يهم: هل يتغير القياس عندما نفتح القناة؟

مصدر مرتبط: S25.

الباب الرابع: أعمال مالديسينا كعمود فقري

مقطع 17: تركيب الباب الجزئي

نصل هنا إلى تركيب جزئي: ليست المسألة هل يوجد ثقب دودي بالمعنى الخيالي، بل هل توجد بنية معلوماتية تجعل وصفا هندسيا ماكرويا ناقصا عند حساب observable معين. هذا النقص هو الخرق الاختزالي.

العنصر	القيمة	الدور
المتغير	SYK	يعطي بنية القراءة
القناة	Page curve	تحدد الإتاحة
الكلفة	كود تصحيح خطأ	تفصل الممكن النظري عن الممكن العملي
الاختبار	المحاكاة الكمومية	يقيم قابلية التفنيد

إذا تعاملنا مع SYK كمتغير هندسي ومع Page curve كمتغير قنوي، فالعلاقة بينهما لا تحسم بالخطاب بل بقياس التحول عند التلاعب بالديناميكا. لذلك يربط الكتاب بين CA/CV وQES وOTOC لا لأنها متطابقة، بل لأنها تقيس وجوها مختلفة من نفس الفجوة.

$$C_A(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{I_{\mathrm{WDW}}}{\pi\hbar}$$

خلاصة: كل باب ينتهي بقاعدة: لا هندسة بلا قاموس، لا قاموس بلا قناة، لا قناة بلا كلفة، ولا إعلان بلا معيار تفنيد.

مصدر مرتبط: S1.

الباب الرابع: أعمال مالديسينا كعمود فقري

مقطع 18: من island rule إلى teleportation

مالديسينا حاضر في المسألة من ثلاث جهات: قاموس AdS/CFT، تأويل ER=EPR، ثم مشاركته في تشكل قاعدة الجزر والثقوب الدودية المنسوخة.

إذا استعملنا مفهوم **island rule** بوصفه متغيرا لا شعارا، فإن سؤال الباب يصبح: ما الذي يتغير في قراءة **teleportation** عندما تدخل كلفة التعقيد في قاموس الهندسة؟ هنا يظهر سطح كومي متطرف لا كزينة رياضية، بل كأداة تقيس الفرق بين ما تقوله صورة الماكرو وما تسمح به القناة الدقيقة.

القراءة الماكروية تنزع إلى ضغط كل شيء في سطح أو مسافة أو أفق. أما القراءة الهولوغرافية فتعامل السطح كحد إعادة بناء. الفرق بين القراءتين هو موقع الحرق الاختزالي: ليس لأن النسبية تنهار، بل لأن توصيفها لا يحمل كل معلومات code subspace.

$$S(A) = \frac{\mathrm{Area}(\gamma_A)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}} + \cdots$$

اختبار جزئي: نطبق البرهان داخل toy model ثم نقارن المؤشر مع نموذج عشوائي ونموذج قابل للتكامل؛ إذا بقي الفرق بعد perturbations صار مرشحا لحرق اختزالي لا لضجيج عددي.

اعتراض: قد يخفي coarse-graining افتراضا لا يمكن اختباره؛ والجواب المنهجي: لذلك نفرق بين الحرق الاختزالي والحرق السببي

مصدر مرتبط: S2.

الباب الرابع: أعمال مالديسينا كعمود فقري

مقطع 19: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب قناة إعادة بناء معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **Page curve** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

تمييز: الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$S(R) = \min_{I} \operatorname{ext}_{I}\left[\frac{\mathrm{Area}(\partial I)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}}(R \cup I)\right]$$

نقطة هدم: قد يكون المؤشر أثرا لنموذج صغير لا لثقب دودي

مصدر مرتبط: S3.

الباب الخامس: الأكوان المنسوخة والثقوب الدودية المنسوخة

Replica trick كسكين في جلد الهندسة

الأكوان المنسوخة ليست أكوانا مشهودة؛ إنها نسخ حسابية في طريقة حساب الإنتروبيا. الخرق يبدأ حين لا تبقى النسخ منفصلة في path integral بل تتصل بسروج دودية.

الثقب الدودي المنسوخ لا ينقل إشارة في الزمكان اليومي؛ لكنه يكسر افتراضا ماكرويا عميقا: أن حساب إنتروبيا الإشعاع يتم فوق خلفية واحدة منفصلة عن الداخل.

replica trick	**replica wormholes**	**saddles**
n→1	**baby universes**	**ensemble**
null states		

قاعدة الباب: لا تؤخذ المفاهيم هنا كأسماء، بل كعمليات: كل مفهوم يحدد قناة، كلفة، أو حد صلاحية.

$$H_{\text{int}}(t) = g(t)\, O_L(t) O_R(t)$$

الباب الخامس: الأكوان المنسوخة والثقوب الدودية المنسوخة

مقطع 1: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب معامل OTOC معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **replica wormholes** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

تمييز: الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$\Delta_{\mathrm{breach}} = A_{\mathrm{ch}}\, I_{\mathrm{rec}} - \lambda C_{\mathrm{gate}} - \mu D_{\mathrm{macro}}$$

نقطة هدم: قد تكون الازدواجية غير فريدة لأن complexity equals anything يضعف التفرد

مصدر مرتبط: S12.

الباب الخامس: الأكوان المنسوخة والثقوب الدودية المنسوخة

مقطع 2: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان saddles يمثل البنية، فإن baby universes يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$\mathcal{B} > 0 \Rightarrow \text{reduction breach} \neq \text{causal breach}$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر فعل رقعة Wheeler-DeWitt مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد يكون path integral يحسب متوسطا لا نظرية فردية. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S13.

الباب الخامس: الأكوان المنسوخة والثقوب الدودية المنسوخة

مقطع 3: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة n→1 وensemble كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$t_* \sim \frac{\beta}{2\pi} \log S_{\mathrm{BH}}$$

اختبار اختبار الاستقرار تحت perturbation يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S14.

الباب الخامس: الأكوان المنسوخة والثقوب الدودية المنسوخة

مقطع 4: اعتراض المدرسة المنافسة

ستقول المدرسة المتحفظة إن منحنى Page ليس أكثر من طريقة حسابية، وإن استعمال لغة الثقب الدودي يضخم نتيجة في نموذج toy. هذا الاعتراض صحيح جزئيا؛ لذلك يضع الكتاب معيارين: منع الانتقال من التشبيه إلى الوجود، ومن مؤشر واحد إلى إعلان.

الجواب ليس أن ننفي الاعتراض، بل أن نحوله إلى بروتوكول. إذا كان التفسير البديل يكفي، يسقط ادعاء الخرق. وإذا احتجنا حزمة من التشابك، التعقيد، الفوضى، والتحول السطحي، يصير لدينا مرشح علمي لا استعارة.

الاعتراض: قد تكون الازدواجية غير فريدة لأن complexity equals anything يضعف التفرد

قاعدة الرد: لذلك نعامل QES كشرط لا كشعار

$$\frac{dC}{dt} \lesssim \frac{2M}{\pi\hbar}$$

في هذا السياق، يصبح baby universes حدًّا صلاحية، ويصبح null states متغيرَ انتقال. لا يهم الاسم بقدر ما يهم: هل يتغير القياس عندما نفتح القناة؟

مصدر مرتبط: S15.

الباب الخامس: الأكوان المنسوخة والثقوب الدودية المنسوخة

مقطع 5: تركيب الباب الجزئي

نصل هنا إلى تركيب جزئي: ليست المسألة هل يوجد ثقب دودي بالمعنى الخيالي، بل هل توجد بنية معلوماتية تجعل وصفا هندسيا ماكرويا ناقصا عند حساب observable معين. هذا النقص هو الخرق الاختزالي.

العنصر	القيمة	الدور
المتغير	ensemble	يعطي بنية القراءة
القناة	replica trick	تحدد الإتاحة
الكلفة	مؤثر جمي	تفصل الممكن النظري عن الممكن العملي
الاختبار	فحص finite-size effects	يقيم قابلية التفنيد

إذا تعاملنا مع ensemble كمتغير هندسي ومع replica trick كمتغير قنوي، فالعلاقة بينهما لا تحسم بالخطاب بل بقياس التحول عند التلاعب بالديناميكا. لذلك يربط الكتّاب بين CA/CV وQES وOTOC لا لأنها متطابقة، بل لأنها تقيس وجوها مختلفة من نفس الفجوة.

$$C_V(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{V(\Sigma_{\max})}{G_N L}$$

خلاصة: كل باب ينتهي بقاعدة: لا هندسة بلا قاموس، لا قاموس بلا قناة، لا قناة بلا كلفة، ولا إعلان بلا معيار تفنيد.

مصدر مرتبط: S16.

الباب الخامس: الأكوان المنسوخة والثقوب الدودية المنسوخة

مقطع 6: من null states إلى replica wormholes

الأكوان المنسوخة ليست أكوانا مشهودة؛ إنها نسخ حسابية في طريقة حساب الإنتروبيا. الخرق يبدأ حين لا تبقى النسخ منفصلة في path integral بل تتصل بسروج دودية.

إذا استعملنا مفهوم **null states** بوصفه متغيرا لا شعارا، فإن سؤال الباب يصبح: ما الذي يتغير في قراءة **replica wormholes** عندما تدخل كلفة التعقيد في قاموس الهندسة؟ هنا يظهر كود تصحيح خطأ لا كزينة رياضية، بل كأداة تقيس الفرق بين ما تقوله صورة الماكرو وما تسمح به القناة الدقيقة.

القراءة الماكروية تنزع إلى ضغط كل شيء في سطح أو مسافة أو أفق. أما القراءة الهولوغرافية فتعامل السطح كحد إعادة بناء. الفرق بين القراءتين هو موقع الخرق الاختزالي: ليس لأن النسبية تنهار، بل لأن توصيفها لا يحمل كل معلومات code subspace.

$$C_A(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{I_{\mathrm{WDW}}}{\pi\hbar}$$

اختبار جزئي: نطبق القياس العددي ثم نقارن المؤشر مع نموذج عشوائي ونموذج قابل للتكامل؛ إذا بقي الفرق بعد perturbations صار مرشحا لخرق اختزالي لا لضجيج عددي.

اعتراض: قد لا توجد observable مباشرة للهندسة الداخلية؛ والجواب المنهجي: لذلك نعامل QES كشرط لا كشعار

مصدر مرتبط: S17.

الباب الخامس: الأكوان المنسوخة والثقوب الدودية المنسوخة

مقطع 7: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب سطح كمومي متطرف معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **replica trick** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

> **تمييز:** الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$S(A) = \frac{\mathrm{Area}(\gamma_A)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}} + \cdots$$

> **نقطة هدم:** قد تكون الازدواجية غير فريدة لأن complexity equals anything يضعف التفرد

مصدر مرتبط: S18.

الباب الخامس: الأكوان المنسوخة والثقوب الدودية المنسوخة

مقطع 8: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان replica wormholes يمثل البنية، فإن $n \to 1$ يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$S(R) = \min_{I} \operatorname{ext}_{I}\left[\frac{\mathrm{Area}(\partial I)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}}(R \cup I)\right]$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر قناة إعادة بناء مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد يكون path integral يحسب متوسطا لا نظرية فردية. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S19.

الباب الخامس: الأكوان المنسوخة والثقوب الدودية المنسوخة

مقطع 9: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة saddles وbaby universes كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$H_{\mathrm{int}}(t) = g(t)\, O_L(t) O_R(t)$$

اختبار المقارنة مع null model يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S20.

الباب الخامس: الأكوان المنسوخة والثقوب الدودية المنسوخة

مقطع 10: اعتراض المدرسة المنافسة

ستقول المدرسة المتحفظة إن حجم مؤثر ليس أكثر من طريقة حسابية، وإن استعمال لغة الثقب الدودي يضخم نتيجة في نموذج toy. هذا الاعتراض صحيح جزئيا؛ لذلك يضع الكتاب معيارين: منع الانتقال من التشبيه إلى الوجود، ومن مؤشر واحد إلى إعلان.

الجواب ليس أن ننفي الاعتراض، بل أن نحوله إلى بروتوكول. إذا كان التفسير البديل يكفي، يسقط ادعاء الخرق. وإذا احتجنا حزمة من التشابك، التعقيد، الفوضى، والتحول السطحي، يصير لدينا مرشح علمي لا استعارة.

الاعتراض: قد تكون الازدواجية غير فريدة لأن complexity equals anything يضعف التفرد

قاعدة الرد: لذلك نعامل QES كشرط لا كشعار

$$F_{\mathrm{OTOC}}(t) = \langle W(t)V(0)W(t)V(0)\rangle$$

في هذا السياق، يصبح $n \to 1$ حدَّ صلاحية، ويصبح ensemble متغيرَ انتقال. لا يهم الاسم بقدر ما يهم: هل يتغير القياس عندما نفتح القناة؟

مصدر مرتبط: S21.

الباب الخامس: الأكوان المنسوخة والثقوب الدودية المنسوخة

مقطع 11: تركيب الباب الجزئي

نصل هنا إلى تركيب جزئي: ليست المسألة هل يوجد ثقب دودي بالمعنى الخيالي، بل هل توجد بنية معلوماتية تجعل وصفا هندسيا ماكرويا ناقصا عند حساب observable معين. هذا النقص هو الخرق الاختزالي.

العنصر	القيمة	الدور
المتغير	baby universes	يعطي بنية القراءة
القناة	null states	تحدد الإتاحة
الكلفة	معامل OTOC	تفصل الممكن النظري عن الممكن العملي
الاختبار	اختبار الاستقرار تحت perturbation	يقيم قابلية التفنيد

إذا تعاملنا مع baby universes كمتغير هندسي ومع null states كمتغير قنوي، فالعلاقة بينهما لا تحسم بالخطاب بل بقياس التحول عند التلاعب بالديناميكا. لذلك يربط الكتاب بين CA/CV وQES وOTOC لا لأنها متطابقة، بل لأنها تقيس وجوها مختلفة من نفس الفجوة.

$$\Delta_{\mathrm{breach}} = A_{\mathrm{ch}}\, I_{\mathrm{rec}} - \lambda C_{\mathrm{gate}} - \mu D_{\mathrm{macro}}$$

خلاصة: كل باب ينتهي بقاعدة: لا هندسة بلا قاموس، لا قاموس بلا قناة، لا قناة بلا كلفة، ولا إعلان بلا معيار تفنيد.

مصدر مرتبط: S22.

الباب الخامس: الأكوان المنسوخة والثقوب الدودية المنسوخة

مقطع 12: من ensemble إلى replica trick

الأكوان المنسوخة ليست أكوانا مشهودة؛ إنها نسخ حسابية في طريقة حساب الإنتروبيا. الخرق يبدأ حين لا تبقى النسخ منفصلة في path integral بل تتصل بسروج دودية.

إذا استعملنا مفهوم **ensemble** بوصفه متغيرا لا شعارا، فإن سؤال الباب يصبح: ما الذي يتغير في قراءة **replica trick** عندما تدخل كلفة التعقيد في قاموس الهندسة؟ هنا يظهر فعل رقعة Wheeler-DeWitt لا كزينة رياضية، بل كأداة تقيس الفرق بين ما تقوله صورة الماكرو وما تسمح به القناة الدقيقة.

