WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

Էնտրոպիայի վրա հիմնված գրավիտացիոն մոդելում տեղային էնտրոպիայի խտությունը նվազում է, մինչդեռ ընդհանուր էնտրոպիան աճում է

Physical Review D-ում հրապարակված աշխատանքը Gravity From Entropy առաջարկված փոփոխված գրավիտացիոն շրջանակի ներսում ածանցում է ջերմաստիճաններ, ճնշումներ և առաջին օրենք: Ուշ ժամանակների, փոքր կորության Ֆրիդմանի մոտավորման մեջ մոդելի տեղային էնտրոպիայի և էներգիայի խտությունները նվազում են, մինչդեռ ընդարձակումը մեծացնում է ընդհանուր էնտրոպիան: Հաշվարկը ներքին առումով կոնկրետ է, բայց պայմանական. Ֆրիդմանի տիեզերաբանությունները ամբողջական տեսության ճշգրիտ լուծումներ չեն, և սա դիտողական ապացույց չէ, որ գրավիտացիան առաջանում է էնտրոպիայից, չափված մութ էներգիայի բացատրություն կամ ավարտված քվանտային գրավիտացիայի տեսություն:

Written by Laura Nesso · Cross-checked by Cinzia Vaglio · Edited by Michele Renda · Figures by Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *Thermodynamics of the gravity from entropy theory*, Ginestra Bianconi, Physical Review D 114, 024042 (2026) · DOI: 10.1103/26kn-thgp

Աճող ծավալը կարող է նվազեցնել խտությունը, մինչդեռ ընդհանուր քանակը մեծանում է

Եթե այս մոդելի էնտրոպիայի խտությունը նվազում է Տիեզերքի ընդարձակման հետ, ապա ինչպե՞ս կարող է ընդհանուր էնտրոպիան միաժամանակ աճել:

Պատկերացրեք ընդարձակվող Տիեզերք՝ բաժանված փոքրիկ բջիջների: Յուրաքանչյուր բջջում որևէ մեծության քանակը կարող է նվազել, մինչդեռ աճող ամբողջ տիրույթում դրա ընդհանուր քանակը մեծանում է: Խտության անկումն ու ընդհանուր քանակի աճը հակասություն չեն, երբ փոխվում է հենց ծավալը:

Այս պարզ հաշվարկային հարցը շատ ավելի հավակնոտ տեսական աշխատանքի հիմքում է: ֆիզիկական գրախոսություն D-ում մաթեմատիկական ֆիզիկոս Ջինեստրա Բյանկոնին զարգացնում է **Gravity From Entropy**-ի (GfE) թերմոդինամիկական նկարագրությունը՝ վերջերս առաջարկված մի մոդելի, որտեղ գրավիտացիան կոդավորվում է նյութի և երկրաչափության միջև տեղեկատվականտեսական կապով: Այստեղ «տեղեկատվականտեսական» նշանակում է, որ մոդելը սկսում է մաթեմատիկական չափից, որը նկարագրում է, թե որքանով են իրարից տարբերվում երկրաչափության երկու նկարագրություններ՝ ֆիզիկական երկրաչափությունը և նյութով ու կորությամբ առաջացած երկրաչափությունը:

Աշխատանքը սահմանում է տեղային մեծություններ՝ k-էնտրոպիաներ, k-էներգիաներ, k-ջերմաստիճաններ և k-ճնշումներ: k նախածանցը մոդելում տարբեր երկրաչափական ոլորտներ է առանձնացնում. դրանք տարբեր նյութեր կամ տիեզերական դարաշրջաններ չեն: Դրանց միջև կապը մաթեմատիկորեն նույն կառուցվածքն ունի, ինչ թերմոդինամիկայի առաջին օրենքը. էներգիայի փոփոխությունը հավասար է ջերմաստիճանի և էնտրոպիայի փոփոխության արտադրյալին՝ հանած ճնշման և ծավալի փոփոխության արտադրյալը:

