



Herman Verlinde &lt;herman.verlinde@gmail.com&gt;

---

**bellen**

15 messages

---

**Verlinde, Erik** <E.P.Verlinde@uva.nl>

Mon, Dec 10, 2012 at 2:37 PM

To: Herman Verlinde &lt;herman.verlinde@gmail.com&gt;

Hallo Herman,

Heb je tijd om vanavond hier nog een keer te bellen? Ik wil graag ook met dit project verdere vooruitgang maken. Het algemene idee is duidelijk, maar ik zit toch nog met een aantal vragen. Met name over postulaat 2. Ons idee van decoherentie van de vroege straling betekent dat dit postulaat niet echt kan (blijven) gelden. Zie jij dat ook zo? Volgens mij moeten we concluderen dat na de Page time deze niet tegelijk kan gelden samen met postulaat 4. Dus eigenlijk kan de set up van ons vorige artikel niet gebruikt worden om de flow van quantum informatie te volgen. Maar wat wordt ons vervangende postulaat?

Dit geldt ook voor de berekening van de Page curve. Ik ben met je idee eens als manier van berekenen. Maar heeft ons idee dat we de straling deels als incoherent gezien moet worden niet ook gevolgen voor de feitelijke Page curve? Daarmee bedoel ik de snelheid waarmee de quantum informatie eruit kan komen?

Tenslotte zit er in ons verhaal dan toch een gevaar dat operatoren niet lokaal gedefinieerd zijn, als je deze bekijkt op de gehele Hilbert ruimte. Ook dit wil ik beter begrijpen.

met groet,

Erik

---

**Herman Verlinde** <herman.verlinde@gmail.com>

Mon, Dec 10, 2012 at 3:18 PM

To: "Verlinde, Erik" &lt;E.P.Verlinde@uva.nl&gt;

Ik zal straks bellen/skypen. Joe is giving his seminar now.

Sent from my iPhone

[Quoted text hidden]

---

**Herman Verlinde** <herman.verlinde@gmail.com>

Mon, Dec 10, 2012 at 4:17 PM

To: "Verlinde, Erik" &lt;E.P.Verlinde@uva.nl&gt;

Hallo Erik,  
Ik probeerde net te bellen. Waar ben je nu?

met groet,

--Herman

[Quoted text hidden]

---

**Verlinde, Erik** <E.P.Verlinde@uva.nl>

Mon, Dec 10, 2012 at 4:18 PM

To: Herman Verlinde &lt;herman.verlinde@gmail.com&gt;

Hallo Herman,

Ik ben thuis. De telefoon ging over, maar er kwam alleen ruis door. Vanaf waar probeer je te bellen?

Erik

On Dec 10, 2012, at 10:17 PM, Herman Verlinde <[herman.verlinde@gmail.com](mailto:herman.verlinde@gmail.com)>

wrote:

[Quoted text hidden]

**Verlinde, Erik** <[E.P.Verlinde@uva.nl](mailto:E.P.Verlinde@uva.nl)>  
To: Herman Verlinde <[herman.verlinde@gmail.com](mailto:herman.verlinde@gmail.com)>

Mon, Dec 10, 2012 at 4:18 PM

Geef anders jouw telefoon nummer even door.

On Dec 10, 2012, at 10:17 PM, Herman Verlinde <[herman.verlinde@gmail.com](mailto:herman.verlinde@gmail.com)>

wrote:

[Quoted text hidden]

**Herman Verlinde** <[herman.verlinde@gmail.com](mailto:herman.verlinde@gmail.com)>  
To: "Verlinde, Erik" <[E.P.Verlinde@uva.nl](mailto:E.P.Verlinde@uva.nl)>

Mon, Dec 10, 2012 at 9:05 PM

Hallo Erik,  
Even doordenkend over een van je opmerkingen:

Je hebt dit misschien ook al bedacht, maar mijn teleportatie diagram is een tetrahedron = 6j symbol dat 2 duale trivalent graphs koppelt.