القراءة الماكروية تنزع إلى ضغط كل شيء في سطح أو مسافة أو أفق. أما القراءة الهولوغرافية فتعامل السطح كحد إعادة بناء. الفرق بين القراءتين هو موقع الخرق الاختزالي: ليس لأن النسبية تنهار، بل لأن توصيفها لا يحمل كل معلومات code subspace.

$$\mathcal{B} > 0 \Rightarrow \text{reduction breach} \neq \text{causal breach}$$

اختبار جزئي: نطبق التوسع في $1/N$ ثم نقارن المؤشر مع نموذج عشوائي ونموذج قابل للتكامل؛ إذا بقي الفرق بعد perturbations صار مرشحا لخرق اختزالي لا لضجيج عددي.

اعتراض: قد لا توجد observable مباشرة للهندسة الداخلية؛ والجواب المنهجي: لذلك نعامل QES كشرط لا كشعار

مصدر مرتبط: S23.

الباب الخامس: الأكوان المنسوخة والثقوب الدودية المنسوخة

مقطع 13: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب ويدج التشابك معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **null states** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

تمييز: الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$t_* \sim \frac{\beta}{2\pi} \log S_{\mathrm{BH}}$$

نقطة هدم: قد تكون الازدواجية غير فريدة لأن complexity equals anything يضعف التفرد

مصدر مرتبط: S24.

الباب الخامس: الأكوان المنسوخة والثقوب الدودية المنسوخة

مقطع 14: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان replica trick يمثل البنية، فإن saddles يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$\frac{dC}{dt} \lesssim \frac{2M}{\pi\hbar}$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر منحنى Page مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لحرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد يكون path integral يحسب متوسطا لا نظرية فردية. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S25.

الباب الخامس: الأكوان المنسوخة والثقوب الدودية المنسوخة

مقطع 15: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة replica wormholes و$n \to 1$ كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$C_V(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{V(\Sigma_{\max})}{G_N L}$$

اختبار المحاكاة الكمومية يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S1.

الباب الخامس: الأكوان المنسوخة والثقوب الدودية المنسوخة

مقطع 16: اعتراض المدرسة المنافسة

ستقول المدرسة المتحفظة إن كود تصحيح خطأ ليس أكثر من طريقة حسابية، وإن استعمال لغة الثقب الدودي يضخم نتيجة في نموذج toy. هذا الاعتراض صحيح جزئيا؛ لذلك يضع الكتاب معيارين: منع الانتقال من التشبيه إلى الوجود، ومن مؤشر واحد إلى إعلان.

الجواب ليس أن ننفي الاعتراض، بل أن نحوله إلى بروتوكول. إذا كان التفسير البديل يكفي، يسقط ادعاء الخرق. وإذا احتجنا حزمة من التشابك، التعقيد، الفوضى، والتحول السطحي، يصير لدينا مرشح علمي لا استعارة.

الاعتراض: قد تكون الازدواجية غير فريدة لأن complexity equals anything يضعف التفرد

قاعدة الرد: لذلك نعامل QES كشرط لا كشعار

$$C_A(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{I_{\mathrm{WDW}}}{\pi\hbar}$$

في هذا السياق، يصبح saddles حدَّ صلاحية، ويصبح baby universes متغيرَ انتقال. لا يهم الاسم بقدر ما يهم: هل يتغير القياس عندما نفتح القناة؟

مصدر مرتبط: S2.

الباب الخامس: الأكوان المنسوخة والثقوب الدودية المنسوخة

مقطع 17: تركيب الباب الجزئي

نصل هنا إلى تركيب جزئي: ليست المسألة هل يوجد ثقب دودي بالمعنى الخيالي، بل هل توجد بنية معلوماتية تجعل وصفا هندسيا ماكرويا ناقصا عند حساب observable معين. هذا النقص هو الخرق الاختزالي.

العنصر	القيمة	الدور
المتغير	n→1	يعطي بنية القراءة
القناة	ensemble	تحدد الإتاحة
الكلفة	سطح كموي متطرف	تفصل الممكن النظري عن الممكن العملي
الاختبار	المقارنة مع null model	يقيم قابلية التفنيد

إذا تعاملنا مع n→1 كمتغير هندسي ومع ensemble كمتغير قنوي، فالعلاقة بينهما لا تحسم بالخطاب بل بقياس التحول عند التلاعب بالديناميكا. لذلك يربط الكتاب بين CA/CV وQES وOTOC لا لأنها متطابقة، بل لأنها تقيس وجوها مختلفة من نفس الفجوة.

$$S(A) = \frac{\mathrm{Area}(\gamma_A)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}} + \cdots$$

خلاصة: كل باب ينتهي بقاعدة: لا هندسة بلا قاموس، لا قاموس بلا قناة، لا قناة بلا كلفة، ولا إعلان بلا معيار تفنيد.

مصدر مرتبط: S3.

الباب الخامس: الأكوان المنسوخة والثقوب الدودية المنسوخة

مقطع 18: من baby universes إلى null states

الأكوان المنسوخة ليست أكوانا مشهودة؛ إنها نسخ حسابية في طريقة حساب الإنتروبيا. الخرق يبدأ حين لا تبقى النسخ منفصلة في path integral بل تتصل بسروج دودية.

إذا استعملنا مفهوم **baby universes** بوصفه متغيرا لا شعارا، فإن سؤال الباب يصبح: ما الذي يتغير في قراءة **null states** عندما تدخل كلفة التعقيد في قاموس الهندسة؟ هنا يظهر قناة إعادة بناء لا كزينة رياضية، بل كأداة تقيس الفرق بين ما تقوله صورة الماكرو وما تسمح به القناة الدقيقة.

القراءة الماكروية تنزع إلى ضغط كل شيء في سطح أو مسافة أو أفق. أما القراءة الهولوغرافية فتعامل السطح كحد إعادة بناء. الفرق بين القراءتين هو موقع الخرق الاختزالي: ليس لأن النسبية تنهار، بل لأن توصيفها لا يحمل كل معلومات code subspace.

$$S(R) = \min_{I} \operatorname{ext}_{I}\left[\frac{\mathrm{Area}(\partial I)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}}(R \cup I)\right]$$

اختبار جزئي: نطبق تحليل الطور ثم نقارن المؤشر مع نموذج عشوائي ونموذج قابل للتكامل؛ إذا بقي الفرق بعد perturbations صار مرشحا لخرق اختزالي لا لضجيج عددي.

اعتراض: قد لا توجد observable مباشرة للهندسة الداخلية؛ والجواب المنهجي: لذلك نعامل QES كشرط لا كشعار

مصدر مرتبط: S4.

الباب الخامس: الأكوان المنسوخة والثقوب الدودية المنسوخة

مقطع 19: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب هاملتونيان مزدوج الأثر معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **ensemble** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

تمييز: الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$H_{\text{int}}(t) = g(t)\, O_L(t) O_R(t)$$

نقطة هدم: قد تكون الازدواجية غير فريدة لأن complexity equals anything يضعف التفرد

مصدر مرتبط: S5.

الباب الخامس: الأكوان المنسوخة والثقوب الدودية المنسوخة

مقطع 20: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان null states يمثل البنية، فإن replica wormholes يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$F_{\mathrm{OTOC}}(t) = \langle W(t)V(0)W(t)V(0)\rangle$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر حجم مؤثر مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد يكون path integral يحسب متوسطا لا نظرية فردية. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S6.

الباب الخامس: الأكوان المنسوخة والثقوب الدودية المنسوخة

مقطع 21: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة replica trick وsaddles كمتغيرين لا كمجازين.

قاعدة السطح/القناة: كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$\Delta_{\text{breach}} = A_{\text{ch}}\, I_{\text{rec}} - \lambda C_{\text{gate}} - \mu D_{\text{macro}}$$

اختبار فحص finite-size effects يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S7.

الباب السادس: صياغة الخرق الاختزالي

ما الذي يعنيه أن تخترق الثقوب الدودية هندسات الماكرو؟

الخرق المقترح ليس فتح ممر أسرع من الضوء؛ بل إظهار أن بعض أحكام الهندسة الماكروية تنكسر عندما نعيد وصف الواقعة كقناة إعادة بناء.

الهندسة الماكروية تختزل الحالات الدقيقة إلى سطح، أفق، مسافة. الثقب الدودي يكشف أن المسافة قد تكون كلفة ترميزية لا فاصلا مطلقا.

causality	nonlocal encoding	خرق اختزالي
wedge switch	macro-geometry	channel access
coarse-graining		

قاعدة الباب: لا تؤخذ المفاهيم هنا كأسماء، بل كعمليات: كل مفهوم يحدد قناة، كلفة، أو حد صلاحية.

$$F_{\mathrm{OTOC}}(t) = \langle W(t)V(0)W(t)V(0)\rangle$$

الباب السادس: صياغة الخرق الاختزالي

مقطع 1: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب فعل رقعة Wheeler-DeWitt معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **nonlocal encoding** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

تمييز: الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$\mathcal{B} > 0 \Rightarrow \text{reduction breach} \neq \text{causal breach}$$

نقطة هدم: قد يعجز النموذج عن تجاوز AdS إلى de Sitter

مصدر مرتبط: S14.

الباب السادس: صياغة الخرق الاختزالي

مقطع 2: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان causality يمثل البنية، فإن macro-geometry يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$t_* \sim \frac{\beta}{2\pi} \log S_{\mathrm{BH}}$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر ويدج التشابك مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد يخفي coarse-graining افتراضا لا يمكن اختباره. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S15.

الباب السادس: صياغة الخرق الاختزالي

مقطع 3: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة channel access وwedge switch كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$\frac{dC}{dt} \lesssim \frac{2M}{\pi\hbar}$$

اختبار فحص finite-size effects يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S16.

الباب السادس: صياغة الخرق الاختزالي

مقطع 4: اعتراض المدرسة المنافسة

ستقول المدرسة المتحفظة إن مؤثر حجمي ليس أكثر من طريقة حسابية، وإن استعمال لغة الثقب الدودي يضخم نتيجة في نموذج toy. هذا الاعتراض صحيح جزئيا؛ لذلك يضع الكتاب معيارين: منع الانتقال من التشبيه إلى الوجود، ومن مؤشر واحد إلى إعلان.

الجواب ليس أن ننفي الاعتراض، بل أن نحوله إلى بروتوكول. إذا كان التفسير البديل يكفي، يسقط ادعاء الخرق. وإذا احتجنا حزمة من التشابك، التعقيد، الفوضى، والتحول السطحي، يصير لدينا مرشح علمي لا استعارة.

الاعتراض: قد يعجز النموذج عن تجاوز AdS إلى de Sitter

قاعدة الرد: لذلك لا يكفي fidelity واحد؛ يجب طلب حزمة قياسات مستقلة

$$C_V(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{V(\Sigma_{\max})}{G_N L}$$

في هذا السياق، يصبح macro-geometry حدًّا صلاحية، ويصبح coarse-graining متغيرَ انتقال. لا يهم الاسم بقدر ما يهم: هل يتغير القياس عندما نفتح القناة؟

مصدر مرتبط: S17.

الباب السادس: صياغة الخرق الاختزالي

مقطع 5: تركيب الباب الجزئي

نصل هنا إلى تركيب جزئي: ليست المسألة هل يوجد ثقب دودي بالمعنى الخيالي، بل هل توجد بنية معلوماتية تجعل وصفا هندسيا ماكرويا ناقصا عند حساب observable معين. هذا النقص هو الخرق الاختزالي.

العنصر	القيمة	الدور
المتغير	wedge switch	يعطي بنية القراءة
القناة	خرق اختزالي	تحدد الإتاحة
الكلفة	كود تصحيح خطأ	تفصل الممكن النظري عن الممكن العملي
الاختبار	المحاكاة الكمومية	يقيم قابلية التفنيد

إذا تعاملنا مع wedge switch كمتغير هندسي ومع خرق اختزالي كمتغير قنوي، فالعلاقة بينهما لا تحسم بالخطاب بل بقياس التحول عند التلاعب بالديناميكا. لذلك يربط الكتاب بين CA/CV وQES وOTOC لا لأنها متطابقة، بل لأنها تقيس وجوها مختلفة من نفس الفجوة.

$$C_A(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{I_{\mathrm{WDW}}}{\pi\hbar}$$

خلاصة: كل باب ينتهي بقاعدة: لا هندسة بلا قاموس، لا قاموس بلا قناة، لا قناة بلا كلفة، ولا إعلان بلا معيار تفنيد.

مصدر مرتبط: S18.

الباب السادس: صياغة الخرق الاختزالي

مقطع 6: من coarse-graining إلى nonlocal encoding

الخرق المقترح ليس فتح ممر أسرع من الضوء، بل إظهار أن بعض أحكام الهندسة الماكروية تنكسر عندما نعيد وصف الواقعة كقناة إعادة بناء.

إذا استعملنا مفهوم **coarse-graining** بوصفه متغيرا لا شعارا، فإن سؤال الباب يصبح: ما الذي يتغير في قراءة **nonlocal encoding** عندما تدخل كلفة التعقيد في قاموس الهندسة؟ هنا يظهر سطح كومي متطرف لا كزينة رياضية، بل كأداة تقيس الفرق بين ما تقوله صورة الماكرو وما تسمح به القناة الدقيقة.

القراءة الماكروية تنزع إلى ضغط كل شيء في سطح أو مسافة أو أفق. أما القراءة الهولوغرافية فتعامل السطح كحد إعادة بناء. الفرق بين القراءتين هو موقع الخرق الاختزالي: ليس لأن النسبية تنهار، بل لأن توصيفها لا يحمل كل معلومات code subspace.

$$S(A) = \frac{\mathrm{Area}(\gamma_A)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}} + \cdots$$

اختبار جزئي: نطبق البرهان داخل toy model ثم نقارن المؤشر مع نموذج عشوائي ونموذج قابل للتكامل؛ إذا بقي الفرق بعد perturbations صار مرشحا لخرق اختزالي لا لضجيج عددي.

اعتراض: قد يكون المؤشر أثرا لنموذج صغير لا لثقب دودي؛ والجواب المنهجي: لذلك لا يكفي fidelity واحد؛ يجب طلب حزمة قياسات مستقلة

مصدر مرتبط: S19.

الباب السادس: صياغة الخرق الاختزالي

مقطع 7: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب قناة إعادة بناء معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **خرق اختزالي** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

> **تمييز:** الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$S(R) = \min_{I} \operatorname{ext}_{I}\left[\frac{\mathrm{Area}(\partial I)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}}(R \cup I)\right]$$

> **نقطة هدم:** قد يعجز النموذج عن تجاوز AdS إلى de Sitter

مصدر مرتبط: S20.

الباب السادس: صياغة الخرق الاختزالي

مقطع 8: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان nonlocal encoding يمثل البنية، فإن channel access يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$H_{\mathrm{int}}(t) = g(t)\, O_L(t) O_R(t)$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر هاملتونيان مزدوج الأثر مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد يخفي coarse-graining افتراضا لا يمكن اختباره. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S21.

