

In cosmology, the cosmological constant (usually denoted by the Greek capital letter lambda: Λ), alternatively called Einstein's cosmological constant, is the constant coefficient of a term that Albert Einstein temporarily added to his field equations of general relativity. He later removed it. Much later it was revived and reinterpreted as the energy density of space, or vacuum energy, that arises in quantum mechanics. It is closely associated with the concept of dark energy.[1]

Sketch of the timeline of the Universe in the Λ CDM model. The accelerated expansion in the last third of the timeline represents the dark-energy dominated era.

Einstein originally introduced the constant in 1917[2] to counterbalance the effect of gravity and achieve a static universe, a notion that was the accepted view at the time. Einstein's cosmological constant was abandoned after Edwin Hubble's confirmation that the universe was expanding.[3] From the 1930s until the late 1990s, most physicists agreed with Einstein's choice of setting the cosmological constant to zero.[4] That changed with the discovery in 1998 that the expansion of the universe is accelerating, implying that the cosmological constant may have a positive value.[5]

Since the 1990s, studies have shown that, assuming the cosmological principle, around 68% of the mass–energy density of the universe can be attributed to so-called dark energy.[6][7][8] The cosmological constant Λ is the simplest possible explanation for dark energy, and is used in the current standard model of cosmology known as the Λ CDM model.

According to quantum field theory (QFT), which underlies modern particle physics, empty space is defined by the vacuum state, which is composed of a collection of quantum fields. All these quantum fields exhibit fluctuations in their ground state (lowest energy density) arising from the zero-point energy present everywhere in space. These zero-point fluctuations should act as a contribution to the cosmological constant Λ , but when calculations are performed, these fluctuations give rise to an enormous vacuum energy.[9] The discrepancy between theorized vacuum energy from quantum field theory and observed vacuum energy from cosmology is a source of major contention, with the values predicted exceeding observation by some 120 orders of magnitude, a discrepancy that has been called "the worst theoretical prediction in the history of physics!".[10] This issue is called the cosmological constant problem and it is one of the greatest mysteries in science with many physicists believing that "the vacuum holds the key to a full understanding of nature".[11]

History

Edit

Einstein included the cosmological constant as a term in his field equations for general relativity because he was dissatisfied that otherwise his equations did not allow for a static universe: gravity would cause a universe that was initially non-expanding to contract. To counteract this possibility, Einstein added the cosmological constant.[3] However, soon after Einstein developed his static theory, observations by Edwin Hubble indicated that the

universe appears to be expanding; this was consistent with a cosmological solution to the original general relativity equations that had been found by the mathematician Friedmann, working on the Einstein equations of general relativity. Einstein reportedly referred to his failure to accept the validation of his equations—when they had predicted the expansion of the universe in theory, before it was demonstrated in observation of the cosmological redshift—as his "biggest blunder".[12]

It transpired that adding the cosmological constant to Einstein's equations does not lead to a static universe at equilibrium because the equilibrium is unstable: if the universe expands slightly, then the expansion releases vacuum energy, which causes yet more expansion. Likewise, a universe that contracts slightly will continue contracting.[13]

However, the cosmological constant remained a subject of theoretical and empirical interest. Empirically, the cosmological data of recent decades strongly suggests that our universe has a positive cosmological constant.[5] The explanation of this small but positive value is a remaining theoretical challenge, the so-called cosmological constant problem.

Some early generalizations of Einstein's gravitational theory, known as classical unified field theories, either introduced a cosmological constant on theoretical grounds or found that it arose naturally from the mathematics. For example, Sir Arthur Stanley Eddington claimed that the cosmological constant version of the vacuum field equation expressed the "epistemological" property that the universe is "self-gauging", and Erwin Schrödinger's pure-affine theory using a simple variational principle produced the field equation with a cosmological term.

The cosmological constant Λ appears in the Einstein field equations in the form

V kosmologii je kosmologická konstanta (obvykle označovaná řeckým velkým písmenem lambda: Λ), alternativně nazývaná Einsteinova kosmologická konstanta, konstantní koeficient termínu, který Albert Einstein dočasně přidal do svých rovnic pole obecné teorie relativity. Později jej odstranil. Mnohem později to bylo oživeno a reinterpretováno jako energetická hustota prostoru nebo energie vakua, která vzniká v kvantové mechanice. Je úzce spojena s pojmem temná energie.[1] Náčrt časové osy Vesmíru v modelu Λ CDM. Zrychlená expanze v poslední třetině časové osy představuje éru ovládanou temnou energií. Einstein původně zavedl konstantu v roce 1917[2], aby vyvážil účinek gravitace a dosáhl statického vesmíru, což byl v té době přijímaný názor. Einsteinova kosmologická konstanta byla opuštěna poté, co Edwin Hubble potvrdil, že se vesmír rozpíná.[3] Od 30. let do konce 90. let většina fyziků souhlasila s Einsteinovou volbou nastavit kosmologickou konstantu na nulu.[4] To se změnilo s objevem v roce 1998, že expanze vesmíru se zrychluje, což naznačuje, že kosmologická konstanta může mít kladnou hodnotu.[5] Od 90. let 20. století studie ukázaly, že za předpokladu kosmologického principu lze asi 68 % hustoty hmoty a energie vesmíru připisat takzvané temné energii.[6][7][8] **Kosmologická konstanta Λ je nejjednodušší možné vysvětlení temné energie. Moje vysvětlení je jiné. Křivení dimenzí 3+3D je neporazitelný argument pro stavbu hmoty i stavbu fyzikálních polí. To znamená, že temná energie nemůže být nic jiného než „křivý stav“, volně křivý stav dimenzí čp. a používá se v současném standardním modelu kosmologie známém jako Λ CDM model. Podle kvantové teorie pole**