Onze uitspraak zou moeten zijn dat de 2 graphs gelijk zijn, vanwege dualiteit

$$(*) \quad d_{\{a e\}^j} c^j_{\{br\}} = d^i_{\{r e\}} c^i_{\{ab\}}$$

l.h.s = early history

$d_{\{a e\}^j}$  = creeert een black hole space-time j  
met a = interior, e = exterior

$c^j_{\{br\}}$  = hawking pair creation of b and r

r.h.s. = alice's late state

$d^i_{\{r e\}}$  = imperfect measurement of early bit r, producing classical bit i

$c^i_{\{ab\}}$  = Hawking correlation between b and interior bit a

Hebben we zoiets als (\*) nodig?

met groet,  
--Herman

2012/12/10 Verlinde, Erik <[E.P.Verlinde@uva.nl](mailto:E.P.Verlinde@uva.nl)>

[Quoted text hidden]

---

**Verlinde, Erik** <[E.P.Verlinde@uva.nl](mailto:E.P.Verlinde@uva.nl)>  
To: Herman Verlinde <[herman.verlinde@gmail.com](mailto:herman.verlinde@gmail.com)>

Tue, Dec 11, 2012 at 12:42 AM

Hallo Herman,

Ik geloof dat je hier inderdaad een belangrijk principe hebt gevonden. Hoewel ik niet snap waarom je aan de linker kant ook dezelfde symbolen d en c gebruikt, en ook zie ik niet over hoeveel toestanden de som j gaat (of waarom dat überhaupt een soortgelijke index is als i).

Maar afgezien daarvan hebben we natuurlijk zoiets als (\*) nodig, want beiden representeren dezelfde toestand

$$|\Psi\rangle = \sum_i |BH\rangle_i |RE\rangle_i = \sum_{\alpha} |\alpha\rangle_{HE} |\alpha\rangle_{BR}$$

Merk op dat ik wat jij A noemt nu H noem, want A is volgens de conventies van de Stanford people het deel van H dat een kopie van B geeft.

Ook de index j heb ik dus door  $\alpha$  vervangen om aan te geven dat dit voor alsnog een heel ander soort index is.

De toestanden  $|\alpha\rangle_{BR}$

zijn dus lokale Unruh-Hawking toestanden van waaruit de early radiation is ontstaan. Welke lokale toestand dit is wordt dus bepaald door

de entangled state  $|\alpha\rangle_{HE}$  die we met de semi-klassieke achtergrond overeen laten komen.

Nu ben ik met je eens dat er ook de toestand  $|\alpha\rangle_{BH}$  als een soort lokale Unruh-Hawking toestand willen lezen. Maar deze is dus bepaald door de toestand van het zwarte gat zelf. En bovendien bevat deze toestand dus meer informatie dan alleen de entanglement van QFT modes (want zo lees ik  $|\alpha\rangle_{BR}$  nu even).

Een belangrijk punt dat ik ook uit je mail haal is dat Alice noodzakelijkerwijs alleen maar een imperfect measurement kan doen op de early radiation, en dat het maximale aantal klassieke bits dat ze mogelijk kan weten precies gelijk is aan het aantal black hole toestanden. Ook dat is fysisch duidelijk. Wel vind ik dat dit een heel groot aantal bits is.

Maar ik zal zelf ook verder langs deze lijn verder denken. Dan wordt vanzelf een aantal dingen duidelijker. Ik ben er inderdaad wel van overtuigd dat dit hier een interessant en ook belangrijk nieuw inzicht in zit.

met groet,

Erik

On Dec 11, 2012, at 3:05 AM, Herman Verlinde <[herman.verlinde@gmail.com](mailto:herman.verlinde@gmail.com)>

[Quoted text hidden]

---

**Herman Verlinde** <[herman.verlinde@gmail.com](mailto:herman.verlinde@gmail.com)>  
To: "Verlinde, Erik" <[E.P.Verlinde@uva.nl](mailto:E.P.Verlinde@uva.nl)>

Tue, Dec 11, 2012 at 8:06 AM

Hallo Erik,  
 De opmerking van de dualiteits relatie hadden we al een keer eerder bedacht, maar toen zagen we het meer als een F-matrix, die het identiteits sector s-channel kanaal (de AMPS density matrix) omschrijft in een som van t-channel kanalen (BH-vacua). Dus ik ben ermee eens dat de  $\alpha$  en  $i$  index verschillende ruimtes labelen.

Dit geeft overigens ook aan waarom het een  $6j$  symbool is:

[BHRE  $i$   $\alpha$ ]

Ik zal er ook nog verder over denken.

met groet,  
 --Herman

2012/12/11 Verlinde, Erik <[E.P.Verlinde@uva.nl](mailto:E.P.Verlinde@uva.nl)>

[Quoted text hidden]

---

**Herman Verlinde** <[herman.verlinde@gmail.com](mailto:herman.verlinde@gmail.com)>  
 To: "Verlinde, Erik" <[E.P.Verlinde@uva.nl](mailto:E.P.Verlinde@uva.nl)>

Tue, Dec 11, 2012 at 10:32 AM

Hallo Erik,  
 Heb je straks tijd om te bellen of skypeen?