الباب السادس: صياغة الخرق الاختزالي

مقطع 9: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة causality وmacro-geometry كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$F_{\mathrm{OTOC}}(t) = \langle W(t)V(0)W(t)V(0)\rangle$$

اختبار اختبار الاستقرار تحت perturbation يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S22.

الباب السادس: صياغة الخرق الاختزالي

مقطع 10: اعتراض المدرسة المنافسة

ستقول المدرسة المتحفظة إن معامل OTOC ليس أكثر من طريقة حسابية، وإن استعمال لغة الثقب الدودي يضخم نتيجة في نموذج toy. هذا الاعتراض صحيح جزئيا؛ لذلك يضع الكتاب معيارين: منع الانتقال من التشبيه إلى الوجود، ومن مؤشر واحد إلى إعلان.

الجواب ليس أن ننفي الاعتراض، بل أن نحوله إلى بروتوكول. إذا كان التفسير البديل يكفي، يسقط ادعاء الخرق. وإذا احتجنا حزمة من التشابك، التعقيد، الفوضى، والتحول السطحي، يصير لدينا مرشح علمي لا استعارة.

الاعتراض: قد يعجز النموذج عن تجاوز AdS إلى de Sitter

قاعدة الرد: لذلك لا يكفي fidelity واحد؛ يجب طلب حزمة قياسات مستقلة

$$\Delta_{\mathrm{breach}} = A_{\mathrm{ch}}\, I_{\mathrm{rec}} - \lambda C_{\mathrm{gate}} - \mu D_{\mathrm{macro}}$$

في هذا السياق، يصبح channel access حدًّ صلاحية، ويصبح wedge switch متغيرَ انتقال. لا يهم الاسم بقدر ما يهم: هل يتغير القياس عندما نفتح القناة؟

مصدر مرتبط: S23.

الباب السادس: صياغة الخرق الاختزالي

مقطع 11: تركيب الباب الجزئي

نصل هنا إلى تركيب جزئي: ليست المسألة هل يوجد ثقب دودي بالمعنى الخيالي، بل هل توجد بنية معلوماتية تجعل وصفا هندسيا ماكرويا ناقصا عند حساب observable معين. هذا النقص هو الخرق الاختزالي.

العنصر	القيمة	الدور
المتغير	macro-geometry	يعطي بنية القراءة
القناة	coarse-graining	تحدد الإتاحة
الكلفة	فعل رقعة Wheeler-DeWitt	تفصل الممكن النظري عن الممكن العملي
الاختبار	فحص finite-size effects	يقيم قابلية التفنيد

إذا تعاملنا مع macro-geometry كمتغير هندسي ومع coarse-graining كمتغير قنوي، فالعلاقة بينهما لا تحسم بالخطاب بل بقياس التحول عند التلاعب بالديناميكا. لذلك يربط الكتّاب بين CA/CV وQES وOTOC لا لأنها متطابقة، بل لأنها تقيس وجوها مختلفة من نفس الفجوة.

$$\mathcal{B} > 0 \Rightarrow \text{reduction breach} \neq \text{causal breach}$$

خلاصة: كل باب ينتهي بقاعدة: لا هندسة بلا قاموس، لا قاموس بلا قناة، لا قناة بلا كلفة، ولا إعلان بلا معيار تفنيد.

مصدر مرتبط: S24.

الباب السادس: صياغة الخرق الاختزالي

مقطع 12: من wedge switch إلى خرق اختزالي

الخرق المقترح ليس فتح ممر أسرع من الضوء؛ بل إظهار أن بعض أحكام الهندسة الماكروية تنكسر عندما نعيد وصف الواقعة كقناة إعادة بناء.

إذا استعملنا مفهوم **wedge switch** بوصفه متغيرا لا شعارا، فإن سؤال الباب يصبح: ما الذي يتغير في قراءة **خرق اختزالي** عندما تدخل كلفة التعقيد في قاموس الهندسة؟ هنا يظهر ويدج التشابك لا كزينة رياضية، بل كأداة تقيس الفرق بين ما تقوله صورة الماكرو وما تسمح به القناة الدقيقة.

القراءة الماكروية تنزع إلى ضغط كل شيء في سطح أو مسافة أو أفق. أما القراءة الهولوغرافية فتعامل السطح كحد إعادة بناء. الفرق بين القراءتين هو موقع الخرق الاختزالي: ليس لأن النسبية تنهار، بل لأن توصيفها لا يحمل كل معلومات code subspace.

$$t_* \sim \frac{\beta}{2\pi} \log S_{\mathrm{BH}}$$

اختبار جزئي: نطبق القياس العددي ثم نقارن المؤشر مع نموذج عشوائي ونموذج قابل للتكامل؛ إذا بقي الفرق بعد perturbations صار مرشحا لخرق اختزالي لا لضجيج عددي.

اعتراض: قد يكون المؤشر أثرا لنموذج صغير لا لثقب دودي؛ والجواب المنهجي: لذلك لا يكفي fidelity واحد؛ يجب طلب حزمة قياسات مستقلة

مصدر مرتبط: S25.

الباب السادس: صياغة الخرق الاختزالي

مقطع 13: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب منحنى Page معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **coarse-graining** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

تمييز: الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$\frac{dC}{dt} \lesssim \frac{2M}{\pi\hbar}$$

نقطة هدم: قد يعجز النموذج عن تجاوز AdS إلى de Sitter

مصدر مرتبط: S1.

الباب السادس: صياغة الخرق الاختزالي

مقطع 14: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان خرق اختزالي يمثل البنية، فإن causality يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$C_V(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{V(\Sigma_{\max})}{G_N L}$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر مؤثر حجمي مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد يخفي coarse-graining افتراضا لا يمكن اختباره. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S2.

الباب السادس: صياغة الخرق الاختزالي

مقطع 15: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة nonlocal encoding وchannel access كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$C_A(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{I_{\mathrm{WDW}}}{\pi\hbar}$$

اختبار المقارنة مع null model يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S3.

الباب السادس: صياغة الخرق الاختزالي

مقطع 16: اعتراض المدرسة المنافسة

ستقول المدرسة المتحفظة إن سطح كومي متطرف ليس أكثر من طريقة حسابية، وإن استعمال لغة الثقب الدودي يضخم نتيجة في نموذج toy. هذا الاعتراض صحيح جزئيا؛ لذلك يضع الكتاب معيارين: منع الانتقال من التشبيه إلى الوجود، ومن مؤشر واحد إلى إعلان.

الجواب ليس أن ننفي الاعتراض، بل أن نحوله إلى بروتوكول. إذا كان التفسير البديل يكفي، يسقط ادعاء الخرق. وإذا احتجنا حزمة من التشابك، التعقيد، الفوضى، والتحول السطحي، يصير لدينا مرشح علمي لا استعارة.

الاعتراض: قد يعجز النموذج عن تجاوز AdS إلى de Sitter

قاعدة الرد: لذلك لا يكفي fidelity واحد، يجب طلب حزمة قياسات مستقلة

$$S(A) = \frac{\mathrm{Area}(\gamma_A)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}} + \cdots$$

في هذا السياق، يصبح causality حدًّا صلاحية، ويصبح macro-geometry متغيرَ انتقال. لا يهم الاسم بقدر ما يهم: هل يتغير القياس عندما نفتح القناة؟

مصدر مرتبط: S4.

الباب السادس: صياغة الخرق الاختزالي

مقطع 17: تركيب الباب الجزئي

نصل هنا إلى تركيب جزئي: ليست المسألة هل يوجد ثقب دودي بالمعنى الخيالي، بل هل توجد بنية معلوماتية تجعل وصفا هندسيا ماكرويا ناقصا عند حساب observable معين. هذا النقص هو الخرق الاختزالي.

العنصر	القيمة	الدور
المتغير	channel access	يعطي بنية القراءة
القناة	wedge switch	تحدد الإتاحة
الكلفة	قناة إعادة بناء	تفصل الممكن النظري عن الممكن العملي
الاختبار	اختبار الاستقرار تحت perturbation	يقيم قابلية التفنيد

إذا تعاملنا مع channel access كمتغير هندسي ومع wedge switch كمتغير قنوي، فالعلاقة بينهما لا تحسم بالخطاب بل بقياس التحول عند التلاعب بالديناميكا. لذلك يربط الكتّاب بين CA/CV وQES وOTOC لا لأنها متطابقة، بل لأنها تقيس وجوها مختلفة من نفس الفجوة.

$$S(R) = \min_{I} \operatorname{ext}_{I}\left[\frac{\mathrm{Area}(\partial I)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}}(R \cup I)\right]$$

خلاصة: كل باب ينتهي بقاعدة: لا هندسة بلا قاموس، لا قاموس بلا قناة، لا قناة بلا كلفة، ولا إعلان بلا معيار تفنيد.

مصدر مرتبط: S5.

الباب السادس: صياغة الخرق الاختزالي

مقطع 18: من macro-geometry إلى coarse-graining

الخرق المقترح ليس فتح ممر أسرع من الضوء؛ بل إظهار أن بعض أحكام الهندسة الماكروية تنكسر عندما نعيد وصف الواقعة كقناة إعادة بناء.

إذا استعملنا مفهوم **macro-geometry** بوصفه متغيرا لا شعارا، فإن سؤال الباب يصبح: ما الذي يتغير في قراءة **coarse-graining** عندما تدخل كلفة التعقيد في قاموس الهندسة؟ هنا يظهر هاملتونيان مزدوج الأثر لا كزينة رياضية، بل كأداة تقيس الفرق بين ما تقوله صورة الماكرو وما تسمح به القناة الدقيقة.

القراءة الماكروية تنزع إلى ضغط كل شيء في سطح أو مسافة أو أفق. أما القراءة الهولوغرافية فتعامل السطح كحد إعادة بناء. الفرق بين القراءتين هو موقع الخرق الاختزالي: ليس لأن النسبية تنهار، بل لأن توصيفها لا يحمل كل معلومات code subspace.

$$H_{\text{int}}(t) = g(t)\, O_L(t) O_R(t)$$

اختبار جزئي: نطبق التوسع في N/1 ثم نقارن المؤشر مع نموذج عشوائي ونموذج قابل للتكامل؛ إذا بقي الفرق بعد perturbations صار مرشحا لخرق اختزالي لا لضجيج عددي.

اعتراض: قد يكون المؤشر أثرا لنموذج صغير لا لثقب دودي؛ والجواب المنهجي: لذلك لا يكفي fidelity واحد؛ يجب طلب حزمة قياسات مستقلة

مصدر مرتبط: S6.

الباب السادس: صياغة الخرق الاختزالي

مقطع 19: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب حجم مؤثر معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **wedge switch** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

تمييز: الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$F_{\mathrm{OTOC}}(t) = \langle W(t)V(0)W(t)V(0)\rangle$$

نقطة هدم: قد يعجز النموذج عن تجاوز AdS إلى de Sitter

مصدر مرتبط: S7.

الباب السادس: صياغة الخرق الاختزالي

مقطع 20: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان coarse-graining يمثل البنية، فإن nonlocal encoding يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$\Delta_{\mathrm{breach}} = A_{\mathrm{ch}}\, I_{\mathrm{rec}} - \lambda C_{\mathrm{gate}} - \mu D_{\mathrm{macro}}$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر معامل OTOC مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد يخفي coarse-graining افتراضا لا يمكن اختباره. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S8.

الباب السادس: صياغة الخرق الاختزالي

مقطع 21: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة خرق اختزالي وcausality كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$\mathcal{B} > 0 \Rightarrow \text{reduction breach} \neq \text{causal breach}$$

اختبار المحاكاة الكمومية يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S9.

الباب السابع: الفورماليزم المقترح

متغيرات، حدود، ودالة خرق

نعرّف الخرق لا كحدث منفرد بل كدالة: فرق بين ما تمنعه هندسة coarse-grained وبين ما تسمح به قناة reconstruction مشروطة بالتعقيد.

متغيرات الدالة ليست كلها هندسية: التعقيد C، الإنتروبيا المعممة S_gen، إتاحة القناة A_ch، تكرار الترميز R، وثبات المؤثرات تحت تغيير التقسيم I_inv.

redundancy	**breach functional**	**CGRB**
QES	**accessibility**	**invariance**
		OTOC

قاعدة الباب: لا تؤخذ المفاهيم هنا كأسماء، بل كعمليات: كل مفهوم يحدد قناة، كلفة، أو حد صلاحية.

$$\Delta_{\text{breach}} = A_{\text{ch}}\, I_{\text{rec}} - \lambda C_{\text{gate}} - \mu D_{\text{macro}}$$

الباب السابع: الفورماليزم المقترح

مقطع 1: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب ويدج التشابك معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **breach functional** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

تمييز: الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$t_* \sim \frac{\beta}{2\pi} \log S_{\mathrm{BH}}$$

نقطة هدم: قد يكون path integral يحسب متوسطا لا نظرية فردية

مصدر مرتبط: S16.

الباب السابع: الفورماليزم المقترح

مقطع 2: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان redundancy يمثل البنية، فإن accessibility يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$\frac{dC}{dt} \lesssim \frac{2M}{\pi\hbar}$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر منحنى Page مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد لا توجد observable مباشرة للهندسة الداخلية. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S17.

الباب السابع: الفورماليزم المقترح

مقطع 3: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة invariance وQES كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$C_V(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{V(\Sigma_{\max})}{G_N L}$$

اختبار المحاكاة الكمومية يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S18.

الباب السابع: الفورماليزم المقترح

مقطع 4: اعتراض المدرسة المنافسة

ستقول المدرسة المتحفظة إن كود تصحيح خطأ ليس أكثر من طريقة حسابية، وإن استعمال لغة الثقب الدودي يضخم نتيجة في نموذج toy. هذا الاعتراض صحيح جزئيا؛ لذلك يضع الكتاب معيارين: منع الانتقال من التشبيه إلى الوجود، ومن مؤشر واحد إلى إعلان.

الجواب ليس أن ننفي الاعتراض، بل أن نحوله إلى بروتوكول. إذا كان التفسير البديل يكفي، يسقط ادعاء الخرق. وإذا احتجنا حزمة من التشابك، التعقيد، الفوضى، والتحول السطحي، يصير لدينا مرشح علمي لا استعارة.

الاعتراض: قد يكون path integral يحسب متوسطا لا نظرية فردية

قاعدة الرد: لذلك نستخدم معيارا فارقا لا مرشحا هندسيا واحدا

$$C_A(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{I_{\mathrm{WDW}}}{\pi\hbar}$$

في هذا السياق، يصبح accessibility حدَّ صلاحية، ويصبح OTOC متغيرَ انتقال. لا يهم الاسم بقدر ما يهم: هل يتغير القياس عندما نفتح القناة؟

مصدر مرتبط: S19.

الباب السابع: الفورماليزم المقترح

مقطع 5: تركيب الباب الجزئي

نصل هنا إلى تركيب جزئي: ليست المسألة هل يوجد ثقب دودي بالمعنى الخيالي، بل هل توجد بنية معلوماتية تجعل وصفا هندسيا ماكرويا ناقصا عند حساب observable معين. هذا النقص هو الخرق الاختزالي.

