

<https://www.youtube.com/watch?v=CQ-4-MWa7Xw>

## Cosmology in Crisis? Confronting the Hubble Tension

Kosmologie v krizi? Konfrontace s Hubbleovým napětím.

180 723 zhlédnutí Premiéra: 12. 7. 2024 [#worldsciencefestival](#) [#briangreene](#)  
[#jameswebbspacetelescope](#) já otevřel 28.07.2024

How fast is the universe expanding? Two prominent approaches are finding different answers, propelling cosmology toward a crisis. Wendy Freedman, a renowned astronomer who has spent decades seeking the expansion rate, joins Brian Greene to discuss the latest thinking on this so-called Hubble Tension.

Jak rychle se vesmír rozpíná? Dva prominentní přístupy nacházejí různé odpovědi a pohánějí kosmologii směrem ke krizi. **Wendy Freedman**, [wfreedman@uchicago.edu](mailto:wfreedman@uchicago.edu) renomovaná astronomka, která strávila desetiletí hledáním rychlosti expanze, se připojuje k Brianovi Greenovi, aby diskutovali o nejnovějších úvahách o tomto takzvaném Hubbleově napětí.

<https://astro.uchicago.edu/people/faculty.php> ;

0:01

**(01)-** [Music] thank you thank you so much and welcome to this exploration of the biggest mysteries of the big bang you now we learned way back in 1929 that space is expanding and ever since we have been trying to understand the rate of cosmic expansion as this gives us insight into so many things into the age of the universe the future of the universe and perhaps even more importantly the rate gives us the capacity to refine our mathematical theories right to to test their capacity to describe the Cosmos on the largest of scales and for a while things were going really well right in recent times just about all of our observations they they were converging on the same rate of cosmic expansion and that rate was perfectly in line with our theoretical understanding so all was good but then what has happened yet more recently is that our observations have become so refined that a kind of mismatch has begun to surface between the expansion rate measured directly right by looking out in space to relatively nearby objects and in that way measuring the rate of expansion versus the expansion rate that we can get by measurements of the early universe and extrapolating those measurements to current times to figure out what the expansion rate should be according to that approach and the mismatch between these two approaches it's called the Hubble tension and some have actually imagined that this tension this slight mismatch might be the crack in modern cosmology that leads us to a completely different understanding of the origin and the history of our universe now the spoiler alert is many of us think that this tension will ultimately be resolved it will give us a deeper understanding of cosmology but likely not a revolution in our thinking about the origin of the universe and our guest Participant introductions for this conversation is someone who has spent a lot of time and a lot of energy and a lot of effort trying to figure out the expansion rate of the universe and trying to resolve this tension and so it gives me great pleasure to Welcome to our stage Wendy fredman who is the John and Marian Sven University professor in astronomy and astrophysics at the University of Chicago and a fellow of the Royal Society her research in observational cosmology and our current projects involve measurements of the Hubble constant thank you for being here thank you for having me so how long have you spent trying to figure out the expansion rate of the universe

well since I'm only 42 I guess I started when I was two so it's been a dominant issue in your professional life to figure out the expansion rate of space is that a fair assessment that's a fair assessment I began pretty much when the Hubble Space Telescope was launched or the years leading up to that and became actively involved in this field and then I gave it up for a little while turned to other things but it became interesting again when this tension surfaced right yeah and just as a as a quick spoiler alert for where we are going your thinking right now is that things will ultimately resolve and there's going to be a deeper understanding but not we're going to have to throw away past understanding I I don't see evidence at the moment for an overthrow of our standard Theory I think we don't know where this will ultimately resolve but I think the challenges are severe enough that we need much better data to ascertain at the one in a million chance that this is wrong and that and something to don't see that in the DAT at the moment so what I wanted to do is just to put this issue of the Hubble tension in context is take a step back and go through the history of attempts to The History of Cosmic Expansion measure the expansion rate over time and see how that number has changed from the earliest days right up to the present and then discuss where you think we're going to go say in the next few years so taking a step back of course it all ultimately comes from the work of Albert Einstein who gave us in his beautiful paper on the general theory of relativity well maybe we should just read through the paper together right now in German yes exactly that that would be challenge for me for sure but the basic idea how do you I mean I usually describe it you know using the traditional analogies of the trampoline or rubber surface I mean do you have a favorite way of thinking about what Einstein taught us Einstein taught us that uh space is curved and and the way I like to think about it is the the famous saying that matter is what tells space how to curve and space tells matter how to move so Einstein solved this problem that Newton had of action at a distance or that we needed a prime mover to keep planets in orbit about the Sun and and so Einstein really married those things in a way that changed our perception of of yeah we have this nice little visual I think really emphasizes what you were .....

**(01)-** [Hudba] děkuji mnohokrát děkuji a vítám vás u tohoto zkoumání největších záhad velkého třesku, teď jsme se v roce 1929 dozvěděli, že vesmír se rozšiřuje **rozbaluje** a od té doby se snažíme pochopit rychlost kosmická expanze, protože nám umožňuje nahlédnout do tolika věcí týkajících se věku vesmíru, budoucnosti vesmíru, a možná ještě důležitější je rychlost nám dává schopnost zdokonalovat naše **matematické teorie** a otestovat jejich schopnost popsat vesmír na největší z měřítek a na chvíli se věci dařily opravdu dobře, v poslední době se téměř všechna naše pozorování sblížovala stejnou rychlostí kosmické expanze a tato rychlost byla dokonale v souladu s naším teoretickým chápáním, takže vše bylo v pořádku, ale pak co se stalo ještě nedávno, je to, že naše pozorování se stala tak rafinovanou, že se začal objevovat určitý druh nesouladu mezi rychlostí expanze **01) měřenou přímo, přímo v prostoru na relativně blízké objekty** a tímto způsobem měřením rychlosti expanze versus rychlost expanze, kterou můžeme získat **02) měřením raného vesmíru** a extrapolací těchto měření na současnou dobu, abychom zjistili, **jaká by měla být rychlost expanze** podle tohoto přístupu a nesoulad mezi těmito dvěma přístupy se nazývá **Hubbleovo napětí** a někteří si to skutečně představovali toto napětí, tento nepatrný nesoulad může být trhlinou v moderní kosmologii, která nás vede ke zcela odlišnému chápání původu a historie našeho vesmíru, nyní je varování spoilerů mnoho z nás si myslí, že toto napětí bude nakonec znovu vyřešeno, dá nám to hlubší porozumění kosmologii, ale pravděpodobně nejde o **revoluci v našem uvažování o původu vesmíru** **fyzikové dodnes nečetli moje uvažování**