$$\delta\epsilon_k = \theta_k\,\delta s_k - \pi_k\,\delta v$$

Այնուհետև աշխատանքը գնահատում է այդ մեծությունները ընդարձակվող Ֆրիդմանի տիեզերաբանությունների միջոցով՝ ստանդարտ իդեալականացված Տիեզերքների, որոնք մեծ մասշտաբներում համասեռ և իզոտրոպ են: Ցածր էներգիայի և փոքր կորության ռեժիմում նյութով ու ճառագայթմամբ գերակշռող օրինակներում տեղային էնտրոպիայի և էներգիայի խտությունները նվազում են, բայց ընդարձակումը բավական ծավալ է ավելացնում, որպեսզի ընդհանուր էնտրոպիան աճի: Առաջատար կարգով ընդհանուր էներգիան մոտենում է հաստատունի. այսինքն՝ պահպանվում է մեծ ժամանակների դեպքում գերակշռող անդամը, իսկ ավելի արագ մարող անդամները անտեսվում են:

Սա հստակ մաթեմատիկական արդյունք է: Նույնքան կարևոր են դրա սահմանները. հաշվարկը կատարվում է **մեկ առաջարկված տեսության ներսում**, իսկ կոնկրետ օրինակների համար օգտագործված Ֆրիդմանի տիեզերաբանությունները ամբողջական GfE հավասարումների միայն **մոտավոր**, ոչ թե ճշգրիտ լուծումներ են: Այդ շարժման

հավասարումները ստացվում են առաջարկված GfE գործողության վարիացիայից և ներառում են դինամիկ G-դաշտն ու ավելի բարձր կարգի երկրաչափական ոլորտները, որոնք սովորական Ֆրիդմանի հավասարումներում բացակայում են: Աշխատանքը չի դիտարկում, որ էնտրոպիան առաջացնում է գրավիտացիա, չի նույնականացնում մեր Տիեզերքի մութ էներգիան և չի ավարտում քվանտային գրավիտացիայի տեսությունը:

Ի՞նչ է ենթադրում Gravity From Entropy-ը

Ընդհանուր հարաբերականությունը գրավիտացիան նկարագրում է տարածաժամանակի երկրաչափությամբ: Նյութը որոշում է, թե ինչպես է տարածաժամանակը կորանում, իսկ այդ կորությունը որոշում է, թե ինչպես է նյութը շարժվում: GfE-ն սկսում է այլ առաջարկված գործողությունից. այն մետրիկային առնչվող օբյեկտները դիտարկում է որպես քվանտային օպերատորներ և իր Լագրանժյանը կառուցում է **Geometric քվանտային Relative Entropy**-ից (GQRE՝ երկրաչափական քվանտային հարաբերական էնտրոպիա):

> **Երեք տերմին՝ 120 վայրկյանում**
>
> **Քվանտային օպերատորը** մաթեմատիկական կանոն է, որը գործում է քվանտային վիճակի վրա և ներկայացնում է որևէ մեծություն կամ փոխակերպում: GfE-ն ենթադրում է, որ մետրիկային առնչվող իր օբյեկտները կարելի է այս կերպ դիտարկել. հոդվածը ընթերցողից չի պահանջում վերարտադրել այդ կառուցումը:
> **Լագրանժյանը** տեսության դինամիկան համառոտ ձևով սահմանող մաթեմատիկական բաղադրատոմս է: Այն ինտեգրելով տարածաժամանակով՝ ստացվում է գործողությունը, իսկ այդ գործողության վարիացիայից՝ դաշտային հավասարումները:
> **GQRE-ն** GfE-ի ընտրած մոդելային Լագրանժյանն է: Այն քվանտային հարաբերական էնտրոպիայի գաղափարը հարմարեցնում է՝ համեմատելու ֆիզիկական մետրիկան նյութով և կորությամբ առաջացած ավելի բարձր կարգի մետրիկայի հետ: Այն «էնտրոպիա» անվանելը չի դարձնում այն սովորական ջերմային էնտրոպիա:

Հարաբերական էնտրոպիան սովորաբար երկու հավանականային բաշխումների կամ քվանտային վիճակների տարբերակելիության չափ է: GfE-ում համեմատվում են ֆիզիկական մետրիկան և նյութով ու կորությամբ առաջացած ավելի բարձր կարգի մետրիկան: «Ավելի բարձր կարգի» չի նշանակում տարածաժամանակի լրացուցիչ չափումներ: Դա նշանակում է, որ մոդելը սկալյար, վեկտորատիպ և բիվեկտորատիպ երկրաչափական ոլորտները միավորում է մեկ ընդլայնված օբյեկտի մեջ: Դինամիկ **G-դաշտը** կապում է այդ բաղադրիչները և «հագցնում» այն մետրիկան, որը մոդելն օգտագործում է թե՛ գրավիտացիոն, թե՛ նյութական մասերում: Շրջանակը

կառուցված է այնպես, որ ցածր էներգիայի և փոքր կորության սահմանում դրա գործողությունը հանգում է ընդհանուր հարաբերականության Այնշտայն–Հիլբերտի գործողությանը՝ գումարած նյութի գործողությունը:

Վերջին նախադասությունը հեշտ է չափազանց լայն մեկնաբանել: Այնշտայնի հավասարումների վերականգնումը որևէ սահմանում առաջարկի ներքին համատեղելիության նպատակ է: Դա չի ցույց տալիս, որ բնությունը այդ սահմանից դուրս օգտագործում է ավելի լայն տեսությունը:

GfE-ի դաշտային հավասարումները պարունակում են նաև դինամիկ անդամ, որը շրջանակը անվանում է **առաջացող արդյունավետ մութ էներգիայի անդամ**: Այս աշխատանքում Բյանկոնին մոդելի ներքին էներգիայի խտությունը նույնականացնում է այդ անդամի հետ: «Արդյունավետ մութ էներգիա» ձևակերպումը նկարագրում է դրա դերը հավասարումներում: Դա տիեզերաբանական դիտարկումներից եզրակացվող մութ էներգիայի հետ փորձարարական նույնականացում չէ:

> **«Էնտրոպիա» բառի երեք տարբեր կիրառություն**
>
> **Սովորական թերմոդինամիկական էնտրոպիան** հաշվում է, թե քանի մանրադիտակային դասավորություն կարող է առաջացնել մակրոսկոպիկ վիճակ: **Քվանտային հարաբերական էնտրոպիան** չափում է, թե որքան տարբերակելի են երկու քվանտային վիճակներ: Այս աշխատանքի **GQRE-ն** հարաբերական էնտրոպիայից ներշնչված մոդելային երկրաչափական կառուցում է, որն օգտագործվում է որպես գրավիտացիոն Լագրանժյան: Նման անունները չեն դարձնում այս մեծությունները փոխարինելի. աշխատանքը GfE-ի ներսում ածանցում է այն կապերը, որոնք օգտագործում է:

Մոդելի ներսում ստացված ճշգրիտ թերմոդինամի արդյունքը

Աշխատանքը նախ աշխատում է հենց GfE շրջանակի մակարդակում: Երկրաչափական ազատության յուրաքանչյուր կարգի և տեսակի համար, որը ինդեքսավորվում է k-ով, սահմանվում են՝

- տեղային k-էնտրոպիա՝ GQRE-ից,
- տեղային k-էներգիա՝ մոդելի ներքին էներգիայի խտությունից,
- զուգորդված k-ջերմաստիճան,
- և k-ճնշում:

Այս մեծությունները բավարարում են տեղային առաջին օրենքին: Աշխատանքի նշագրությամբ՝

$$\delta\epsilon_k = \theta_k\,\delta s_k - \pi_k\,\delta v$$

k ինդեքսը տարբեր նյութերի կամ Տիեզերքի դարաշրջանների ցուցակ չէ: Համասեռ և իզոտրոպ հաշվարկում այն նշում է հինգ անդամ՝ մեկ սկալյար անդամ, վեկտորատիպ ոլորտից առանձին ժամանականման և տարածանման անդամներ, և բիվեկտորատիպ ոլորտից առանձին ժամանակ–տարածություն ու տարածություն–տարածություն անդամներ: Սկալյարը ուղղության ինդեքս չունի, վեկտորատիպ անդամները տարբերակում են ժամանակային ու տարածական ուղղությունները, իսկ բիվեկտորը կառուցվում է ուղղությունների զույգերից: Յուրաքանչյուր ոլորտ կարող է ունենալ իր ջերմաստիճանն ու ճնշումը: k-ջերմաստիճանը կարող է նաև դրական կամ բացասական լինել՝ կախված համապատասխան G-դաշտի բաղադրիչից:

Սրանք այն ջերմաստիճանները չեն, որոնք չափվում են տիեզերաբանական հորիզոնի մոտ ջերմաչափ տեղադրելով: Դե Սիթերի ստանդարտ քվանտային դաշտի ջերմաստիճանը մասշտաբվում է H-ով. **Գիբոնս-Հոքինգի ջերմաստիճանը** վերագրվում է տիեզերաբանական հորիզոնին, իսկ **Բանչ-Դեյվիսի վակուումը** դե Սիթերին ինվարիանտ ստանդարտ քվանտային վիճակն է, որի դաշտային կորելացիաները տալիս են համապատասխան ջերմային արձագանքը: Աշխատանքը երկուսն էլ հստակ տարբերակում է իր երկրաչափական k-ջերմաստիճաններից, որոնք դե Սիթերի օրինակում մասշտաբվում են H^2-ով: Այստեղ «ջերմաստիճան»-ը մոդելի էնտրոպիայի և էներգիայի սահմանումներից ստացվող թերմոդինամիկական զուգորդված փոփոխականի անունն է:

Ուստի առաջին օրենքի նման կապը իսկապես ածանցվում է, բայց դա **տեսության ներսում ստացվող հետևանք է**. եթե ընդունենք GfE գործողությունն ու սահմանումները, այս թերմոդինամիկական կառուցվածքը բխում է դրանցից:

Ինչո՞ւ Ֆրիդմանի հաշվարկը մոտավոր է

Ֆորմալիզմը տիեզերաբանական օրինակի վերածելու համար աշխատանքն օգտագործում է համասեռ և իզոտրոպ Ֆրիդման–Ռոբերտսոն–Ուոքերի (FRW) տարածաժամանակներ: «Համասեռ» նշանակում է, որ մեծամասշտաբ մոդելն ամեն տեղ ունի նույն միջին հատկությունները, իսկ «իզոտրոպ»՝ որ այն բոլոր ուղղություններով նույն կերպ է երևում: Մեկ մասշտաբային գործակից նկարագրում է, թե ինչպես են հեռավորությունները ժամանակի հետ աճում, նյութը ներկայացվում է որպես հարթ կատարյալ հեղուկ, իսկ Հաբլի պարամետր H-ը ամփոփում է ընդարձակման արագությունը: Սա իդեալականացված ֆոն է, ոչ թե առանձին գալակտիկաների քարտեզ:

Բայց այստեղ կա կառուցվածքային անհամապատասխանություն: Ֆրիդմանի Տիեզերքները լուծում են Այնշտայնի հավասարումները: Ընդհանուր դեպքում դրանք չեն լուծում ամբողջական՝ ավելի բարձր կարգի GfE հավասարումները, որոնք հետևում են նաև սկալյար, վեկտորատիպ և բիվեկտորատիպ ոլորտներին ու G-դաշտի ածանցյալներին: Այնշտայնի հավասարումները վերականգնվում են միայն առաջարկի առաջին կարգի, ցածր էներգիայի և փոքր կորության սահմանում:

Աշխատանքը դա բացահայտ նշում է և Ֆրիդմանի լուծումները դիտարկում է որպես մոտավորումներ: Գաղափարն այն է, որ ավելի ամբողջական տեսության մեջ տեղադրվում է միջին դաշտի լուծում և ստուգվում, թե որ պայմաններում է մոտավորումը վստահելի: Այդ ռեժիմը պահանջում է ցածր էներգիա և փոքր կորություն, ինչը ամփոփվում է $l_P H \ll 1$ պայմանով, որտեղ l_P-ն Պլանկի երկարությունն է: Երկրորդ պայմանը պահանջում է, որ առաջացած ավելի բարձր կարգի մետրիկայի և ֆիզիկական ավելի բարձր կարգի հակադարձ մետրիկայի արտադրյալը մնա դրական որոշյալ:

Ուստի արդյունքը «GfE-ն կանխատեսում է մեր Տիեզերքի պատմությունը» չէ: Ավելի ճիշտ է ասել. **եթե GfE Տիեզերքը բավական լավ է մոտարկվում ծանոթ Ֆրիդմանի տիեզերաբանությամբ, ապա ամբողջական GfE մեծությունները տալիս են այս թերմոդինամիկական մասշտաբային օրենքները**:

Տեղային և ընդհանուր մեծությունների տարբերու

Այդ ռեժիմում առաջատար տեղային մեծություններն ունեն պարզ մասշտաբային կախումներ՝

- մոդելի էնտրոպիայի խտությունը մասշտաբվում է H^2-ով,
- մոդելի էներգիայի խտությունը՝ H^4-ով,
- իսկ ուշ ժամանակներում ոչ դե Սիթերյան Ֆրիդմանի օրինակների համար դրանք մոտավորապես դառնում են t^{-2} և t^{-4}:

Այսպիսով, Տիեզերքի ընդարձակման հետ երկու խտություններն էլ նվազում են: Բայց խտությունը ընդհանուր քանակը չէ:

Երբ աշխատանքը ինտեգրում է ընդարձակվող տարածաժամանակային տիրույթով, աճող ծավալը փոխում է պատկերը: Ֆիզիկապես ծանոթ՝ նյութով և ճառագայթմամբ գերակշռող օրինակներում ընդհանուր էնտրոպիան ժամանակի հետ աճում է, նույնիսկ եթե միավոր ծավալում էնտրոպիան նվազում է: Ընդհանուր էներգիան շարունակաբար չի աճում. առաջատար կարգով այն մոտենում է հաստատունի:

Սա աշխատանքի ամենաօգտակար գաղափարական արդյունքն է: Տեղային կարգավորվածութ աճը կամ նոսրացումը ինքնաբերաբար չի հակասում գլոբալ երկրորդ օրենքին: Տարածքը կարող է միավոր ծավալում դառնալ պակաս էնտրոպիական, մինչդեռ ինտեգրված էնտրոպիան աճում է, որովհետև տարածաժամանակային ծավալը ավելի արագ է մեծանում:

Հաշվարկը չի ապացուցում, որ սա իրական Տիեզերքում թերմոդինամիկական ժամանակի սլաքի ճիշտ մանրադիտակային բացատրությունն է: Այն ցույց է տալիս, որ առաջարկված շրջանակը իր Ֆրիդմանի մոտավորման մեջ կարող է առանց հակասության տեղավորել տեղային և գլոբալ վարքի այս տարբերությունը:

Համեմատություն դե Սիթերի հետ՝ այլ ջերմաստի

Աշխատանքը դիտարկում է նաև դե Սիթերի տարածությունը՝ իդեալականացված էքսպոնենցիալ ընդարձակվող տարածաժամանակ հաստատուն H-ով: Մեկ դիտորդի համար ինտեգրումը կատարվում է միայն վերջավոր **պատճառական ադամանդի** վրա՝ ավելի վաղ իրադարձության ապագա լուսային կոնի և ավելի ուշ իրադարձության անցյալ լուսային կոնի հատման տիրույթի, որը սահմանափակում է այն տարածաժամանակայի շրջանը, որը կարող է մասնակցել դրանց միջև դիտարկումներին: Այդ ադամանդի վրա ընդհանուր GfE էնտրոպիան մասշտաբվում է H^{-2}-ով՝ նույն H-ից կախվածությամբ, ինչ ծանոթ Գիբոնս–Հոքինգի էնտրոպիան: Ընդհանուր GfE էներգիան մոդելի միավորներով առաջին կարգի մեծություն է:

> **Տիեզերաբանական ֆոնների մեկ ընտանիք**
>
> FRW-ն համասեռ և իզոտրոպ երկրաչափությունների ընտանիք է, ոչ թե մեկ լրացուցիչ վայր: Նյութով գերակշռող և ճառագայթմամբ գերակշռող Տիեզերքները FRW դեպքեր են, որոնք տարբերվում են մոդելը լրացնող բաղադրիչով: Դե Սիթերի տարածությունը նույնպես կարելի է գրել FRW ձևով, բայց այն ներկայացնում է վակուումով գերակշռող դեպք՝ հաստատուն H-ով և էքսպոնենցիալ ընդարձակմամբ: Պատճառական ադամանդը մեկ դիտորդի համար այդ տարածաժամանակի ներսում ընտրված վերջավոր տիրույթ է. այն Տիեզերքի այլ տեսակ չէ:

Նույն մասշտաբային կախումը ունենալը նույն ֆիզիկական օբյեկտը ստանալ չէ: Համապատասխան GfE k-ջերմաստիճանը մասշտաբվում է H^2-ով՝ ի տարբերություն դե Սիթերի ստանդարտ ջերմաստիճանի, որը մասշտաբվում է H-ով: Աշխատանքը այս տարբերությունը մեկնաբանում է որպես նշան, որ k-ջերմաստիճանը պատկանում է տարածաժամանակի երկրաչափությանը, այլ ոչ թե այդ ֆոնի վրա ապրող քվանտային դաշտերին:

Այնուհետև առաջարկվում է, որ նման ջերմաստիճանը *կարող է* կապված լինել գրավիտոնային ճառագայթման, այլ ոչ սովորական մասնիկների արտանետման հետ: Սա ապագա հարց է, ոչ թե այս աշխատանքի արդյունք: Նախ տեսությունը պետք է քվանտացվի՝ պարզելու համար, արդյոք դրա ջերմաստիճանները ընդհանրապես համապատասխանում են ճառագայթման:

Ի՞նչ չի ապացուցում այս աշխատանքը

- Այն **չի** ցույց տալիս դիտողականորեն, որ գրավիտացիան առաջանում է էնտրոպիայից:
- Այն **չի** հաստատում, որ մոդելի արդյունավետ անդամը տիեզերաբանության մեջ չափվող մութ էներգիան է:
- Այն **չի** փոխարինում ընդհանուր հարաբերականությունը փորձարկված ավելի

լավ տեսությամբ։ Ընդհանուր հարաբերականությունն այստեղ հայտնվում է որպես առաջարկի ցածր էներգիայի, փոքր կորության սահման։
- Այն **չի** դարձնում Ֆրիդմանի տիեզերաբանությունները GfE-ի ճշգրիտ լուծումներ։ Դրանք մոդելի թերմոդինամիկական վարքը գնահատելու համար օգտագործված մոտավորումն են։
- Այն **չի** տալիս տարածաժամանակի ազատության աստիճանների ամբողջական մանրադիտակային հաշվարկ։
- Այն **չի** տրամադրում ավարտված քվանտային գրավիտացիայի տեսություն և չի հայտնաբերում գրավիտոններ։
- Այն **չի** ցույց տալիս, որ բացասական k-ջերմաստիճանները սովորական ջերմաչափով չափվող բացասական ջերմաստիճաններ են։

Որքա՞ն ուժեղ է արդյունքը

Սա գրախոսված տեսական աշխատանք է, ուստի այստեղ «ապացույցը» այլ բան է նշանակում, քան փորձարարական աշխատանքում։ Ճիշտ հարցերն են՝ արդյոք սահմանումները համահունչ են, արդյոք ածանցումները հետևողական են, և արդյոք մոտավորումները հստակ հայտարարված ու վերահսկելի են։

Այս մակարդակում աշխատանքը GfE-ի համար տալիս է կոնկրետ թերմոդինամիկական բառարան և ածանցում է առաջին օրենքի կառուցվածք՝ միայն անալոգիայի վրա հենվելու փոխարեն։ Այն նաև անսովոր տեսանելի է դարձնում մոտավորման սահմանը. Ֆրիդմանի լուծումները վերցված են ընդհանուր հարաբերականությունից, տեղադրված են GfE մեծությունների մեջ և սահմանափակված այն ռեժիմով, որտեղ առաջացած մետրիկան լավ վարք է պահպանում։