العنصر	القيمة	الدور
المتغير	QES	يعطي بنية القراءة
القناة	CGRB	تحدد الإتاحة
الكلفة	سطح كموي متطرف	تفصل الممكن النظري عن الممكن العملي
الاختبار	المقارنة مع null model	يقيم قابلية التفنيد

إذا تعاملنا مع QES كمتغير هندسي ومع CGRB كمتغير قنوي، فالعلاقة بينهما لا تحسم بالخطاب بل بقياس التحول عند التلاعب بالديناميكا. لذلك يربط الكتاب بين CA/CV وQES وOTOC لا لأنها متطابقة، بل لأنها تقيس وجوها مختلفة من نفس الفجوة.

$$S(A) = \frac{\mathrm{Area}(\gamma_A)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}} + \cdots$$

خلاصة: كل باب ينتهي بقاعدة: لا هندسة بلا قاموس، لا قاموس بلا قناة، لا قناة بلا كلفة، ولا إعلان بلا معيار تفنيد.

مصدر مرتبط: S20.

الباب السابع: الفورماليزم المقترح

مقطع 6: من OTOC إلى breach functional

نعرّف الخرق لا كحدث منفرد بل كدالة: فرق بين ما تمنعه هندسة coarse-grained وبين ما تسمح به قناة reconstruction مشروطة بالتعقيد.

إذا استعملنا مفهوم **OTOC** بوصفه متغيرا لا شعارا، فإن سؤال الباب يصبح: ما الذي يتغير في قراءة **breach functional** عندما تدخل كلفة التعقيد في قاموس الهندسة؟ هنا يظهر قناة إعادة بناء لا كزينة رياضية، بل كأداة تقيس الفرق بين ما تقوله صورة الماكرو وما تسمح به القناة الدقيقة.

القراءة الماكروية تنزع إلى ضغط كل شيء في سطح أو مسافة أو أفق. أما القراءة الهولوغرافية فتعامل السطح كحد إعادة بناء. الفرق بين القراءتين هو موقع الخرق الاختزالي: ليس لأن النسبية تنهار، بل لأن توصيفها لا يحمل كل معلومات code subspace.

$$S(R) = \min_{I} \operatorname{ext}_{I}\left[\frac{\mathrm{Area}(\partial I)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}}(R \cup I)\right]$$

اختبار جزئي: نطبق تحليل الطور ثم نقارن المؤشر مع نموذج عشوائي ونموذج قابل للتكامل؛ إذا بقي الفرق بعد perturbations صار مرشحا لخرق اختزالي لا لضجيج عددي.

اعتراض: قد تكون الازدواجية غير فريدة لأن complexity equals anything يضعف التفرد؛ والجواب المنهجي: لذلك نستخدم معيارا فارقا لا مرشحا هندسيا واحدا

مصدر مرتبط: S21.

الباب السابع: الفورماليزم المقترح

مقطع 7: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب هاملتونيان مزدوج الأثر معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **CGRB** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

تمييز: الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$H_{\text{int}}(t) = g(t)\, O_L(t) O_R(t)$$

نقطة هدم: قد يكون path integral يحسب متوسطا لا نظرية فردية

مصدر مرتبط: S22.

الباب السابع: الفورماليزم المقترح

مقطع 8: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان breach functional يمثل البنية، فإن invariance يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$F_{\mathrm{OTOC}}(t) = \langle W(t)V(0)W(t)V(0)\rangle$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر حجم مؤثر مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد لا توجد observable مباشرة للهندسة الداخلية. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S23.

الباب السابع: الفورماليزم المقترح

مقطع 9: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة redundancy وaccessibility كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$\Delta_{\mathrm{breach}} = A_{\mathrm{ch}}\, I_{\mathrm{rec}} - \lambda C_{\mathrm{gate}} - \mu D_{\mathrm{macro}}$$

اختبار فحص finite-size effects يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S24.

الباب السابع: الفورماليزم المقترح

مقطع 10: اعتراض المدرسة المنافسة

ستقول المدرسة المتحفظة إن فعل رقعة Wheeler-DeWitt ليس أكثر من طريقة حسابية، وإن استعمال لغة الثقب الدودي يضخم نتيجة في نموذج toy. هذا الاعتراض صحيح جزئيا؛ لذلك يضع الكتاب معيارين: منع الانتقال من التشبيه إلى الوجود، ومن مؤشر واحد إلى إعلان.

الجواب ليس أن ننفي الاعتراض، بل أن نحوله إلى بروتوكول. إذا كان التفسير البديل يكفي، يسقط ادعاء الخرق. وإذا احتجنا حزمة من التشابك، التعقيد، الفوضى، والتحول السطحي، يصير لدينا مرشح علمي لا استعارة.

الاعتراض: قد يكون path integral يحسب متوسطا لا نظرية فردية

قاعدة الرد: لذلك نستخدم معيارا فارقا لا مرشحا هندسيا واحدا

$$\mathcal{B} > 0 \Rightarrow \text{reduction breach} \neq \text{causal breach}$$

في هذا السياق، يصبح invariance حدًّ صلاحية، ويصبح QES متغيرَ انتقال. لا يهم الاسم بقدر ما يهم: هل يتغير القياس عندما نفتح القناة؟

مصدر مرتبط: S25.

الباب السابع: الفورماليزم المقترح

مقطع 11: تركيب الباب الجزئي

نصل هنا إلى تركيب جزئي: ليست المسألة هل يوجد ثقب دودي بالمعنى الخيالي، بل هل توجد بنية معلوماتية تجعل وصفا هندسيا ماكرويا ناقصا عند حساب observable معين. هذا النقص هو الخرق الاختزالي.

العنصر	القيمة	الدور
المتغير	accessibility	يعطي بنية القراءة
القناة	OTOC	تحدد الإتاحة
الكلفة	ويدج التشابك	تفصل الممكن النظري عن الممكن العملي
الاختبار	المحاكاة الكمومية	يقيم قابلية التفنيد

إذا تعاملنا مع accessibility كمتغير هندسي ومع OTOC كمتغير قنوي، فالعلاقة بينهما لا تحسم بالخطاب بل بقياس التحول عند التلاعب بالديناميكا. لذلك يربط الكتّاب بين CA/CV وQES وOTOC لا لأنها متطابقة، بل لأنها تقيس وجوها مختلفة من نفس الفجوة.

$$t_* \sim \frac{\beta}{2\pi} \log S_{\mathrm{BH}}$$

خلاصة: كل باب ينتهي بقاعدة: لا هندسة بلا قاموس، لا قاموس بلا قناة، لا قناة بلا كلفة، ولا إعلان بلا معيار تفنيد.

مصدر مرتبط: S1.

الباب السابع: الفورماليزم المقترح

مقطع 12: من QES إلى CGRB

نعرّف الخرق لا كحدث منفرد بل كدالة: فرق بين ما تمنعه هندسة coarse-grained وبين ما تسمح به قناة reconstruction مشروطة بالتعقيد.

إذا استعملنا مفهوم **QES** بوصفه متغيرا لا شعارا، فإن سؤال الباب يصبح: ما الذي يتغير في قراءة **CGRB** عندما تدخل كلفة التعقيد في قاموس الهندسة؟ هنا يظهر منحنى Page لا كزينة رياضية، بل كأداة تقيس الفرق بين ما تقوله صورة الماكرو وما تسمح به القناة الدقيقة.

القراءة الماكروية تنزع إلى ضغط كل شيء في سطح أو مسافة أو أفق. أما القراءة الهولوغرافية فتعامل السطح كحد إعادة بناء. الفرق بين القراءتين هو موقع الخرق الاختزالي: ليس لأن النسبية تنهار، بل لأن توصيفها لا يحمل كل معلومات code subspace.

$$\frac{dC}{dt} \lesssim \frac{2M}{\pi\hbar}$$

اختبار جزئي: نطبق البرهان داخل toy model ثم نقارن المؤشر مع نموذج عشوائي ونموذج قابل للتكامل؛ إذا بقي الفرق بعد perturbations صار مرشحا لخرق اختزالي لا لضجيج عددي.

اعتراض: قد تكون الازدواجية غير فريدة لأن complexity equals anything يضعف التفرد؛ والجواب المنهجي: لذلك نستخدم معيارا فارقا لا مرشحا هندسيا واحدا

مصدر مرتبط: S2.

الباب السابع: الفورماليزم المقترح

مقطع 13: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب مؤثر حجمي معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **OTOC** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

تمييز: الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$C_V(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{V(\Sigma_{\max})}{G_N L}$$

نقطة هدم: قد يكون path integral يحسب متوسطا لا نظرية فردية

مصدر مرتبط: S3.

الباب السابع: الفورماليزم المقترح

مقطع 14: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان CGRB يمثل البنية، فإن redundancy يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$C_A(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{I_{\mathrm{WDW}}}{\pi\hbar}$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر كود تصحيح خطأ مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد لا توجد observable مباشرة للهندسة الداخلية. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S4.

الباب السابع: الفورماليزم المقترح

مقطع 15: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة breach functional وinvariance كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$S(A) = \frac{\mathrm{Area}(\gamma_A)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}} + \cdots$$

اختبار اختبار الاستقرار تحت perturbation يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S5.

الباب السابع: الفورماليزم المقترح

مقطع 16: اعتراض المدرسة المنافسة

ستقول المدرسة المتحفظة إن قناة إعادة بناء ليس أكثر من طريقة حسابية، وإن استعمال لغة الثقب الدودي يضخم نتيجة في نموذج toy. هذا الاعتراض صحيح جزئيا؛ لذلك يضع الكتاب معيارين: منع الانتقال من التشبيه إلى الوجود، ومن مؤشر واحد إلى إعلان.

الجواب ليس أن ننفي الاعتراض، بل أن نحوله إلى بروتوكول. إذا كان التفسير البديل يكفي، يسقط ادعاء الخرق. وإذا احتجنا حزمة من التشابك، التعقيد، الفوضى، والتحول السطحي، يصير لدينا مرشح علمي لا استعارة.

الاعتراض: قد يكون path integral يحسب متوسطا لا نظرية فردية

قاعدة الرد: لذلك نستخدم معيارا فارقا لا مرشحا هندسيا واحدا

$$S(R) = \min_{I} \operatorname{ext}_{I}\left[\frac{\mathrm{Area}(\partial I)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}}(R \cup I)\right]$$

في هذا السياق، يصبح redundancy حدًّا صلاحية، ويصبح accessibility متغيرَ انتقال. لا يهم الاسم بقدر ما يهم: هل يتغير القياس عندما نفتح القناة؟

مصدر مرتبط: S6.

الباب السابع: الفورماليزم المقترح

مقطع 17: تركيب الباب الجزئي

نصل هنا إلى تركيب جزئي: ليست المسألة هل يوجد ثقب دودي بالمعنى الخيالي، بل هل توجد بنية معلوماتية تجعل وصفا هندسيا ماكرويا ناقصا عند حساب observable معين. هذا النقص هو الخرق الاختزالي.

العنصر	القيمة	الدور
المتغير	invariance	يعطي بنية القراءة
القناة	QES	تحدد الإتاحة
الكلفة	هاملتونيان مزدوج الأثر	تفصل الممكن النظري عن الممكن العملي
الاختبار	فحص finite-size effects	يقيم قابلية التفنيد

إذا تعاملنا مع invariance كمتغير هندسي ومع QES كمتغير قنوي، فالعلاقة بينهما لا تحسم بالخطاب بل بقياس التحول عند التلاعب بالديناميكا. لذلك يربط الكتاب بين CA/CV وQES وOTOC لا لأنها متطابقة، بل لأنها تقيس وجوها مختلفة من نفس الفجوة.

$$H_{\mathrm{int}}(t) = g(t)\, O_L(t) O_R(t)$$

خلاصة: كل باب ينتهي بقاعدة: لا هندسة بلا قاموس، لا قاموس بلا قناة، لا قناة بلا كلفة، ولا إعلان بلا معيار تفنيد.

مصدر مرتبط: S7.

الباب السابع: الفورماليزم المقترح

مقطع 18: من accessibility إلى OTOC

نعرّف الخرق لا كحدث منفرد بل كدالة: فرق بين ما تمنعه هندسة coarse-grained وبين ما تسمح به قناة reconstruction مشروطة بالتعقيد.

إذا استعملنا مفهوم **accessibility** بوصفه متغيرا لا شعارا، فإن سؤال الباب يصبح: ما الذي يتغير في قراءة **OTOC** عندما تدخل كلفة التعقيد في قاموس الهندسة؟ هنا يظهر حجم مؤثر لا كزينة رياضية، بل كأداة تقيس الفرق بين ما تقوله صورة الماكرو وما تسمح به القناة الدقيقة.

القراءة الماكروية تنزع إلى ضغط كل شيء في سطح أو مسافة أو أفق. أما القراءة الهولوغرافية فتعامل السطح كحد إعادة بناء. الفرق بين القراءتين هو موقع الخرق الاختزالي: ليس لأن النسبية تنهار، بل لأن توصيفها لا يحمل كل معلومات code subspace.

$$F_{\mathrm{OTOC}}(t) = \langle W(t)V(0)W(t)V(0)\rangle$$

اختبار جزئي: نطبق القياس العددي ثم نقارن المؤشر مع نموذج عشوائي ونموذج قابل للتكامل؛ إذا بقي الفرق بعد perturbations صار مرشحا لخرق اختزالي لا لضجيج عددي.

اعتراض: قد تكون الازدواجية غير فريدة لأن complexity equals anything يضعف التفرد؛ والجواب المنهجي: لذلك نستخدم معيارا فارقا لا مرشحا هندسيا واحدا

مصدر مرتبط: S8.

الباب السابع: الفورماليزم المقترح

مقطع 19: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب معامل OTOC معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **QES** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

تمييز: الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$\Delta_{\mathrm{breach}} = A_{\mathrm{ch}}\, I_{\mathrm{rec}} - \lambda C_{\mathrm{gate}} - \mu D_{\mathrm{macro}}$$

نقطة هدم: قد يكون path integral يحسب متوسطا لا نظرية فردية

مصدر مرتبط: S9.

الباب السابع: الفورماليزم المقترح

مقطع 20: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان OTOC يمثل البنية، فإن breach functional يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$\mathcal{B} > 0 \Rightarrow \text{reduction breach} \neq \text{causal breach}$$

> **فرضية محلية:** إذا تحسن نقل المعلومة عبر فعل رقعة Wheeler-DeWitt مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد لا توجد observable مباشرة للهندسة الداخلية. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S10.

الباب السابع: الفورماليزم المقترح

مقطع 21: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة CGRB وredundancy كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$t_* \sim \frac{\beta}{2\pi} \log S_{\mathrm{BH}}$$

اختبار المقارنة مع null model يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S11.

الباب السابع: الفورماليزم المقترح

مقطع 22: اعتراض المدرسة المنافسة

ستقول المدرسة المتحفظة إن منحنى Page ليس أكثر من طريقة حسابية، وإن استعمال لغة الثقب الدودي يضخم نتيجة في نموذج toy. هذا الاعتراض صحيح جزئيا؛ لذلك يضع الكتاب معيارين: منع الانتقال من التشبيه إلى الوجود، ومن مؤشر واحد إلى إعلان.

الجواب ليس أن ننفي الاعتراض، بل أن نحوله إلى بروتوكول. إذا كان التفسير البديل يكفي، يسقط ادعاء الخرق. وإذا احتجنا حزمة من التشابك، التعقيد، الفوضى، والتحول السطحي، يصير لدينا مرشح علمي لا استعارة.