Een andere richting die ik ook wat wil doorspreken is om de large  $M = \text{Rindler limiet}$  te nemen. Het idee is om  $N$  naar oneindig te sturen, en de energie schaal mee te schalen zodat de temperatuur eindig blijft. Het idee blijft verder dat er klassieke informatie is -- de semi-klassieke space-time. Stel deze wordt gedragen door  $S$  bits. De code spaces hebben dan dimensie

$$N_{\text{code}} = e^{S_{\text{code}}} = 2^{-S} e^{S_{\text{BH}}}$$

Het meest natuurlijke is dat  $S_{\text{code}}$ ,  $S$  en  $S_{\text{BH}}$  alledrie met de area te schalen.

Dus tot op zekere hoogte is de vertaalcode best duidelijk:

$S_{\text{BH}}$  = alle microscopische informatie  
 $S$  = hoeveelheid klassieke informatie  
 $S_{\text{code}}$  = onbekende microscopische informatie, per klassieke bit

De error is

$$2^{-S} e^{\beta E} = 2^{-S} e^{\pi \sum \omega}$$

De vraag is of dat in deze limiet er nog een soort Planck schaal overblijft. De energie flux is ook evenredig met de area, dus we kunnen  $S$  zo laten meegroeien dat effective field theory geldig blijft

tot een bepaalde lengte schaal.

En hoe zit het dan met de thermodynamica/GR relatie?

Ik moet zeggen dat ik deze vragen eigenlijk spannender en fundamenteeler vind dan de AMPS paradox opzichzelf. De paradox leert ons iets nieuws, en dat nieuwe is wat we uiteindelijk zouden moeten gaan gebruiken.

met groet,  
--Herman

[Quoted text hidden]

---

**Verlinde, Erik** <E.P.Verlinde@uva.nl>  
To: Herman Verlinde <herman.verlinde@gmail.com>

Tue, Dec 11, 2012 at 11:52 AM

Hallo Herman,

Ik ben nu op mijn werk, maar sta op het punt (met de fiets) naar huis te gaan. Dan wil ik ook nog even snel boodschappen kunnen doen. Dus voor mij komt waarschijnlijk pas half acht of zo goed uit. Is dat ok?

Ook ik ben het met je eens dat de oplossing van de paradox alleen interessant is als we er iets van leren. Maar mijn reden om hieraan te werken is dat ik denk dat dit inderdaad zo is, en dat met name de noodzaak van de toevoeging van extra vrijheidsgraden en de breakdown van naïeve LQFT hierdoor voor meer mensen nog duidelijker zal worden. En dan is het zeker interessant om dit conclusies door te trekken naar Rindler space. In dat geval lijkt het bijna onontkoombaar dat de vrijheidsgraden met beide kanten van de horizon te maken hebben.

Een andere gedachte die ik gisteren had wat over jouw idee om een EPR paar van maximally entangled zwarte gaten te beschouwen. Is zoiets in principe mogelijk? Mijn conclusie is dat dan precies de Einstein-Rosen-bridge de twee aan elkaar moet knopen. Want dan is de straling die uit een zwart gat komt gelijk aan het Hawking paar van de straling van het andere zwarte gat. Ik weet niet zeker of het zin maakt, maar misschien toch even interessant om even over na te denken.

met groet,

Erik

[Quoted text hidden]

---

**Herman Verlinde** <herman.verlinde@gmail.com>  
To: "Verlinde, Erik" <E.P.Verlinde@uva.nl>

Tue, Dec 11, 2012 at 12:49 PM

Hallo Erik,  
De Einstein-Rosen bridge is een interessante opmerking:

Want strict genomen, kun je de AMPS density matrix niet onderscheiden van een BH dat volledig entangled is met een ander BH. De eigenschappen van een density matrix mogen niet afhangen van de purificatie.

Dus de ER-bridge is de geometrificatie van het entanglement.

Vanuit dit oogpunt is de korte levensduur van de bridge mogelijk een weergave van decoherence: het long-distance entanglement vervalt en wordt omgezet in short-distance entanglement.

Ik ga zo weer naar het IAS, want Joe geeft een tweede praatje,

dit keer over conformal versus scale invariance.

Verder heb ik net met de student de berekening van de "Page kromme" (met onze ergodisch model) recht getrokken. Ik zal je straks een formule sturen.