(QFT), která je základem moderní fyziky částic, je **prázdný prostor definován stavem vakua, který se skládá ze souboru kvantových polí**. O.K. To koresponduje s myšlenkou „lokálních polí“ postavených z přesně „navržených“ sestav křivých dimenzí „plovoucích“ v základním časoprostoru 3+3D. Všechna tato **kvantová** pole vykazují fluktuace ve svém základním stavu (nejnižší hustota energie) vyplývající z energie nulového bodu přítomné všude ve vesmíru. Tyto fluktuace nulového bodu by měly působit jako příspěvek ke kosmologické konstantě Λ , ale když se provádějí výpočty, tyto fluktuace **dávají vzniknout obrovské energii vakua**. [9] Rozpor mezi teoretickou vakuovou energií z kvantové teorie pole a pozorovanou vakuovou energií z kosmologie je zdrojem velkého sporu, přičemž **předpovězené hodnoty překračují pozorování asi o 120 řádů**, což je rozpor, který se nazývá „nejhorší teoretická předpověď v historii“. fyziky! [10] Tento problém se nazývá problém kosmologické konstanty a je to jedna z největších záhad ve vědě, kdy mnoho fyziků věří, že „**vakuum je klíčem k plnému pochopení přírody**“. **vakuum prosté baryonní hmoty, ale vakuum „plné zakřivených stavů 3+3D“**, které budou se **presentovat ve formě hmoty, protože „Principem existence a stavby hmoty je křivení dimenzí“ !!!** [11] Dějiny. Upravit Einstein zahrnul kosmologickou konstantu jako termín do svých rovnic pole pro obecnou relativitu, protože byl nespokojen s tím, že jinak jeho rovnice neumožňují statický vesmír: gravitace by způsobila smrštění vesmíru, který se původně nerozpínal. Aby Einstein tuto možnost vyvrátil, přidal kosmologickou konstantu. [3] Nicméně, brzy poté, co Einstein rozvinul svou statickou teorii, pozorování Edwina Hubbla naznačila, že vesmír se zdá být expandující; toto bylo v souladu s kosmologickým řešením původních obecných rovnic relativity, které našel matematik Friedmann, pracující na Einsteinových rovnicích obecné relativity. Einstein údajně označoval své neschopnost přijmout potvrzení svých rovnic – když teoreticky předpovídali expanzi vesmíru, než to bylo prokázáno při pozorování kosmologického rudého posuvu – jako svou „největší chybu“. [12] Ukázalo se, že přidání kosmologické konstanty do Einsteinových rovnic **nevede ke statickému vesmíru v rovnováze**, **protože rovnováha je nestabilní**: pokud se vesmír mírně rozpíná, pak expanze uvolňuje energii vakua, která způsobí ještě větší expanzi. Podobně vesmír, který se mírně smršťuje, se bude smršťovat i nadále. [13] Kosmologická konstanta však zůstala předmětem teoretického a empirického zájmu. Empiricky, **kosmologická data posledních desetiletí silně naznačují**, že náš vesmír má pozitivní kosmologickou konstantu. [5] **Vysvětlení této malé, ale pozitivní hodnoty je zbývající teoretickou výzvou, takzvaným problémem kosmologické konstanty**. **Vesmír se od BB rozbaluje (na velkoškálové úrovni)**. Některá raná zobecnění Einsteinovy gravitační teorie, známá jako klasické teorie sjednoceného pole, buď zavedla kosmologickou konstantu na teoretickém základě, nebo zjistila, že vznikla přirozeně z matematiky. Například Sir Arthur Stanley Eddington tvrdil, že verze kosmologické konstanty rovnice vakuového pole vyjadřuje „epistemologickou“ vlastnost, že vesmír je „samoměřicí“, a čistě afinní teorie Erwina Schrödingera využívající jednoduchý variační princip vytvořila rovnici pole s kosmologickým termínem. Kosmologická konstanta Λ se objevuje v rovnicích Einsteinova pole ve tvaru

JN, kom 20.07.2023