الاعتراض: قد يكون path integral يحسب متوسطا لا نظرية فردية

قاعدة الرد: لذلك نستخدم معيارا فارقا لا مرشحا هندسيا واحدا

$$\frac{dC}{dt} \lesssim \frac{2M}{\pi \hbar}$$

في هذا السياق، يصبح breach functional حدَّ صلاحية، ويصبح invariance متغيرَ انتقال. لا يهم الاسم بقدر ما يهم: هل يتغير القياس عندما نفتح القناة؟

مصدر مرتبط: S12.

الباب السابع: الفورماليزم المقترح

مقطع 23: تركيب الباب الجزئي

نصل هنا إلى تركيب جزئي: ليست المسألة هل يوجد ثقب دودي بالمعنى الخيالي، بل هل توجد بنية معلوماتية تجعل وصفا هندسيا ماكرويا ناقصا عند حساب observable معين. هذا النقص هو الخرق الاختزالي.

العنصر	القيمة	الدور
المتغير	redundancy	يعطي بنية القراءة
القناة	accessibility	تحدد الإتاحة
الكلفة	مؤثر جمعي	تفصل الممكن النظري عن الممكن العملي
الاختبار	اختبار الاستقرار تحت perturbation	يقيم قابلية التفنيد

إذا تعاملنا مع redundancy كمتغير هندسي ومع accessibility كمتغير قنوي، فالعلاقة بينهما لا تحسم بالخطاب بل بقياس التحول عند التلاعب بالديناميكا. لذلك يربط الكتاب بين CA/CV وQES وOTOC لا لأنها متطابقة، بل لأنها تقيس وجوها مختلفة من نفس الفجوة.

$$C_V(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{V(\Sigma_{\max})}{G_N L}$$

خلاصة: كل باب ينتهي بقاعدة: لا هندسة بلا قاموس، لا قاموس بلا قناة، لا قناة بلا كلفة، ولا إعلان بلا معيار تفنيد.

مصدر مرتبط: S13.

الباب الثامن: برنامج التجريب

من SYK إلى المعالج الكمومي إلى شبكات التصحيح

لا يمكن اختبار ثقب دودي كوني مباشرة، لكن يمكن اختبار بنية الادعاء: هل توجد قناة ديناميكية تحمل توقيع wormhole teleportation لا يختزل إلى خدعة نموذج صغير؟

البرنامج التجريبي يجب أن يبدأ بنماذج قابلة للتفنيد: SYK غير مفرط الاختزال، هاملتونيانات غير متبادلة، حجم أعلى، عشوائية ensembles، ومقارنة صارمة مع null models.

SYK	**JT gravity**	**quantum processor**
tensor networks	**HaPPY**	**null models**
fidelity	**thermalization**	

قاعدة الباب: لا تؤخذ المفاهيم هنا كأسماء، بل كعمليات: كل مفهوم يحدد قناة، كلفة، أو حد صلاحية.

$$\mathcal{B} > 0 \Rightarrow \text{reduction breach} \neq \text{causal breach}$$

الباب الثامن: برنامج التجريب

مقطع 1: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب منحنى Page معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **JT gravity** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

> **تمييز:** الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$\frac{dC}{dt} \lesssim \frac{2M}{\pi\hbar}$$

> **نقطة هدم:** قد يخفي coarse-graining افتراضا لا يمكن اختباره

مصدر مرتبط: S18.

الباب الثامن: برنامج التجريب

مقطع 2: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان quantum processor يمثل البنية، فإن HaPPY يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$C_V(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{V(\Sigma_{\max})}{G_N L}$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر مؤثر حجمي مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد يكون المؤشر أثرا لنموذج صغير لا لثقب دودي. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S19.

الباب الثامن: برنامج التجريب

مقطع 3: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة tensor networks وnull models كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$C_A(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{I_{\mathrm{WDW}}}{\pi\hbar}$$

اختبار المقارنة مع null model يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S20.

الباب الثامن: برنامج التجريب

مقطع 4: اعتراض المدرسة المنافسة

ستقول المدرسة المتحفظة إن سطح كومي متطرف ليس أكثر من طريقة حسابية، وإن استعمال لغة الثقب الدودي يضخم نتيجة في نموذج toy. هذا الاعتراض صحيح جزئيا؛ لذلك يضع الكتاب معيارين: منع الانتقال من التشبيه إلى الوجود، ومن مؤشر واحد إلى إعلان.

الجواب ليس أن ننفي الاعتراض، بل أن نحوله إلى بروتوكول. إذا كان التفسير البديل يكفي، يسقط ادعاء الخرق. وإذا احتجنا حزمة من التشابك، التعقيد، الفوضى، والتحول السطحي، يصير لدينا مرشح علمي لا استعارة.

الاعتراض: قد يخفي coarse-graining افتراضا لا يمكن اختباره

قاعدة الرد: لذلك نعلن نسخة toy قابلة للتجريب لا رصدا كونيا

$$S(A) = \frac{\mathrm{Area}(\gamma_A)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}} + \cdots$$

في هذا السياق، يصبح HaPPY حدًّا صلاحية، ويصبح fidelity متغيرَ انتقال. لا يهم الاسم بقدر ما يهم: هل يتغير القياس عندما نفتح القناة؟

مصدر مرتبط: S21.

الباب الثامن: برنامج التجريب

مقطع 5: تركيب الباب الجزئي

نصل هنا إلى تركيب جزئي: ليست المسألة هل يوجد ثقب دودي بالمعنى الخيالي، بل هل توجد بنية معلوماتية تجعل وصفا هندسيا ماكرويا ناقصا عند حساب observable معين. هذا النقص هو الخرق الاختزالي.

العنصر	القيمة	الدور
المتغير	null models	يعطي بنية القراءة
القناة	thermalization	تحدد الإتاحة
الكلفة	قناة إعادة بناء	تفصل الممكن النظري عن الممكن العملي
الاختبار	اختبار الاستقرار تحت perturbation	يقيم قابلية التفنيد

إذا تعاملنا مع null models كمتغير هندسي ومع thermalization كمتغير قنوي، فالعلاقة بينهما لا تحسم بالخطاب بل بقياس التحول عند التلاعب بالديناميكا. لذلك يربط الكتاب بين CA/CV وQES وOTOC لا لأنها متطابقة، بل لأنها تقيس وجوها مختلفة من نفس الفجوة.

$$S(R) = \min_{I} \operatorname{ext}_{I}\left[\frac{\mathrm{Area}(\partial I)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}}(R \cup I)\right]$$

خلاصة: كل باب ينتهي بقاعدة: لا هندسة بلا قاموس، لا قاموس بلا قناة، لا قناة بلا كلفة، ولا إعلان بلا معيار تفنيد.

مصدر مرتبط: S22.

الباب الثامن: برنامج التجريب

مقطع 6: من fidelity إلى SYK

لا يمكن اختبار ثقب دودي كوني مباشرة، لكن يمكن اختبار بنية الادعاء: هل توجد قناة ديناميكية تحمل توقيع wormhole teleportation لا يختزل إلى خدعة نموذج صغير؟

إذا استعملنا مفهوم **fidelity** بوصفه متغيرا لا شعارا، فإن سؤال الباب يصبح: ما الذي يتغير في قراءة **SYK** عندما تدخل كلفة التعقيد في قاموس الهندسة؟ هنا يظهر هاملتونيان مزدوج الأثر لا كزينة رياضية، بل كأداة تقيس الفرق بين ما تقوله صورة الماكرو وما تسمح به القناة الدقيقة.

القراءة الماكروية تنزع إلى ضغط كل شيء في سطح أو مسافة أو أفق. أما القراءة الهولوغرافية فتعامل السطح كحد إعادة بناء. الفرق بين القراءتين هو موقع الخرق الاختزالي: ليس لأن النسبية تنهار، بل لأن توصيفها لا يحمل كل معلومات code subspace.

$$H_{\text{int}}(t) = g(t)\, O_L(t) O_R(t)$$

اختبار جزئي: نطبق التوسع في N/1 ثم نقارن المؤشر مع نموذج عشوائي ونموذج قابل للتكامل؛ إذا بقي الفرق بعد perturbations صار مرشحا لخرق اختزالي لا لضجيج عددي.

اعتراض: قد يعجز النموذج عن تجاوز AdS إلى de Sitter؛ والجواب المنهجي: لذلك نعلن نسخة toy قابلة للتجريب لا رصدا كونيا

مصدر مرتبط: S23.

الباب الثامن: برنامج التجريب

مقطع 7: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب حجم مؤثر معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **thermalization** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

> **تمييز:** الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$F_{\mathrm{OTOC}}(t) = \langle W(t)V(0)W(t)V(0)\rangle$$

> **نقطة هدم:** قد يخفي coarse-graining افتراضا لا يمكن اختباره

مصدر مرتبط: S24.

الباب الثامن: برنامج التجريب

مقطع 8: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان SYK يمثل البنية، فإن quantum processor يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$\Delta_{\mathrm{breach}} = A_{\mathrm{ch}}\, I_{\mathrm{rec}} - \lambda C_{\mathrm{gate}} - \mu D_{\mathrm{macro}}$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر معامل OTOC مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد يكون المؤشر أثرا لنموذج صغير لا لثقب دودي. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S25.

الباب الثامن: برنامج التجريب

مقطع 9: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة JT gravity وtensor networks كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$\mathcal{B} > 0 \Rightarrow \text{reduction breach} \neq \text{causal breach}$$

اختبار المحاكاة الكمومية يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S1.

الباب الثامن: برنامج التجريب

مقطع 10: اعتراض المدرسة المنافسة

ستقول المدرسة المتحفظة إن ويدج التشابك ليس أكثر من طريقة حسابية، وإن استعمال لغة الثقب الدودي يضخم نتيجة في نموذج toy. هذا الاعتراض صحيح جزئيا؛ لذلك يضع الكتاب معيارين: منع الانتقال من التشبيه إلى الوجود، ومن مؤشر واحد إلى إعلان.

الجواب ليس أن ننفي الاعتراض، بل أن نحوله إلى بروتوكول. إذا كان التفسير البديل يكفي، يسقط ادعاء الخرق. وإذا احتجنا حزمة من التشابك، التعقيد، الفوضى، والتحول السطحي، يصير لدينا مرشح علمي لا استعارة.

الاعتراض: قد يخفي coarse-graining افتراضا لا يمكن اختباره

قاعدة الرد: لذلك نعلن نسخة toy قابلة للتجريب لا رصدا كونيا

$$t_* \sim \frac{\beta}{2\pi} \log S_{\mathrm{BH}}$$

في هذا السياق، يصبح quantum processor حدًّ صلاحية، ويصبح HaPPY متغيرَ انتقال. لا يهم الاسم بقدر ما يهم: هل يتغير القياس عندما نفتح القناة؟

مصدر مرتبط: S2.

الباب الثامن: برنامج التجريب

مقطع 11: تركيب الباب الجزئي

نصل هنا إلى تركيب جزئي: ليست المسألة هل يوجد ثقب دودي بالمعنى الخيالي، بل هل توجد بنية معلوماتية تجعل وصفا هندسيا ماكرويا ناقصا عند حساب observable معين. هذا النقص هو الخرق الاختزالي.

العنصر	القيمة	الدور
المتغير	tensor networks	يعطي بنية القراءة
القناة	null models	تحدد الإتاحة
الكلفة	منحنى Page	تفصل الممكن النظري عن الممكن العملي
الاختبار	المقارنة مع null model	يقيم قابلية التفنيد

إذا تعاملنا مع tensor networks كمتغير هندسي ومع null models كمتغير قنوي، فالعلاقة بينهما لا تحسم بالخطاب بل بقياس التحول عند التلاعب بالديناميكا. لذلك يربط الكتّاب بين CA/CV وQES وOTOC لا لأنها متطابقة، بل لأنها تقيس وجوها مختلفة من نفس الفجوة.

$$\frac{dC}{dt} \lesssim \frac{2M}{\pi\hbar}$$

خلاصة: كل باب ينتهي بقاعدة: لا هندسة بلا قاموس، لا قاموس بلا قناة، لا قناة بلا كلفة، ولا إعلان بلا معيار تفنيد.

مصدر مرتبط: S3.

الباب الثامن: برنامج التجريب

مقطع 12: من HaPPY إلى fidelity

لا يمكن اختبار ثقب دودي كوني مباشرة، لكن يمكن اختبار بنية الادعاء: هل توجد قناة ديناميكية تحمل توقيع wormhole teleportation لا يختزل إلى خدعة نموذج صغير؟

إذا استعملنا مفهوم **HaPPY** بوصفه متغيرا لا شعارا، فإن سؤال الباب يصبح: ما الذي يتغير في قراءة **fidelity** عندما تدخل كلفة التعقيد في قاموس الهندسة؟ هنا يظهر مؤثر حجمي لا كزينة رياضية، بل كأداة تقيس الفرق بين ما تقوله صورة الماكرو وما تسمح به القناة الدقيقة.

القراءة الماكروية تنزع إلى ضغط كل شيء في سطح أو مسافة أو أفق. أما القراءة الهولوغرافية فتعامل السطح كحد إعادة بناء. الفرق بين القراءتين هو موقع الخرق الاختزالي: ليس لأن النسبية تنهار، بل لأن توصيفها لا يحمل كل معلومات code subspace.

$$C_V(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{V(\Sigma_{\max})}{G_N L}$$

اختبار جزئي: نطبق تحليل الطور ثم نقارن المؤشر مع نموذج عشوائي ونموذج قابل للتكامل؛ إذا بقي الفرق بعد perturbations صار مرشحا لخرق اختزالي لا لضجيج عددي.

اعتراض: قد يعجز النموذج عن تجاوز AdS إلى de Sitter؛ والجواب المنهجي: لذلك نعلن نسخة toy قابلة للتجريب لا رصدا كونيا

مصدر مرتبط: S4.

الباب الثامن: برنامج التجريب

مقطع 13: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب كود تصحيح خطأ معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **null models** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

تمييز: الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$C_A(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{I_{\mathrm{WDW}}}{\pi\hbar}$$

نقطة هدم: قد يخفي coarse-graining افتراضا لا يمكن اختباره

مصدر مرتبط: S5.

الباب الثامن: برنامج التجريب

مقطع 14: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان fidelity يمثل البنية، فإن SYK يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$S(A) = \frac{\mathrm{Area}(\gamma_A)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}} + \cdots$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر سطح كمومي متطرف مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد يكون المؤشر أثرا لنموذج صغير لا لثقب دودي. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S6.

الباب الثامن: برنامج التجريب

مقطع 15: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة thermalization وJT gravity كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$S(R) = \min_{I} \operatorname{ext}_{I}\left[\frac{\mathrm{Area}(\partial I)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}}(R \cup I)\right]$$

اختبار فحص finite-size effects يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S7.