[Quoted text hidden]

---

**Verlinde, Erik** <E.P.Verlinde@uva.nl>  
To: Herman Verlinde <herman.verlinde@gmail.com>

Tue, Dec 11, 2012 at 7:44 PM

Hallo Herman,

We hadden al eerder de link gelegd tussen EPR-correlaties en de ER-bridge. Maar ik zie nu nog scherper waarom dit zo moet zijn. De identificatie van de qubit achter de horizon en de qubit buiten het zwarte gat is exact ! Er is geen verschil. Dit is wat nu het  $A=R_B$  scenario wordt genoemd (hoewel ik  $H_B = R_B$  een meer consistente notatie vindt). Dat betekent dus dat de qubits die Alice achter de horizon vindt ook dezelfde zijn als degene die Bob (waarschijnlijk even "later", whatever that means) zal kunnen detecteren. Dus het moet gewoon zo zijn dat alles achter de horizon op een gegeven moment ook zelf naar buiten wordt geteleporteerd. Het grappige is dus dat er geen causale manier is om door de ER-bridge te gaan, maar je kunt er dus wel doorheen "tunnelen". Dit tunnelen (a la Parikh-Wilczek) is vergelijkbaar met quantum teleportatie. Maar dus ook zonder een EPR zwart gat paar moet je eigenlijk een identificatie maken op de ruimte die het gebied achter de horizon als het ware identificeert met de plaatsen waar de corresponderende qubits in de uitwendige straling aanwezig zijn. Ik zie dit als een tunneling met behulp van de "hidden" phase space, die verantwoordelijk is voor de decoherentie van de ruimte en tijd vrijheidsgraden. De "assistance" die deze vrijheidsgraden geven aan het teleportatie protocol via de klassieke bits moet hierbij een belangrijke rol spelen.

Bel je zo nog even? Ik blijf waarschijnlijk nog wel even op.

met groet,

Erik

[Quoted text hidden]

---

**Herman Verlinde** <herman.verlinde@gmail.com>  
To: "Verlinde, Erik" <E.P.Verlinde@uva.nl>

Tue, Dec 11, 2012 at 8:10 PM

Hallo Erik,  
Ik zal zo over 20 minuten bellen. Ik stuur je ook even de berekening van entropy kromme op.

[Quoted text hidden]

---

**Herman Verlinde** <herman.verlinde@gmail.com>  
To: "Verlinde, Erik" <E.P.Verlinde@uva.nl>

Tue, Dec 11, 2012 at 8:47 PM

Hallo Erik,  
Ik probeerde net even te bellen - laat even weten als je nog op bent.

Over je beeld: je krijgt alleen een ER bridge als al het entanglement met een compact object (een ander zwart gat) ver buiten het nabije zwarte gat wordt verzamelt. Anders is de ER bridge aan een uiteinde binnen het zwarte gat, en aan de andere kant dun verspreid over alle straling. Dat laatste is een wat minder duidelijk verhaal... Maar het is zeker nuttig om te kijken of het teleportatie verhaal inderdaad in een dergelijke geometrische

vorm gegoten kan worden.

[Quoted text hidden]

---

**Herman Verlinde** <herman.verlinde@gmail.com>  
To: Herman Verlinde <herman.verlinde@gmail.com>

Sat, Jan 12, 2019 at 3:54 PM

[Quoted text hidden]



Herman Verlinde &lt;herman.verlinde@gmail.com&gt;

## EPR black holes

13 messages

**Verlinde, Erik** <E.P.Verlinde@uva.nl>

Wed, Dec 12, 2012 at 12:00 AM

To: Herman Verlinde <herman.verlinde@gmail.com>

Hallo Herman,

Er is een aardige maar ook belangrijke generalisatie van het idee. Het argument moet namelijk robuust zijn onder unitaire transformaties van een van de twee zwarte gaten. Als je dit meeneemt kun je in feite alle situaties aan, omdat zoals ik al zei, tijdsevolutie maar ook translaties ook als unitaire transformaties gelden.

Als je een unitaire transformatie uitvoert dan is de toestand dus nog steeds maximally entangled, maar nu dus als

$$\sum |i\rangle \otimes U |i\rangle$$

In dit geval moet je dus de linkerkant van het ene zwarte gat met  $U$  keer de rechterkant van het andere identificeren. Merk op dat er ook een translatie tussen zit.

Maar deze kan je ongedaan maken, en dan vallen ze dus over elkaar. In dat geval krijg je precies de thermal double, en heb je dus een eternal black hole gemaakt. Maar deze heeft dus inderdaad een 2 keer zo grote Hilbert ruimte, zoals Gerard al inzag.

Maar je kunt ook een van de twee zwarte gaten verder in de tijd laten evolueren. Dan krijg je de gewone AMPS situatie. De conclusie blijft echter onveranderd.