Ավելի լայն ֆիզիկական պնդումները բաց են մնում։ Ծրջանակը նոր է, այս աշխատանքը իր տիեզերաբանությունը չի համեմատում տվյալների հետ, իսկ ամենահետաքրքիր հետևանքներից մի քանիսը՝ քվանտացումը, կոնտակտայիներկրաչափական դինամիկան և հնարավոր գրավիտոնային ճառագայթումը, ներկայացվում են որպես ապագա աշխատանքի ուղղություններ։ Նոր գրավիտացիոն տեսության համար ներքին համատեղելիությունը անհրաժեշտ է։ Բայց դա բավարար չէ ցույց տալու համար, որ տեսությունը նկարագրում է բնությունը։

Ինչո՞ւ է սա կարևոր

Գրավիտացիայի և թերմոդինամիկայի կապը հին և խորն է՝ սև խոռոչների էնտրոպիայից մինչև դե Սիթերի տարածության ջերմաստիճանը։ Այդ արդյունքներից շատերը կազմակերպված են հորիզոնների շուրջ։ GfE-ն փոխարենը փորձում է նյութի և երկրաչափության հարաբերությունից ուղղակի կառուցել տեղային, ծավալային տեղեկատվական չափ։

Արդյոք այդ առաջարկը կդիմանա քննությանը՝ բաց հարց է: Բայց թերմոդինամիկական վարժությունը բացահայտում է օգտակար պահանջ ցանկացած նման տեսության համար. այն պետք է բացատրի, թե ինչպես կարող են տեղային կառուցվածքն ու նվազող տեղային էնտրոպիայի խտությունը համատեղվել ընդարձակվող Տիեզերքում աճող ընդհանուր էնտրոպիայի հետ:

Այս աշխատանքը ցույց է տալիս դրա իրականացման մեկ մաթեմատիկորեն հստակ եղանակ: Դրա արժեքն այն չէ, որ այն փակում է գրավիտացիա–էնտրոպիա խնդիրը: Այն խնդրի մի մասը վերածում է հավասարումների, որոնց ենթադրությունները, սահմաններն ու հաջորդ փորձարկումները կարելի է հստակ ձևակերպել:

Կարճ ամփոփում

Բյանկոնին Gravity From Entropy-ի ներսում ածանցում է թերմոդինամիկական նկարագրություն՝ առաջարկված փոփոխված գրավիտացիոն շրջանակի, որը հիմնված է երկրաչափական քվանտային հարաբերական էնտրոպիայի վրա: Մոդելի տեղային էնտրոպիայի, էներգիայի, ջերմաստիճանի և ճնշման փոփոխականները բավարարում են առաջին օրենքին: Երբ ամբողջական GfE մեծությունները գնահատվում են ցածր էներգիայի, փոքր կորության Ֆրիդմանի մոտավորումների վրա, Տիեզերքի ընդարձակման հետ տեղային էնտրոպիայի և էներգիայի խտությունները նվազում են, մինչդեռ ընդհանուր էնտրոպիան աճում է տարածաժամանակի ծավալի աճի պատճառով. նյութով և ճառագայթմամբ գերակշռող օրինակներում ընդհանուր էներգիան առաջատար կարգով մոտենում է հաստատունի: Դե Սիթերի պատճառական ադամանդը տալիս է H^{-2}-ով մասշտաբվող էնտրոպիա, բայց մոդելի ջերմաստիճանը տարբերվում է հորիզոնի ստանդարտ ջերմաստիճանից: Սրանք GfE-ի ներսում պայմանական մաթեմատիկական արդյունքներ են, ոչ թե դիտողական ապացույց, որ գրավիտացիան գալիս է էնտրոպիայից, մութ էներգիայի չափում կամ ավարտված քվանտային գրավիտացիայի տեսություն:

Աղբյուրներ

Ginestra Bianconi, Thermodynamics of the gravity from entropy theory, Physical Review D 114, 024042 (2026)
https://doi.org/10.1103/26kn-thgp