الباب الثامن: برنامج التجريب

مقطع 16: اعتراض المدرسة المنافسة

ستقول المدرسة المتحفظة إن هاملتونيان مزدوج الأثر ليس أكثر من طريقة حسابية، وإن استعمال لغة الثقب الدودي يضخم نتيجة في نموذج toy. هذا الاعتراض صحيح جزئيا؛ لذلك يضع الكتاب معيارين: منع الانتقال من التشبيه إلى الوجود، ومن مؤشر واحد إلى إعلان.

الجواب ليس أن ننفي الاعتراض، بل أن نحوله إلى بروتوكول. إذا كان التفسير البديل يكفي، يسقط ادعاء الخرق. وإذا احتجنا حزمة من التشابك، التعقيد، الفوضى، والتحول السطحي، يصير لدينا مرشح علمي لا استعارة.

الاعتراض: قد يخفي coarse-graining افتراضا لا يمكن اختباره

قاعدة الرد: لذلك نعلن نسخة toy قابلة للتجريب لا رصدا كونيا

$$H_{\mathrm{int}}(t) = g(t)\, O_L(t) O_R(t)$$

في هذا السياق، يصبح SYK حدًّ صلاحية، ويصبح quantum processor متغيرَ انتقال. لا يهم الاسم بقدر ما يهم: هل يتغير القياس عندما نفتح القناة؟

مصدر مرتبط: S8.

الباب الثامن: برنامج التجريب

مقطع 17: تركيب الباب الجزئي

نصل هنا إلى تركيب جزئي: ليست المسألة هل يوجد ثقب دودي بالمعنى الخيالي، بل هل توجد بنية معلوماتية تجعل وصفا هندسيا ماكرويا ناقصا عند حساب observable معين. هذا النقص هو الخرق الاختزالي.

العنصر	القيمة	الدور
المتغير	JT gravity	يعطي بنية القراءة
القناة	tensor networks	تحدد الإتاحة
الكلفة	حجم مؤثر	تفصل الممكن النظري عن الممكن العملي
الاختبار	المحاكاة الكمومية	يقيم قابلية التفنيد

إذا تعاملنا مع JT gravity كمتغير هندسي ومع tensor networks كمتغير قنوي، فالعلاقة بينهما لا تحسم بالخطاب بل بقياس التحول عند التلاعب بالديناميكا. لذلك يربط الكتاب بين CA/CV وQES وOTOC لا لأنها متطابقة، بل لأنها تقيس وجوها مختلفة من نفس الفجوة.

$$F_{\mathrm{OTOC}}(t) = \langle W(t)V(0)W(t)V(0)\rangle$$

خلاصة: كل باب ينتهي بقاعدة: لا هندسة بلا قاموس، لا قاموس بلا قناة، لا قناة بلا كلفة، ولا إعلان بلا معيار تفنيد.

مصدر مرتبط: S9.

الباب الثامن: برنامج التجريب

مقطع 18: من quantum processor إلى HaPPY

لا يمكن اختبار ثقب دودي كوني مباشرة، لكن يمكن اختبار بنية الادعاء: هل توجد قناة ديناميكية تحمل توقيع wormhole teleportation لا يختزل إلى خدعة نموذج صغير؟

إذا استعملنا مفهوم **quantum processor** بوصفه متغيرا لا شعارا، فإن سؤال الباب يصبح: ما الذي يتغير في قراءة **HaPPY** عندما تدخل كلفة التعقيد في قاموس الهندسة؟ هنا يظهر معامل OTOC لا كزينة رياضية، بل كأداة تقيس الفرق بين ما تقوله صورة الماكرو وما تسمح به القناة الدقيقة.

القراءة الماكروية تنزع إلى ضغط كل شيء في سطح أو مسافة أو أفق. أما القراءة الهولوغرافية فتعامل السطح كحد إعادة بناء. الفرق بين القراءتين هو موقع الخرق الاختزالي: ليس لأن النسبية تنهار، بل لأن توصيفها لا يحمل كل معلومات code subspace.

$$\Delta_{\mathrm{breach}} = A_{\mathrm{ch}}\, I_{\mathrm{rec}} - \lambda C_{\mathrm{gate}} - \mu D_{\mathrm{macro}}$$

اختبار جزئي: نطبق البرهان داخل toy model ثم نقارن المؤشر مع نموذج عشوائي ونموذج قابل للتكامل؛ إذا بقي الفرق بعد perturbations صار مرشحا لخرق اختزالي لا لضجيج عددي.

اعتراض: قد يعجز النموذج عن تجاوز AdS إلى de Sitter؛ والجواب المنهجي: لذلك نعلن نسخة toy قابلة للتجريب لا رصدا كونيا.

مصدر مرتبط: S10.

الباب الثامن: برنامج التجريب

مقطع 19: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب فعل رقعة Wheeler-DeWitt معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **tensor networks** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

> **تمييز:** الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$\mathcal{B} > 0 \Rightarrow \text{reduction breach} \neq \text{causal breach}$$

> **نقطة هدم:** قد يخفي coarse-graining افتراضا لا يمكن اختباره

مصدر مرتبط: S11.

الباب الثامن: برنامج التجريب

مقطع 20: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان HaPPY يمثل البنية، فإن fidelity يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$t_* \sim \frac{\beta}{2\pi} \log S_{\mathrm{BH}}$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر ويدج التشابك مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد يكون المؤشر أثرا لنموذج صغير لا لثقب دودي. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S12.

الباب الثامن: برنامج التجريب

مقطع 21: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة null models وthermalization كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$\frac{dC}{dt} \lesssim \frac{2M}{\pi\hbar}$$

اختبار اختبار الاستقرار تحت perturbation يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S13.

الباب الثامن: برنامج التجريب

مقطع 22: اعتراض المدرسة المنافسة

ستقول المدرسة المتحفظة إن مؤثر جمي ليس أكثر من طريقة حسابية، وإن استعمال لغة الثقب الدودي يضخم نتيجة في نموذج toy. هذا الاعتراض صحيح جزئيا؛ لذلك يضع الكتاب معيارين: منع الانتقال من التشبيه إلى الوجود، ومن مؤشر واحد إلى إعلان.

الجواب ليس أن ننفي الاعتراض، بل أن نحوله إلى بروتوكول. إذا كان التفسير البديل يكفي، يسقط ادعاء الخرق. وإذا احتجنا حزمة من التشابك، التعقيد، الفوضى، والتحول السطحي، يصير لدينا مرشح علمي لا استعارة.

الاعتراض: قد يخفي coarse-graining افتراضا لا يمكن اختباره

قاعدة الرد: لذلك نعلن نسخة toy قابلة للتجريب لا رصدا كونيا

$$C_V(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{V(\Sigma_{\max})}{G_N L}$$

في هذا السياق، يصبح fidelity حدًّ صلاحية، ويصبح SYK متغيرَ انتقال. لا يهم الاسم بقدر ما يهم: هل يتغير القياس عندما نفتح القناة؟

مصدر مرتبط: S14.

الباب الثامن: برنامج التجريب

مقطع 23: تركيب الباب الجزئي

نصل هنا إلى تركيب جزئي: ليست المسألة هل يوجد ثقب دودي بالمعنى الخيالي، بل هل توجد بنية معلوماتية تجعل وصفا هندسيا ماكرويا ناقصا عند حساب observable معين. هذا النقص هو الخرق الاختزالي.

العنصر	القيمة	الدور
المتغير	thermalization	يعطي بنية القراءة
القناة	JT gravity	تحدد الإتاحة
الكلفة	كود تصحيح خطأ	تفصل الممكن النظري عن الممكن العملي
الاختبار	فحص finite-size effects	يقيم قابلية التفنيد

إذا تعاملنا مع thermalization كمتغير هندسي ومع JT gravity كمتغير قنوي، فالعلاقة بينهما لا تحسم بالخطاب بل بقياس التحول عند التلاعب بالديناميكا. لذلك يربط الكتاب بين CA/CV وQES وOTOC لا لأنها متطابقة، بل لأنها تقيس وجوها مختلفة من نفس الفجوة.

$$C_A(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{I_{\mathrm{WDW}}}{\pi\hbar}$$

خلاصة: كل باب ينتهي بقاعدة: لا هندسة بلا قاموس، لا قاموس بلا قناة، لا قناة بلا كلفة، ولا إعلان بلا معيار تفنيد.

مصدر مرتبط: S15.

الباب التاسع: مقارنة المدارس

الهندسة، المعلومة، التعقيد، والواقعية

المدرسة الهندسية ترى الثقب الدودي حلا، المدرسة المعلوماتية تراه تمثيلا، مدرسة التعقيد تراه كلفة وصول، والنقد ensemble يسأل: هل تصف الجاذبية نظرية واحدة أم متوسطا؟

قوة النموذج المقترح أنه لا يطلب اختيارا مبكرا بين الواقعية والترميز، بل يجعل الاختبار في الفجوة بينهما.

complexity realism	**information-first**	**geometric realism**
emergence	**operationalism**	**ensemble criticism**

قاعدة الباب: لا تؤخذ المفاهيم هنا كأسماء، بل كعمليات: كل مفهوم يحدد قناة، كلفة، أو حد صلاحية.

$$t_* \sim \frac{\beta}{2\pi} \log S_{\mathrm{BH}}$$

الباب التاسع: مقارنة المدارس

مقطع 1: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب مؤثر حجمي معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **information-first** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

تمييز: الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$C_V(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{V(\Sigma_{\max})}{G_N L}$$

نقطة هدم: قد لا توجد observable مباشرة للهندسة الداخلية

مصدر مرتبط: S20.

الباب التاسع: مقارنة المدارس

مقطع 2: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان complexity realism يمثل البنية، فإن operationalism يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$C_A(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{I_{\mathrm{WDW}}}{\pi\hbar}$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر كود تصحيح خطأ مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد تكون الازدواجية غير فريدة لأن complexity equals anything يضعف التفرد. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S21.

الباب التاسع: مقارنة المدارس

مقطع 3: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة ensemble criticism وemergence كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$S(A) = \frac{\mathrm{Area}(\gamma_A)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}} + \cdots$$

اختبار اختبار الاستقرار تحت perturbation يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S22.

الباب التاسع: مقارنة المدارس

مقطع 4: اعتراض المدرسة المنافسة

ستقول المدرسة المتحفظة إن قناة إعادة بناء ليس أكثر من طريقة حسابية، وإن استعمال لغة الثقب الدودي يضخم نتيجة في نموذج toy. هذا الاعتراض صحيح جزئيا؛ لذلك يضع الكتاب معيارين: منع الانتقال من التشبيه إلى الوجود، ومن مؤشر واحد إلى إعلان.

الجواب ليس أن ننفي الاعتراض، بل أن نحوله إلى بروتوكول. إذا كان التفسير البديل يكفي، يسقط ادعاء الخرق. وإذا احتجنا حزمة من التشابك، التعقيد، الفوضى، والتحول السطحي، يصير لدينا مرشح علمي لا استعارة.

الاعتراض: قد لا توجد observable مباشرة للهندسة الداخلية

قاعدة الرد: لذلك ندخل ensemble criticism في قلب البروتوكول

$$S(R) = \min_{I} \operatorname{ext}_{I}\left[\frac{\mathrm{Area}(\partial I)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}}(R \cup I)\right]$$

في هذا السياق، يصبح operationalism حدًّا صلاحية، ويصبح geometric realism متغيرَ انتقال. لا يهم الاسم بقدر ما يهم: هل يتغير القياس عندما نفتح القناة؟

مصدر مرتبط: S23.

الباب التاسع: مقارنة المدارس

مقطع 5: تركيب الباب الجزئي

نصل هنا إلى تركيب جزئي: ليست المسألة هل يوجد ثقب دودي بالمعنى الخيالي، بل هل توجد بنية معلوماتية تجعل وصفا هندسيا ماكرويا ناقصا عند حساب observable معين. هذا النقص هو الخرق الاختزالي.

العنصر	القيمة	الدور
المتغير	emergence	يعطي بنية القراءة
القناة	information-first	تحدد الإتاحة
الكلفة	هاملتونيان مزدوج الأثر	تفصل الممكن النظري عن الممكن العملي
الاختبار	فحص finite-size effects	يقيم قابلية التفنيد

إذا تعاملنا مع emergence كمتغير هندسي ومع information-first كمتغير قنوي، فالعلاقة بينهما لا تحسم بالخطاب بل بقياس التحول عند التلاعب بالديناميكا. لذلك يربط الكتاب بين CA/CV وQES وOTOC لا لأنها متطابقة، بل لأنها تقيس وجوها مختلفة من نفس الفجوة.

$$H_{\mathrm{int}}(t) = g(t)\, O_L(t) O_R(t)$$

خلاصة: كل باب ينتهي بقاعدة: لا هندسة بلا قاموس، لا قاموس بلا قناة، لا قناة بلا كلفة، ولا إعلان بلا معيار تفنيد.

مصدر مرتبط: S24.

الباب التاسع: مقارنة المدارس

مقطع 6: من geometric realism إلى complexity realism

المدرسة الهندسية ترى الثقب الدودي حلا؛ المدرسة المعلوماتية تراه تمثيلا؛ مدرسة التعقيد تراه كلفة وصول؛ والنقد ensemble يسأل: هل تصف الجاذبية نظرية واحدة أم متوسطا؟

إذا استعملنا مفهوم **geometric realism** بوصفه متغيرا لا شعارا، فإن سؤال الباب يصبح: ما الذي يتغير في قراءة **complexity realism** عندما تدخل كلفة التعقيد في قاموس الهندسة؟ هنا يظهر حجم مؤثر لا كزينة رياضية، بل كأداة تقيس الفرق بين ما تقوله صورة الماكرو وما تسمح به القناة الدقيقة.

القراءة الماكروية تنزع إلى ضغط كل شيء في سطح أو مسافة أو أفق. أما القراءة الهولوغرافية فتعامل السطح كحد إعادة بناء. الفرق بين القراءتين هو موقع الخرق الاختزالي: ليس لأن النسبية تنهار، بل لأن توصيفها لا يحمل كل معلومات code subspace.

$$F_{\mathrm{OTOC}}(t) = \langle W(t)V(0)W(t)V(0)\rangle$$

اختبار جزئي: نطبق القياس العددي ثم نقارن المؤشر مع نموذج عشوائي ونموذج قابل للتكامل؛ إذا بقي الفرق بعد perturbations صار مرشحا لخرق اختزالي لا لضجيج عددي.

اعتراض: قد يكون path integral يحسب متوسطا لا نظرية فردية؛ والجواب المنهجي: لذلك ندخل ensemble criticism في قلب البروتوكول

مصدر مرتبط: S25.

الباب التاسع: مقارنة المدارس

مقطع 7: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب معامل OTOC معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **information-first** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

تمييز: الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$\Delta_{\text{breach}} = A_{\text{ch}}\, I_{\text{rec}} - \lambda C_{\text{gate}} - \mu D_{\text{macro}}$$

نقطة هدم: قد لا توجد observable مباشرة للهندسة الداخلية

مصدر مرتبط: S1.

الباب التاسع: مقارنة المدارس

مقطع 8: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان complexity realism يمثل البنية، فإن operationalism يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$\mathcal{B} > 0 \Rightarrow \text{reduction breach} \neq \text{causal breach}$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر فعل رقعة Wheeler-DeWitt مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد تكون الازدواجية غير فريدة لأن complexity equals anything يضعف التفرد. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S2.