Tenslotte ligt het ook voor de hand om ook metingen en verdere entanglements mee te nemen, en bijvoorbeeld het kwantum teleportatie protocol erbij te nemen. Dan ben je eigenlijk het zwarte gat aan het verjongen d.m.v. de meting. Dus dit verhaal kan ook natuurlijk mee worden genomen.

met groet,

Erik

On Dec 12, 2012, at 2:48 AM, Herman Verlinde <[herman.verlinde@gmail.com](mailto:herman.verlinde@gmail.com)> wrote:

in dat geval, zullen we skypeen (kost minder)?

2012/12/11 Verlinde, Erik <[E.P.Verlinde@uva.nl](mailto:E.P.Verlinde@uva.nl)>

Hallo Herman,

Probeerde jij net nog te bellen? Dat kan nog wel, ik ben nog een 30 minuten op.

Erik

On Dec 12, 2012, at 2:37 AM, Herman Verlinde <[herman.verlinde@gmail.com](mailto:herman.verlinde@gmail.com)> wrote:

> <DensityMatrixPowers.tex>

**Herman Verlinde** <herman.verlinde@gmail.com>  
To: "Verlinde, Erik" <E.P.Verlinde@uva.nl>

Wed, Dec 12, 2012 at 4:19 AM

Hallo Erik,

Een effectieve manier om het verhaal te vertellen, is om gewoon te claimen dat er een universum bestaat waarin alle zwarte gaten gladde horizons hebben. We kunnen dit het Twin Universe noemen, want het is in een maximally entangled EPR toestand met een identieke twin.

Dit is soortgelijk als elliptic de Sitter, maar waarbij de elliptic  $Z_2$  niet wordt uitgedeeld maar een EPR correlatie aangeeft -- en terwijl ik dit typ, bedenk ik me dat elliptic de Sitter space zo "moet" werken, want hoe anders tonen we aan dat de dS horizon smooth is ?!

De twee helften delen een maximale entanglement entropie, en zo ontstaat de gladde horizon.

Je kunt dan twee verschillende regimes beschouwen, afhankelijk of dat de de Sitter straal  $R$  groot of klein tov  $M^3$  is.

Om nog een keer duidelijk te zeggen wat onze claim dan is: de wereld ziet er inderdaad uit als Gerard's swiss cheese. Dit heeft i.h.a. geen gevolgen, behalve voor zwarte gaten en voor cosmologische horizons: daar is het entanglement zo groot dat er een klassieke meetkunde mee is geassocieerd.

Voor zwarte gaten betekent dit dat de horizon  $S_{\text{BH}}/\log 2$  klassieke bits draagt, die gebruikt mogen worden om de inwendige operatoren te reconstrueren. Of equivalent -- zoals jij al schrijft -- kun je dit beschrijven als een eternal black hole met het dubbele aantal toestanden, maar met de elliptische EPR identificatie opgelegd.

Verder, we kunnen in deze wereld nu gewoon zwarte gaten laten verdampen. Ik bedacht me dan nog wel dat Gerard's bra & ket idee niet helemaal verkeerd zit, want de tijdsontwikkeling aan de andere kant is wel omgedraaid. Maw, de verdamping vindt plaats via

$$\sum C^i_{|j\rangle} |j\rangle |n\rangle \otimes C^*_{i_{|tj, tn\rangle}} |tj\rangle |tn\rangle$$

Doe nu de som over  $i$ , en use our averaging. Dit geeft

$$\sum_{|j, n\rangle} |j\rangle |n\rangle \otimes |j\rangle |n\rangle$$

Dus het maximal entanglement blijft bestaan, juist door interferentie = decoherence. De Hawking deeltjes in beide werelden zijn inderdaad elkaars EPR partners. De eerste schrijfwijze geeft aan dat je ze kunt quantum teleporteren mbv de klassieke bits "i". Het quantum teleportatie protocol is wel veel werk: je moet nl de hele zwarte gat toestand "i" meten, en die informatie doorsturen. Dat lijkt onmogelijk. Maar onze bewering is dat de ER bridge dit protocol automatisch uitvoert. Maw, door het verhaal zo op te zetten, gebruiken we de klassieke geometrie van

de ER bridge om het QT mechanisme te beargumenteren ipv andersom.

Tot slot: in ons verhaal is het perspectief op het AMPS entanglement behoorlijk verandert. Een AMPS opportunist zou kunnen opmerken dat als je metingen aan een van de twee werelden zou uitvoeren, dat de EPR correlatie met de twin wereld dan verdwijnt. Dus dan lijkt ons mechanisme niet meer te werken. Maar je kunt dan antwoorden dat de Born rule projectie niet opgelegd hoeft te worden, en dat many worlds equivalente voorspellingen maakt. Of beter gezegd, sinds dezelfde meting ook in de twin wereld plaats vindt, mag/moet je de Born projectie simultaan uitvoeren. En dan blijft alles werken -- en zoals jij al opmerkte, op deze manier ben je juist EPR paren van jonge zwarte gaten aan het maken.

