კოსმოლოგიური კონსტანტა ენერგიის ბალანსის პირობიდან

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის
თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

IVANE JAVAKHISHVILI
TBILISI STATE UNIVERSITY

მერაბ გოგბერაშვილი (ასოც. პროფ.)

ელემენტარული ნაწილაკები და კვანტური ველები

გრავიტაციის თერმოდინამიკული მოდელი

აინშტაინის განტოლებები თერმოდინამიკის I კანონის ანალოგიურია

$$\left(R_{\mu\nu}-\frac{1}{2}g_{\mu\nu}R\right)u^{\mu}u^{\nu}=8\pi G\,T_{\mu\nu}u^{\mu}u^{\nu}$$

იდეალური სითხისთვის

$$T_{\mu\nu}u^{\mu}u^{\nu}\quad\rightarrow\quad\rho+p=\frac{Ts_m}{V}$$

სინათლის-მაგვარი **4**-სიჩქარისთვის

$$g_{\mu\nu}\,u^{\mu}u^{\nu}=0$$

აინშტაინის ტენზორულ განტოლებებში კოსმოლოგიური წევრი Λ ჩნდება როგორც ინტეგრების კონსტანტა

$$R_{\mu\nu}-\frac{1}{2}g_{\mu\nu}R\;=8\pi G\,(T_{\mu\nu}+g_{\mu\nu}\Lambda)$$

ენტროპიული ნეიტრალობის პრინციპი

სამყაროს სრული ენტროპია ყოველთვის ნოლია: $\boldsymbol{s + I + \varepsilon = 0}$

$\boldsymbol{s = \ln N}$ (**ბოლცმანის** სტატისტიკური ენტროპია)

$\boldsymbol{I = -\sum_{i=1}^{N} p_i \ln p_i}$ (**შენონის** ინფორმაციული ენტროპია)

$\boldsymbol{\varepsilon = \Sigma_{tot} - \Sigma_{sub}}$ (კვანტური გადაჯაჭვულობის ენტროპია)

$\boldsymbol{\Sigma = -tr(\sigma \ln \sigma)}$ **ფონ-ნიუმანის** ენტროპია ($\boldsymbol{\sigma}$ - სიმკვრივის მატრიცა)

$\boldsymbol{s = I}$ თუ ყველა მიკრო-მდგომარეობის ალბათობა ტოლია, $\boldsymbol{p_i = 1/N}$

$\boldsymbol{I \geq \Sigma}$ ტოლობას ადგილი აქვს როცა $\boldsymbol{\sigma}$ ორთოგონალურია

ლანდაუერის და **ბრიულენის** პრინციპების განზოგადება: $\boldsymbol{s \sim A/\hbar}$

ენტროპიული ნეიტრალობა $\rightarrow$ ინფორმაციის დაკვანტვა, $\boldsymbol{A_{min} = \hbar}$

კოსმოლოგიური განტოლებები

1. $H^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho + \frac{1}{3}\Lambda$ (ფრიდმანის განტოლება)

2. $\dot{H} + H^2 \equiv \frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3}(\rho + 3\,p) + \frac{1}{3}\Lambda$ (აჩქარების განტოლება)

ექვივალენტური სისტემა კოსმოლოგიური წევრის გარეშე

1. $\dot{H} = -\,4\pi G(\rho + p)$ (მიიღება 1.-ს და 2.-ს გამოკლებით)

2. $\dot{\rho} = -\,3H(\rho + p)$ (ენერგია-იმპულსის შენახვა $\partial_\nu T^{\nu\mu} = 0$)

1. და 2.-ის ჯამის ინტეგრება გვაძლევა 1.-ს ინტეგრების კონსტანტით

$$H^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho + C$$

რომ დაემთხვეს 1.-ს ინტეგრების კონსტანტისთვის უნდა ავიღოთ

$$C = \frac{1}{3}\Lambda$$

ენტროპიის ბალანსი ჰაბლის სფეროსთვის

ჰოლოგრაფიული შეფასებების გამოყენებით

$$s = S/4G; \qquad \rho + p = T s_m / V; \qquad T = 1/2\pi R$$

ენტროპიის ნაკადი ჰაბლის სფეროდან $R_H = 1/H \approx 14.5\ Gly$

$$\frac{ds}{dt} = s_m S \quad \rightarrow \quad \frac{1}{4G}\frac{dS}{dt} = \frac{\rho + p}{T} S \qquad \left(S = 4\pi R_H^2\right)$$

აქედან ვიღებთ ფრიდმანის განტოლებას

$$\dot{H} = -4\pi G\,(\rho + p)$$

ჩაკეტილი სამყაროსთვის $\rho_U = 0$ ფრიდმანის განტოლება

$$\frac{1}{R_e^2} = \frac{8\pi G}{3}\rho_U + C = 0$$

აფიქსირებს ინტეგრების კონსტანტას $C = 1/R_e^2$ და ჰაბლის არისთვის

$$\rho_{DE} = \rho_c - \rho_m = \frac{\rho_c C}{H^2} = \frac{\rho_c R_H^2}{R_e^2} = 0.75\,\rho_c \quad \left(R_e = \int_1^\infty \frac{da}{a^2 H(a)} \approx 16.7\ Gly\right)$$

დ ა ს კ ვ ნ ა

ჰაბლის ჰორიზონტის მიღმა ნაწილაკებს შორის კვანტური გადაჯაჭვულობის ენერგია, როგორც წესი არ გაითვალისწინება კოსმოლოგიურ განტოლებებში.

კვანტურ სასაზღვრო წევრს ჩვენ ვაიგივებთ ბნელი ენერგიასთან და სასრული სამყაროსთვის ნულოვანი ენერგიის დაშვებით გამოვსახავთ მას კრიტიკული სიმკვრივის და ჰაბლის და მოვლენათა ჰორიზონტების რადიუსების საშუალებით,

$$\rho_{DE} = \rho_c \frac{R_H^2}{R_e^2} = 0.75\, \rho_c \,,$$

რაც კარგ თანხვედრაშია დაკვირვების მონაცემებთან.

გამოყენებული პუბლიკაციები:

M. Gogberashvili *Int. J. Theor. Phys.* **55**, 4185 (2016)

M. Gogberashvili *Adv. High Energy Phys.* **2018**, 3702498 (2018)

გმადლობთ ყურადღებისათვის!