الباب التاسع: مقارنة المدارس

مقطع 9: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة ensemble criticism وemergence كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$t_* \sim \frac{\beta}{2\pi} \log S_{\mathrm{BH}}$$

اختبار المقارنة مع null model يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S3.

الباب التاسع: مقارنة المدارس

مقطع 10: اعتراض المدرسة المنافسة

ستقول المدرسة المتحفظة إن منحنى Page ليس أكثر من طريقة حسابية، وإن استعمال لغة الثقب الدودي يضخم نتيجة في نموذج toy. هذا الاعتراض صحيح جزئيا؛ لذلك يضع الكتاب معيارين: منع الانتقال من التشبيه إلى الوجود، ومن مؤشر واحد إلى إعلان.

الجواب ليس أن ننفي الاعتراض، بل أن نحوله إلى بروتوكول. إذا كان التفسير البديل يكفي، يسقط ادعاء الخرق. وإذا احتجنا حزمة من التشابك، التعقيد، الفوضى، والتحول السطحي، يصير لدينا مرشح علمي لا استعارة.

الاعتراض: قد لا توجد observable مباشرة للهندسة الداخلية

قاعدة الرد: لذلك ندخل ensemble criticism في قلب البروتوكول

$$\frac{dC}{dt} \lesssim \frac{2M}{\pi \hbar}$$

في هذا السياق، يصبح operationalism حدًّا صلاحية، ويصبح geometric realism متغيرَ انتقال. لا يهم الاسم بقدر ما يهم: هل يتغير القياس عندما نفتح القناة؟

مصدر مرتبط: S4.

الباب التاسع: مقارنة المدارس

مقطع 11: تركيب الباب الجزئي

نصل هنا إلى تركيب جزئي: ليست المسألة هل يوجد ثقب دودي بالمعنى الخيالي، بل هل توجد بنية معلوماتية تجعل وصفا هندسيا ماكرويا ناقصا عند حساب observable معين. هذا النقص هو الخرق الاختزالي.

العنصر	القيمة	الدور
المتغير	emergence	يعطي بنية القراءة
القناة	information-first	تحدد الإتاحة
الكلفة	مؤثر حجمي	تفصل الممكن النظري عن الممكن العملي
الاختبار	اختبار الاستقرار تحت perturbation	يقيم قابلية التفنيد

إذا تعاملنا مع emergence كمتغير هندسي ومع information-first كمتغير قنوي، فالعلاقة بينهما لا تحسم بالخطاب بل بقياس التحول عند التلاعب بالديناميكا. لذلك يربط الكتاب بين CA/CV وQES وOTOC لا لأنها متطابقة، بل لأنها تقيس وجوها مختلفة من نفس الفجوة.

$$C_V(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{V(\Sigma_{\max})}{G_N L}$$

خلاصة: كل باب ينتهي بقاعدة: لا هندسة بلا قاموس، لا قاموس بلا قناة، لا قناة بلا كلفة، ولا إعلان بلا معيار تفنيد.

مصدر مرتبط: S5.

الباب التاسع: مقارنة المدارس

مقطع 12: من geometric realism إلى complexity realism

المدرسة الهندسية ترى الثقب الدودي حلا؛ المدرسة المعلوماتية تراه تمثيلا؛ مدرسة التعقيد تراه كلفة وصول؛ والنقد ensemble يسأل: هل تصف الجاذبية نظرية واحدة أم متوسطا؟

إذا استعملنا مفهوم **geometric realism** بوصفه متغيرا لا شعارا، فإن سؤال الباب يصبح: ما الذي يتغير في قراءة **complexity realism** عندما تدخل كلفة التعقيد في قاموس الهندسة؟ هنا يظهر كود تصحيح خطأ لا كزينة رياضية، بل كأداة تقيس الفرق بين ما تقوله صورة الماكرو وما تسمح به القناة الدقيقة.

القراءة الماكروية تنزع إلى ضغط كل شيء في سطح أو مسافة أو أفق. أما القراءة الهولوغرافية فتعامل السطح كحد إعادة بناء. الفرق بين القراءتين هو موقع الخرق الاختزالي: ليس لأن النسبية تنهار، بل لأن توصيفها لا يحمل كل معلومات code subspace.

$$C_A(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{I_{\mathrm{WDW}}}{\pi\hbar}$$

اختبار جزئي: نطبق التوسع في N/1 ثم نقارن المؤشر مع نموذج عشوائي ونموذج قابل للتكامل؛ إذا بقي الفرق بعد perturbations صار مرشحا لخرق اختزالي لا لضجيج عددي.

اعتراض: قد يكون path integral يحسب متوسطا لا نظرية فردية؛ والجواب المنهجي: لذلك ندخل ensemble criticism في قلب البروتوكول

مصدر مرتبط: S6.

الباب التاسع: مقارنة المدارس

مقطع 13: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب سطح كمومي متطرف معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **information-first** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

تمييز: الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$S(A) = \frac{\mathrm{Area}(\gamma_A)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}} + \cdots$$

نقطة هدم: قد لا توجد observable مباشرة للهندسة الداخلية

مصدر مرتبط: S7.

الباب التاسع: مقارنة المدارس

مقطع 14: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان complexity realism يمثل البنية، فإن operationalism يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$S(R) = \min_{I} \operatorname{ext}_I \left[\frac{\mathrm{Area}(\partial I)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}}(R \cup I) \right]$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر قناة إعادة بناء مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد تكون الازدواجية غير فريدة لأن complexity equals anything يضعف التفرد. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S8.

الباب التاسع: مقارنة المدارس

مقطع 15: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة ensemble criticism وemergence كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$H_{\mathrm{int}}(t) = g(t)\, O_L(t) O_R(t)$$

اختبار المحاكاة الكمومية يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S9.

الباب العاشر: النموذج الجديد

نموذج الخرق الاختزالي المحكوم بالتعقيد CGRB

CGRB يقول: تظهر الهندسة الماكروية عندما تكون القنوات الدقيقة قابلة للاختزال إلى علاقات محلية مستقرة؛ ويظهر الخرق عندما تتيح بنية التعقيد قناة لا ترى محليا لكنها تترك أثرا قابلا للقياس.

النموذج لا يزعم أن الثقب الدودي جسم مستقل دائما؛ بل أنه طور قراءة هندسية لعلاقة ترميزية عميقة، قابلة لأن تصبح عملية في بروتوكولات معينة.

CGRB	**layers**	**macro failure**
code subspace	**breach threshold**	**prediction**
limits		

قاعدة الباب: لا تؤخذ المفاهيم هنا كأسماء، بل كعمليات: كل مفهوم يحدد قناة، كلفة، أو حد صلاحية.

$$\frac{dC}{dt} \lesssim \frac{2M}{\pi\hbar}$$

الباب العاشر: النموذج الجديد

مقطع 1: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب كود تصحيح خطأ معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **layers** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

تمييز: الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$C_A(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{I_{\mathrm{WDW}}}{\pi\hbar}$$

نقطة هدم: قد يكون المؤشر أثرا لنموذج صغير لا لثقب دودي

مصدر مرتبط: S22.

الباب العاشر: النموذج الجديد

مقطع 2: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان macro failure يمثل البنية، فإن breach threshold يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$S(A) = \frac{\mathrm{Area}(\gamma_A)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}} + \cdots$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر سطح كموي متطرف مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد يعجز النموذج عن تجاوز AdS إلى de Sitter. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S23.

الباب العاشر: النموذج الجديد

مقطع 3: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة code subspace وprediction كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$S(R) = \min_{I} \operatorname{ext}_{I}\left[\frac{\mathrm{Area}(\partial I)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}}(R \cup I)\right]$$

اختبار فحص finite-size effects يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S24.

الباب العاشر: النموذج الجديد

مقطع 4: اعتراض المدرسة المنافسة

ستقول المدرسة المتحفظة إن هاملتونيان مزدوج الأثر ليس أكثر من طريقة حسابية، وإن استعمال لغة الثقب الدودي يضخم نتيجة في نموذج toy. هذا الاعتراض صحيح جزئيا؛ لذلك يضع الكتاب معيارين: منع الانتقال من التشبيه إلى الوجود، ومن مؤشر واحد إلى إعلان.

الجواب ليس أن ننفي الاعتراض، بل أن نحوله إلى بروتوكول. إذا كان التفسير البديل يكفي، يسقط ادعاء الخرق. وإذا احتجنا حزمة من التشابك، التعقيد، الفوضى، والتحول السطحي، يصير لدينا مرشح علمي لا استعارة.

الاعتراض: قد يكون المؤشر أثرا لنموذج صغير لا لثقب دودي

قاعدة الرد: لذلك نفرق بين الخرق الاختزالي والخرق السببي

$$H_{\mathrm{int}}(t) = g(t)\, O_L(t) O_R(t)$$

في هذا السياق، يصبح breach threshold حدًّا صلاحية، ويصبح limits متغيرَ انتقال. لا يهم الاسم بقدر ما يهم: هل يتغير القياس عندما نفتح القناة؟

مصدر مرتبط: S25.

الباب العاشر: النموذج الجديد

مقطع 5: تركيب الباب الجزئي

نصل هنا إلى تركيب جزئي: ليست المسألة هل يوجد ثقب دودي بالمعنى الخيالي، بل هل توجد بنية معلوماتية تجعل وصفا هندسيا ماكرويا ناقصا عند حساب observable معين. هذا النقص هو الخرق الاختزالي.

العنصر	القيمة	الدور
المتغير	prediction	يعطي بنية القراءة
القناة	CGRB	تحدد الإتاحة
الكلفة	حجم مؤثر	تفصل الممكن النظري عن الممكن العملي
الاختبار	المحاكاة الكمومية	يقيم قابلية التفنيد

إذا تعاملنا مع prediction كمتغير هندسي ومع CGRB كمتغير قنوي، فالعلاقة بينهما لا تحسم بالخطاب بل بقياس التحول عند التلاعب بالديناميكا. لذلك يربط الكتاب بين CA/CV وQES وOTOC لا لأنها متطابقة، بل لأنها تقيس وجوها مختلفة من نفس الفجوة.

$$F_{\mathrm{OTOC}}(t) = \langle W(t)V(0)W(t)V(0)\rangle$$

خلاصة: كل باب ينتهي بقاعدة: لا هندسة بلا قاموس، لا قاموس بلا قناة، لا قناة بلا كلفة، ولا إعلان بلا معيار تفنيد.

مصدر مرتبط: S1.

الباب العاشر: النموذج الجديد

مقطع 6: من limits إلى layers

CGRB يقول: تظهر الهندسة الماكروية عندما تكون القنوات الدقيقة قابلة للاختزال إلى علاقات محلية مستقرة؛ ويظهر الخرق عندما تتيح بنية التعقيد قناة لا ترى محليا لكنها تترك أثرا قابلا للقياس.

إذا استعملنا مفهوم **limits** بوصفه متغيرا لا شعارا، فإن سؤال الباب يصبح: ما الذي يتغير في قراءة **layers** عندما تدخل كلفة التعقيد في قاموس الهندسة؟ هنا يظهر معامل OTOC لا كزينة رياضية، بل كأداة تقيس الفرق بين ما تقوله صورة الماكرو وما تسمح به القناة الدقيقة.

القراءة الماكروية تنزع إلى ضغط كل شيء في سطح أو مسافة أو أفق. أما القراءة الهولوغرافية فتعامل السطح كحد إعادة بناء. الفرق بين القراءتين هو موقع الخرق الاختزالي: ليس لأن النسبية تنهار، بل لأن توصيفها لا يحمل كل معلومات code subspace.

$$\Delta_{\mathrm{breach}} = A_{\mathrm{ch}}\, I_{\mathrm{rec}} - \lambda C_{\mathrm{gate}} - \mu D_{\mathrm{macro}}$$

اختبار جزئي: نطبق البرهان داخل toy model ثم نقارن المؤشر مع نموذج عشوائي ونموذج قابل للتكامل؛ إذا بقي الفرق بعد perturbations صار مرشحا لخرق اختزالي لا لضجيج عددي.

اعتراض: قد يخفي coarse-graining افتراضا لا يمكن اختباره؛ والجواب المنهجي: لذلك نفرق بين الخرق الاختزالي والخرق السببي

مصدر مرتبط: S2.

الباب العاشر: النموذج الجديد

مقطع 7: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب فعل رقعة Wheeler-DeWitt معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **CGRB** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

> **تمييز:** الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$\mathcal{B} > 0 \Rightarrow \text{reduction breach} \neq \text{causal breach}$$

> **نقطة هدم:** قد يكون المؤشر أثرا لنموذج صغير لا لثقب دودي

مصدر مرتبط: S3.

الباب العاشر: النموذج الجديد

مقطع 8: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان layers يمثل البنية، فإن code subspace يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$t_* \sim \frac{\beta}{2\pi} \log S_{\mathrm{BH}}$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر ويدج التشابك مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد يعجز النموذج عن تجاوز AdS إلى de Sitter. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S4.

الباب العاشر: النموذج الجديد

مقطع 9: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة macro failure وbreach threshold كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$\frac{dC}{dt} \lesssim \frac{2M}{\pi\hbar}$$

اختبار اختبار الاستقرار تحت perturbation يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S5.

الباب العاشر: النموذج الجديد

مقطع 10: اعتراض المدرسة المنافسة

ستقول المدرسة المتحفظة إن مؤثر حجمي ليس أكثر من طريقة حسابية، وإن استعمال لغة الثقب الدودي يضخم نتيجة في نموذج toy. هذا الاعتراض صحيح جزئيا؛ لذلك يضع الكتاب معيارين: منع الانتقال من التشبيه إلى الوجود، ومن مؤشر واحد إلى إعلان.

الجواب ليس أن ننفي الاعتراض، بل أن نحوله إلى بروتوكول. إذا كان التفسير البديل يكفي، يسقط ادعاء الخرق. وإذا احتجنا حزمة من التشابك، التعقيد، الفوضى، والتحول السطحي، يصير لدينا مرشح علمي لا استعارة.

الاعتراض: قد يكون المؤشر أثرا لنموذج صغير لا لثقب دودي

قاعدة الرد: لذلك نفرق بين الخرق الاختزالي والخرق السببي

$$C_V(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{V(\Sigma_{\max})}{G_N L}$$

في هذا السياق، يصبح code subspace حدًّ صلاحية، ويصبح prediction متغيرَ انتقال. لا يهم الاسم بقدر ما يهم: هل يتغير القياس عندما نفتح القناة؟

مصدر مرتبط: S6.

الباب العاشر: النموذج الجديد

مقطع 11: تركيب الباب الجزئي

نصل هنا إلى تركيب جزئي: ليست المسألة هل يوجد ثقب دودي بالمعنى الخيالي، بل هل توجد بنية معلوماتية تجعل وصفا هندسيا ماكرويا ناقصا عند حساب observable معين. هذا النقص هو الخرق الاختزالي.