In principe hebben we het verhaal nu al bijna staan -- dus laten we het gewoon maar gaan opschrijven. We moeten wel nog even nadenken over hoe we dit in plaatjes moeten duidelijk maken. Het eternal BH en Gerard's swiss cheese plaatje zijn duidelijk. Maar hebben we nog een QT protocol plaatje?

met groet,  
--Herman

2012/12/12 Verlinde, Erik <[E.P.Verlinde@uva.nl](mailto:E.P.Verlinde@uva.nl)>

[Quoted text hidden]

---

**Herman Verlinde** <[herman.verlinde@gmail.com](mailto:herman.verlinde@gmail.com)>  
To: "Verlinde, Erik" <[E.P.Verlinde@uva.nl](mailto:E.P.Verlinde@uva.nl)>

Wed, Dec 12, 2012 at 8:31 AM

Hallo Erik,  
Even een obvious point of worry:

Misschien afhankelijk van hoe causaliteit werkt voor ER bridge, maar er is dan natuurlijk het probleem dat iedere kleine verstoring in het ver verleden enorm blueshift wordt tot een firewall singulariteit bij de horizon van de EPR partner. Dus tonen we nu juist niet aan dat er een firewall moet zijn. Of is de EPR interferentie juist zo dat dit probleem precies wegvalt?

Maw is deze instabiliteit juist precies gelijk aan het benodigde spiegelbeeld van de Hawking straling?

Dit lijkt niet heel eenvoudig te beargumenteren.

met groet,  
--Herman

[Quoted text hidden]

---

**Erik Verlinde** <epverlinde@gmail.com>  
To: Herman Verlinde <herman.verlinde@gmail.com>

Wed, Dec 12, 2012 at 9:45 AM

Kun je zo nog even bellen op mijn werk? 020-525-7314

Sent from my iPhone

[Quoted text hidden]

---

**Herman Verlinde** <herman.verlinde@gmail.com>  
To: Erik Verlinde <epverlinde@gmail.com>

Wed, Dec 12, 2012 at 9:57 AM

ik probeer nu te bellen...

[Quoted text hidden]

---

**Verlinde, Erik** <E.P.Verlinde@uva.nl>  
To: Herman Verlinde <herman.verlinde@gmail.com>

Wed, Dec 12, 2012 at 10:02 AM

Hallo Herman,

Dit had ik me ook bedacht: een infalling shell of matter. wanneer deze naar het verleden wordt geboost zodat die langs de past horizon loopt, zou inderdaad voor het EPR paar tot een firewall leiden. Maar niet helemaal om de reden van AMPS. Er is wel degelijk een andere kant van de horizon waar er een kopie is van de EPR twin. Ik ben nu toch even tot kwart voor 5 of zo bezig. Maar als je dan kan bellen zou het goed uitkomen.

met groet,

Erik

[Quoted text hidden]

---

**Erik Verlinde** <epverlinde@gmail.com>  
To: Herman Verlinde <herman.verlinde@gmail.com>

Wed, Dec 12, 2012 at 10:03 AM

Ok, het kan wel even nog

[Quoted text hidden]

---

**Erik Verlinde** <epverlinde@gmail.com>  
To: Herman Verlinde <herman.verlinde@gmail.com>

Wed, Dec 12, 2012 at 7:32 PM

Hallo Herman,

Ik was vanavond uit (competitie met de schaakclub) maar ik heb nog wel verder gedacht.

Om kort te gaan: volgens mij weten we hoe de postulaten van AMPS aangepast moeten worden zodat er geen probleem is met smooth horizons. Je moet gewoon scherper formuleren wat de invallende en buitenstaande waarnemer als gemeenschappelijke werkelijkheid zien, en waarin hun ervaringen complementair zijn. Het belangrijkste punt is dat de qubit achter de horizon ge-identificeerd mag worden met de qubit in de early radiation, en omdat de buitenstaande waarnemer dit qubit niet eerder kan achterhalen dan het moment dat dit kan worden overgebracht naar de invallende waarnemer. Een manier om dat te "garanderen" is te postuleren dat "black holes are the fastest quantum computers". Dus de snelste manier om het qubit te achterhalen uit de early radiation is om deze in een zwart gat te stoppen en te wachten tot deze het entangled qubit uitzendt. Dat gebeurt op een space-like separated punt in de ruimte-tijd. Het grappige is dat deze "twin-black hole" inderdaad het quantum error correction protocol gebruikt. De overgangsamplitude is namelijk precies de complex geconjugeerde van de oorspronkelijke C coëfficiënt, en je vindt dus dat de ancilla gelijk is aan het uitgezonden bit door de twin black hole. Maar in dit geval pas

je dus error correction toe op de straling buiten het zwarte gat die gevangen zit in de twin black hole, en deze QEC is betrouwbaar na de Page time.