العنصر	القيمة	الدور
المتغير	breach threshold	يعطي بنية القراءة
القناة	limits	تحدد الإتاحة
الكلفة	كود تصحيح خطأ	تفصل الممكن النظري عن الممكن العملي
الاختبار	فحص finite-size effects	يقيم قابلية التفنيد

إذا تعاملنا مع breach threshold كمتغير هندسي ومع limits كمتغير قنوي، فالعلاقة بينهما لا تحسم بالخطاب بل بقياس التحول عند التلاعب بالديناميكا. لذلك يربط الكتاب بين CA/CV وQES وOTOC لا لأنها متطابقة، بل لأنها تقيس وجوها مختلفة من نفس الفجوة.

$$C_A(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{I_{\mathrm{WDW}}}{\pi\hbar}$$

خلاصة: كل باب ينتهي بقاعدة: لا هندسة بلا قاموس، لا قاموس بلا قناة، لا قناة بلا كلفة، ولا إعلان بلا معيار تفنيد.

مصدر مرتبط: S7.

الباب العاشر: النموذج الجديد

مقطع 12: من prediction إلى CGRB

CGRB يقول: تظهر الهندسة الماكروية عندما تكون القنوات الدقيقة قابلة للاختزال إلى علاقات محلية مستقرة؛ ويظهر الخرق عندما تتيح بنية التعقيد قناة لا ترى محليا لكنها تترك أثرا قابلا للقياس.

إذا استعملنا مفهوم **prediction** بوصفه متغيرا لا شعارا، فإن سؤال الباب يصبح: ما الذي يتغير في قراءة **CGRB** عندما تدخل كلفة التعقيد في قاموس الهندسة؟ هنا يظهر سطح كمومي متطرف لا كزينة رياضية، بل كأداة تقيس الفرق بين ما تقوله صورة الماكرو وما تسمح به القناة الدقيقة.

القراءة الماكروية تنزع إلى ضغط كل شيء في سطح أو مسافة أو أفق. أما القراءة الهولوغرافية فتعامل السطح كحد إعادة بناء. الفرق بين القراءتين هو موقع الخرق الاختزالي: ليس لأن النسبية تنهار، بل لأن توصيفها لا يحمل كل معلومات code subspace.

$$S(A) = \frac{\mathrm{Area}(\gamma_A)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}} + \cdots$$

اختبار جزئي: نطبق القياس العددي ثم نقارن المؤشر مع نموذج عشوائي ونموذج قابل للتكامل؛ إذا بقي الفرق بعد perturbations صار مرشحا لخرق اختزالي لا لضجيج عددي.

اعتراض: قد يخفي coarse-graining افتراضا لا يمكن اختباره؛ والجواب المنهجي: لذلك نفرق بين الخرق الاختزالي والخرق السببي

مصدر مرتبط: S8.

الباب العاشر: النموذج الجديد

مقطع 13: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب قناة إعادة بناء معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **limits** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

تمييز: الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$S(R) = \min_{I} \operatorname{ext}_{I}\left[\frac{\mathrm{Area}(\partial I)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}}(R \cup I)\right]$$

نقطة هدم: قد يكون المؤشر أثرا لنموذج صغير لا لثقب دودي

مصدر مرتبط: S9.

الباب العاشر: النموذج الجديد

مقطع 14: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان CGRB يمثل البنية، فإن macro failure يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$H_{\mathrm{int}}(t) = g(t)\, O_L(t) O_R(t)$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر هاملتونيان مزدوج الأثر مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد يعجز النموذج عن تجاوز AdS إلى de Sitter. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S10.

الباب العاشر: النموذج الجديد

مقطع 15: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة layers وcode subspace كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$F_{\mathrm{OTOC}}(t) = \langle W(t)V(0)W(t)V(0)\rangle$$

اختبار المقارنة مع null model يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S11.

الباب العاشر: النموذج الجديد

مقطع 16: اعتراض المدرسة المنافسة

ستقول المدرسة المتحفظة إن معامل OTOC ليس أكثر من طريقة حسابية، وإن استعمال لغة الثقب الدودي يضخم نتيجة في نموذج toy. هذا الاعتراض صحيح جزئيا؛ لذلك يضع الكتاب معيارين: منع الانتقال من التشبيه إلى الوجود، ومن مؤشر واحد إلى إعلان.

الجواب ليس أن ننفي الاعتراض، بل أن نحوله إلى بروتوكول. إذا كان التفسير البديل يكفي، يسقط ادعاء الخرق. وإذا احتجنا حزمة من التشابك، التعقيد، الفوضى، والتحول السطحي، يصير لدينا مرشح علمي لا استعارة.

الاعتراض: قد يكون المؤشر أثرا لنموذج صغير لا لثقب دودي

قاعدة الرد: لذلك نفرق بين الخرق الاختزالي والخرق السببي

$$\Delta_{\mathrm{breach}} = A_{\mathrm{ch}}\, I_{\mathrm{rec}} - \lambda C_{\mathrm{gate}} - \mu D_{\mathrm{macro}}$$

في هذا السياق، يصبح macro failure حدًّا صلاحية، ويصبح breach threshold متغيرَ انتقال. لا يهم الاسم بقدر ما يهم: هل يتغير القياس عندما نفتح القناة؟

مصدر مرتبط: S12.

الباب العاشر: النموذج الجديد

مقطع 17: تركيب الباب الجزئي

نصل هنا إلى تركيب جزئي: ليست المسألة هل يوجد ثقب دودي بالمعنى الخيالي، بل هل توجد بنية معلوماتية تجعل وصفا هندسيا ماكرويا ناقصا عند حساب observable معين. هذا النقص هو الخرق الاختزالي.

العنصر	القيمة	الدور
المتغير	code subspace	يعطي بنية القراءة
القناة	prediction	تحدد الإتاحة
الكلفة	فعل رقعة Wheeler-DeWitt	تفصل الممكن النظري عن الممكن العملي
الاختبار	اختبار الاستقرار تحت perturbation	يقيم قابلية التفنيد

إذا تعاملنا مع code subspace كمتغير هندسي ومع prediction كمتغير قنوي، فالعلاقة بينهما لا تحسم بالخطاب بل بقياس التحول عند التلاعب بالديناميكا. لذلك يربط الكتاب بين CA/CV وQES وOTOC لا لأنها متطابقة، بل لأنها تقيس وجوها مختلفة من نفس الفجوة.

$$\mathcal{B} > 0 \Rightarrow \text{reduction breach} \neq \text{causal breach}$$

خلاصة: كل باب ينتهي بقاعدة: لا هندسة بلا قاموس، لا قاموس بلا قناة، لا قناة بلا كلفة، ولا إعلان بلا معيار تفنيد.

مصدر مرتبط: S13.

الباب العاشر: النموذج الجديد

مقطع 18: من breach threshold إلى limits

CGRB يقول: تظهر الهندسة الماكروية عندما تكون القنوات الدقيقة قابلة للاختزال إلى علاقات محلية مستقرة؛ ويظهر الخرق عندما تتيح بنية التعقيد قناة لا ترى محليا لكنها تترك أثرا قابلا للقياس.

إذا استعملنا مفهوم **breach threshold** بوصفه متغيرا لا شعارا، فإن سؤال الباب يصبح: ما الذي يتغير في قراءة **limits** عندما تدخل كلفة التعقيد في قاموس الهندسة؟ هنا يظهر ويدج التشابك لا كزينة رياضية، بل كأداة تقيس الفرق بين ما تقوله صورة الماكرو وما تسمح به القناة الدقيقة.

القراءة الماكروية تنزع إلى ضغط كل شيء في سطح أو مسافة أو أفق. أما القراءة الهولوغرافية فتعامل السطح كحد إعادة بناء. الفرق بين القراءتين هو موقع الخرق الاختزالي: ليس لأن النسبية تنهار، بل لأن توصيفها لا يحمل كل معلومات code subspace.

$$t_* \sim \frac{\beta}{2\pi} \log S_{\mathrm{BH}}$$

اختبار جزئي: نطبق التوسع في N/1 ثم نقارن المؤشر مع نموذج عشوائي ونموذج قابل للتكامل؛ إذا بقي الفرق بعد perturbations صار مرشحا لخرق اختزالي لا لضجيج عددي.

اعتراض: قد يخفي coarse-graining افتراضا لا يمكن اختباره؛ والجواب المنهجي: لذلك نفرق بين الخرق الاختزالي والخرق السببي

مصدر مرتبط: S14.

الباب العاشر: النموذج الجديد

مقطع 19: قاعدة الاختزال لا قاعدة الاستبدال

لا نستبدل هندسة الماكرو بالكمبيوتر الكمومي؛ بل نبحث عن النقطة التي يصبح فيها الوصف الهندسي مرادفا لضغط معلوماتي. عند هذه النقطة يكتسب منحنى Page معنى مزدوجا: قيمة في الحساب، وبصمة في القناة.

الفرق الجذري بين الاختزال والخرق أن الاختزال يحذف طبقات لا يحتاجها الراصد الماكروي، أما الخرق فيظهر عندما نحتاج الطبقات المحذوفة لتفسير observable معين. لذلك لا يصبح كل تشابك ثقباً دودياً، ولا تصبح كل قناة تليبورت هندسة.

داخل هذا الباب، نقرأ **prediction** بوصفه عتبة: إذا بقي المؤشر ثابتا تحت تغيير التقسيم boundary/bulk فهو أقرب إلى بنية هندسية؛ وإذا انهار فهو أثر ترميزي هش.

تمييز: الثقب الدودي كحل كلاسيكي شيء، والثقب الدودي كقناة إعادة بناء في نموذج هولوغرافي شيء آخر. الخلط بينهما مصدر معظم المبالغات.

$$\frac{dC}{dt} \lesssim \frac{2M}{\pi\hbar}$$

نقطة هدم: قد يكون المؤشر أثرا لنموذج صغير لا لثقب دودي

مصدر مرتبط: S15.

الباب العاشر: النموذج الجديد

مقطع 20: المؤشر الغائب

المؤشر الغائب في كثير من النقاشات هو قابلية الوصول accessibility: قد تكون المعلومة مشفرة في الإشعاع أو الحد، لكن ذلك لا يعني أن راصدا واقعيا يستطيع استخراجها بتعقيد معقول. هنا يلتقي ساسكايند مع QEC: الداخل موجود كمنطق ترميزي، لكنه محمي بتعقيد أو بتوزيع تمثيلات.

إذا كان limits يمثل البنية، فإن layers يمثل شرط القراءة. لا يكفي وجود علاقة؛ يجب قياس كلفتها. لذلك يقترح الكتاب فصلين في كل تجربة: طبقة فيزيائية تقيس النقل، وطبقة تعقيدية تقيس كلفة التحضير أو الفتح.

$$C_V(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{V(\Sigma_{\max})}{G_N L}$$

فرضية محلية: إذا تحسن نقل المعلومة عبر مؤثر حجمي مع نمو بصمة OTOC وتغير wedge، فإن التحسن ليس مجرد قناة تواصل، بل مرشح لخرق اختزالي.

الاعتراض القوي: قد يعجز النموذج عن تجاوز AdS إلى de Sitter. ولا نرفعه بالبلاغة؛ نرفعه بتوسيع الحجم، تعميم ensemble، واختبار عدم التبادل في الهاملتونيان.

مصدر مرتبط: S16.

الباب العاشر: النموذج الجديد

مقطع 21: من السطح إلى القناة

في القراءة الكلاسيكية، السطح يفصل. في القراءة الهولوغرافية، السطح يرمز. هذا التحول من الفصل إلى الترميز هو لب الخرق: هندسة الماكرو تصدر حكما عن الانفصال، بينما قناة إعادة البناء قد تكشف اعتمادا غير محلي مضبوطا.

لا يعني ذلك أن المسافة وهم؛ بل يعني أن المسافة إحدى صيغ التكلفة. عندما تتغير التكلفة بتدخل مزدوج الأثر أو بتغير QES، يصبح ما كان بعيدا هندسيا أقرب معلوماتيا. هنا تظهر قيمة CGRB وmacro failure كمتغيرين لا كمجازين.

> **قاعدة السطح/القناة:** كل سطح في الهولوغرافيا يجب أن يقرأ بطريقتين: كحد هندسي وكحد إنتروبي. الخرق يبدأ حين تختلف القراءتان تحت تدخل مضبوط.

$$C_A(|\psi(t)\rangle) \simeq \frac{I_{\mathrm{WDW}}}{\pi\hbar}$$

اختبار المحاكاة الكمومية يطلب مقارنة قبل/بعد: هل تغيرت السعة القنوية دون تفسير محلي كاف؟ هل بقيت البصمة عند تغيير المؤثرات غير المدربة؟

مصدر مرتبط: S17.

الباب العاشر: النموذج الجديد

مقطع 22: اعتراض المدرسة المنافسة

ستقول المدرسة المتحفظة إن سطح كومي متطرف ليس أكثر من طريقة حسابية، وإن استعمال لغة الثقب الدودي يضخم نتيجة في نموذج toy. هذا الاعتراض صحيح جزئيا؛ لذلك يضع الكتاب معيارين: منع الانتقال من التشبيه إلى الوجود، ومن مؤشر واحد إلى إعلان.

الجواب ليس أن ننفي الاعتراض، بل أن نحوله إلى بروتوكول. إذا كان التفسير البديل يكفي، يسقط ادعاء الخرق. وإذا احتجنا حزمة من التشابك، التعقيد، الفوضى، والتحول السطحي، يصير لدينا مرشح علمي لا استعارة.

الاعتراض: قد يكون المؤشر أثرا لنموذج صغير لا لثقب دودي

قاعدة الرد: لذلك نفرق بين الخرق الاختزالي والخرق السببي

$$S(A) = \frac{\mathrm{Area}(\gamma_A)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}} + \cdots$$

في هذا السياق، يصبح layers حدًّا صلاحية، ويصبح code subspace متغيرَ انتقال. لا يهم الاسم بقدر ما يهم: هل يتغير القياس عندما نفتح القناة؟

مصدر مرتبط: S18.

الباب العاشر: النموذج الجديد

مقطع 23: تركيب الباب الجزئي

نصل هنا إلى تركيب جزئي: ليست المسألة هل يوجد ثقب دودي بالمعنى الخيالي، بل هل توجد بنية معلوماتية تجعل وصفا هندسيا ماكرويا ناقصا عند حساب observable معين. هذا النقص هو الخرق الاختزالي.

العنصر	القيمة	الدور
المتغير	macro failure	يعطي بنية القراءة
القناة	breach threshold	تحدد الإتاحة
الكلفة	قناة إعادة بناء	تفصل الممكن النظري عن الممكن العملي
الاختبار	المقارنة مع null model	يقيم قابلية التفنيد

إذا تعاملنا مع macro failure كمتغير هندسي ومع breach threshold كمتغير قنوي، فالعلاقة بينهما لا تحسم بالخطاب بل بقياس التحول عند التلاعب بالديناميكا. لذلك يربط الكتّاب بين CA/CV وQES وOTOC لا لأنها متطابقة، بل لأنها تقيس وجوها مختلفة من نفس الفجوة.

$$S(R) = \min_{I} \operatorname{ext}_{I}\left[\frac{\mathrm{Area}(\partial I)}{4G_N} + S_{\mathrm{bulk}}(R \cup I)\right]$$

خلاصة: كل باب ينتهي بقاعدة: لا هندسة بلا قاموس، لا قاموس بلا قناة، لا قناة بلا كلفة، ولا إعلان بلا معيار تفنيد.

مصدر مرتبط: S19.