Een van de discussie punten die belangrijk zijn (maar waar geen formules of berekeningen voor nodig zijn) is dat Alice geen theorie hoeft hebben waarbij zij zowel de volledige quantum informatie buiten het zwarte gat als ook binnen de horizon hoeft te beschrijven. Rafael Bousso probeerde namelijk mij op die manier klem te zetten, door te beweren dat zij net voordat zij het zwarte gat invalt kan besluiten er niet in te vallen. Op dat moment heeft ze de B-mode gemeten en kan zij wachten op de uitkomst van de meting van Bob. Maar als ze wel doorgaat dan vindt ze dus het qubit achter de horizon. Het klopt dat dit lijkt op een duplicatie van het qubit, maar dit is natuurlijk onzin. Zij hoeft alleen maar zeker te weten dat zij zelf geen duplicatie ervaart. Een duplicatie van twee qubits tussen twee verschillende keuzes die zij maakt is geen probleem. Ik denk dan altijd "haar theorie is zodanig dat zij weet dat zij nooit eenzelfde qubit op twee totaal verschillende locaties zal tegenkomen". M.a.w. zij heeft ons artikel gelezen, en weet dat zij hetzelfde qubit zal kunnen vinden in beide situaties, maar ligt daar dus niet wakker van.

De conclusie is gewoon, dat als je preciezer de postulaten definieert, dat dan black hole complementarity gewoon geldig blijft. Merk op dat we in deze kijk niet per se over decoherence hoeven te spreken. Dat is alleen nodig als je zowel de QFT kijk voor de waarnemer buiten de horizon wilt gebruiken als ook voor de invallende waarnemer, en hen beiden ook nadat zij buiten elkaars causale horizon zijn gekomen, in diezelfde taal wilt kunnen laten beschrijven wat er met de andere waarnemer gebeurt. Dat laatste kan dus niet als je ook bijhoudt hoe het met alle quantum informatie zit. Maar met de juiste coarse graining => decoherence kan het dus wel.

Dus om nog een keer te herhalen. Ik wil Alice gewoon, zonder decoherence of coarse graining, hetzelfde qubit geven dat zich eigenlijk buiten de horizon bevindt. Het is gewoon een duplicaat, een kopie, iets wat eigenlijk verboden is omdat zij de toestand buiten de horizon gebruikt, en dus niet lokaal bezig is. But who cares?? Er is geen probleem met causaliteit, en dat is het enige dat telt.

met groet,

Erik

[Quoted text hidden]

---

**Herman Verlinde** <herman.verlinde@gmail.com>

Sat, Dec 15, 2012 at 3:53 AM

To: "Verlinde, Erik" <E.P.Verlinde@uva.nl>

Hallo Erik,

Na nog even doorgedacht te hebben (en een discussie met Daniel), kom ik er ook op uit dat we het complementarity principe gewoon maximaal moeten oproepen om daarmee de locale beschrijving zo goed mogelijk te maken -- binnen redelijke grenzen die we al kennen:

Ik bedacht me met name dat ons eigen eerste complementarity principe I dat we met Kiem hebben geformuleerd op een tamelijk preciese manier uitkomst biedt.

In zekere zin is ons principe I al optimaal geformuleerd om AMPS aan te pakken -- en het vult ons laatste artikel ook op een mooie manier aan. Want we kunnen nu heel direct laten zien dat hoe meer je coarse grained ver buiten de horizon, des te beter kun je de local QFT bij de horizon kunt re-construeren.

Ons principe I impliceert een versie van "observer dependent decoherence", dan wel "variable cut-off dependent decoherence". Want het schrijft voor op welk moment een mode moet gaan decoheren: op het moment dat het weg gesneden wordt door de cut-off. Dat was precies destijds onze bedoeling, en zo hebben we het eigenlijk ook staan.

( Misschien is verder nog steeds nodig dat om te beargumenteren dat de bit  $R_b$  niet door Alice zelf al gemeten had kunnen worden -- hoewel ons QEC verhaal dit eigenlijk ook al aantoonst, and het complementarity principe I dat eigenlijk ook verbiedt. Maw: als ze het wel zou hebben gemeten, dan was de meting zelf causaal verantwoordelijk voor de firewall.)

De vraag is of dat we de error in de QEC code nu kunnen gebruiken om ons space-time complementarity principe nog iets meer te quantificeren.

met groet,  
--Herman

2012/12/12 Verlinde, Erik <[E.P.Verlinde@uva.nl](mailto:E.P.Verlinde@uva.nl)>

[Quoted text hidden]

---

**Herman Verlinde** <[herman.verlinde@gmail.com](mailto:herman.verlinde@gmail.com)>

Sat, Dec 15, 2012 at 4:15 AM

To: "Verlinde, Erik" <[E.P.Verlinde@uva.nl](mailto:E.P.Verlinde@uva.nl)>

Nog iets precieser:

Beschouw een spatial slice. Kies een interval, en bereken de entanglement entropie met de buitenwereld. Bereken ook hoeveel internal mutual entropie je nodig heb om het inwendige van het interval semi-klassiek te beschrijven. Kijk of monogamie of entanglement dit toestaat.

[Quoted text hidden]

---

**Verlinde, Erik** <[E.P.Verlinde@uva.nl](mailto:E.P.Verlinde@uva.nl)>

Sat, Dec 15, 2012 at 7:13 AM

To: Herman Verlinde <[herman.verlinde@gmail.com](mailto:herman.verlinde@gmail.com)>

Hallo Herman,

Ik begrijp je idee. Zelf kwam ik op soortgelijke conclusies, o.a. door een voordracht die Rob Myers hier gaf. Hij berekend holographic entanglement entropie uit met de methode van Callan/Wilczek met een conical deficit. Hij komt dan op  $A/4G$  uit, maar ik geloof hem niet helemaal. Hij zei ook dat dit a la Ruy Takajagi en Cardy/Calabrese oivereenkomt met de lokale entanglement van een QFT, maar ook dat dit voor zwarte gaten telt. Maar hij gaf toe dat de entanglement in de huidige discussie gaat over die met de straling ver weg. Toen ik hem vroeg dat je dus niet beide kon hebben, zei hij eerst van wel. Maar hij gaf toe dat je dan moet opgeven dat het aantal microtoestanden gelijk is aan  $A/4G$ . Dus je kunt of locale entanglement hebben, of entanglement ver af. Maar niet beide. Dit is waar BH complementarity ook over gaat.

Ik heb nog wat meer gedachten. Maar ik ga nu met Mark naar de bioscoop (the Hobbit) ook voor zijn verjaardag nog. Ik ben vanavond rond 10 uur denk ik weer thuis. Kun je dan weer een keer bellen?

met groet,

Erik

[Quoted text hidden]

**Herman Verlinde** <herman.verlinde@gmail.com>  
To: "Verlinde, Erik" <E.P.Verlinde@uva.nl>

Sat, Dec 15, 2012 at 8:31 AM

Hallo Erik,  
Ditzelfde heb ik ook al bedacht. Maar ogenschijnlijk is er een verschil met wat ik net schreef:

Ons space-time complementarity beeld impliceert dat microscopic entanglement een coördinaat afhankelijke definitie heeft.

Myers wil denk ik beweren dat zijn entanglement entropie coördinaat onafhankelijk is.

Maar toen hij hier zijn voordracht gaf, viel ik hem ook al lastig dat hij niet duidelijk bijhield hoe zijn coördinaten transformatie op zijn cut-off werkt.

Dus inderdaad: space-time complementarity betekent dat je moet besluiten hoe je het entanglement van een gegeven space-time region laat verdelen over zijn omgeving -- dichtbij, ver weg, etc. Die keuze hangt samen met een variable cut-off en is dus observer-afhankelijk, en kan zodra Alice besluit naar binnen te vallen op een (ogenschijnlijk) acausale manier aangepast worden. (In werkelijkheid is er een soort gauge symmetry in haar beschrijving: alle vrijheidsgraden dat voor haar niet waarneembaar zijn kunnen op verschillende manieren gerepresenteerd worden).

Maar het is duidelijk dat we deze discussie vooraan in ons verhaal moeten zetten -- eigenlijk een herhaling van onze inleiding van het artikel met Kiem.

Zoals we ons toen al best bewust waren is dit best een radicaal wereldbeeld -- want het impliceert inderdaad al een holografische kijk dat informatie niet gewoon uniform over de ruimte verdeelt kan blijven worden.

met groet,  
--Herman

2012/12/15 Verlinde, Erik <[E.P.Verlinde@uva.nl](mailto:E.P.Verlinde@uva.nl)>

[Quoted text hidden]

---

**Herman Verlinde** <herman.verlinde@gmail.com>  
Draft To: "Verlinde, Erik" <E.P.Verlinde@uva.nl>

Thu, Jul 14, 2022 at 8:27 AM

[Quoted text hidden]