(zda nepozorností nebo záměrně???, nevím) a tak ho zopakují [http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/aa/aa\\_390.pdf](http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/aa/aa_390.pdf) a našemu hostu Účastníkem tohoto rozhovoru je někdo, kdo strávil spoustu času, spoustu energie a mnoho úsilí snahou zjistit rychlost rozpínání vesmíru a pokus o vyřešení tohoto napětí, a proto je mi velkým potěšením, že vás vítám na naší scéně **Wendy Fredman**, která je profesorkou astronomie a astrofyziky na Univerzitě Johna a Mariana Svena na Chicagské univerzitě a členkou Royal Společnosti její výzkum v pozorovací kosmologii a naše současné projekty zahrnují měření Hubbleovy konstanty děkuji, že jste tady, děkuji, že mě máte, takže jak dlouho jste se snažili dobře zjistit rychlost rozpínání vesmíru, protože je mi pouhých 42 let. Já myslím, že jsem začal, když mi byly dva roky, takže ve vašem profesním životě bylo dominantním problémem zjistit míru rozpínání vesmíru, že spravedlivé hodnocení, které je spravedlivé, jsem začal v podstatě, když byl vypuštěn Hubbleův vesmírný dalekohled nebo v předchozích letech, k tomu a začal jsem se aktivně angažovat v této oblasti a pak jsem to na chvíli vzdal a věnoval se jiným věcem, ale zase to začalo být zajímavé, když se toto napětí vynořilo, ano a jen jako rychlý spoiler upozornění na to, kam jdeme, vaše myšlení právě teď je, že se věci nakonec vyřeší a dojde k hlubšímu porozumění, ale ne, budeme muset zahodit minulé porozumění. Já v tuto chvíli nevidím důkazy pro svržení naší standardní teorie. Myslím, že nemáme. Nevím, kde se to nakonec vyřeší, ale myslím si, že problémy jsou natolik závažné, že potřebujeme mnohem lepší data, **potřebujete spíš novou ideu**, abychom se ujistili s pravděpodobností jedna ku miliónu, že to je špatně a tamto a něco, co v DAT v tuto chvíli nevidíme. Takže to, co jsem chtěl udělat, je jen dát tento problém Hubbleova napětí do kontextu, udělat krok zpět a projít historií pokusů o měření rychlosti expanze v průběhu času a zjistit, **jak se toto číslo změnilo od od prvních dnů až po současnost** a pak diskutujte o tom, kam si myslíte, že půjdeme v příštích několika letech, takže uděláme krok zpět, samozřejmě to všechno nakonec pochází z práce Alberta Einsteina, který nám dal ve svém krásném článku o obecné teorii relativity dobře, možná bychom si právě teď měli spolu přečíst noviny v němčině ano přesně to by pro mě byla výzva, ale základní myšlenka, jak to myslím, obvykle to popisují, znáte to pomocí tradičních analogií trampolíny nebo gumového povrchu mám na mysli, máš oblíbený způsob přemýšlení o tom, co nás naučil Einstein jak zakřivit a prostor říká hmotě, jak se pohybovat, takže Einstein vyřešil tento problém, který Newton působil na dálku, nebo že jsme potřebovali hlavní hybatel, který by udržoval planety na oběžné dráze kolem Slunce, a tak Einstein skutečně tyto věci svým způsobem snoubil. To změnilo naše vnímání toho, že ano, máme tento pěkný malý vizuál, myslím, že opravdu zdůrazňuje to, čím jsi byl

.....

**(02)-** just saying you know this idea that you know matter is doing just what you said it's curving the environment and then the curved environment is causing the planets to move in particular trajectory so it's a beautiful geometric way of thinking about the fabric of space now when we learn in 1915 theoretically at least that space and time can warp and curve in 1919 observationally confirmed through the famous Eclipse observations then others start to begin to think about applying this idea not say to the curvature around the Sun or the Earth but to the entirety of the cosmos and people have in mind are like fredon and lametra and it's always nice to kind of see these folks because you know they were the real pioneers of the subject and interesting my understanding is that Einstein resisted this idea of an expanding Universe well he actually he said your mathematics is correct but your physics is atrocious yeah he was very down on it yeah now if Einstein would have said that to me I think it would have crumbled but fredman and uh and lamro who actually was the direct recipient of that

particular comment this Jesuit priest who I guess approached Einstein at the 1927 solv conference with this calculation and got that reception from Einstein they stayed at it yeah and then of course it was observers right yeah well you have to remember that at the time we didn't have any evidence that the Universe was expanding right so what Einstein did originally in 1915 1917 was to force the universe to be static because we didn't know anything about the universe beyond the extent of the Milky Way galaxy yeah and that didn't come until later and so there was Alexander Friedmann working out solutions to Einstein's equations and saying well wait a minute they're expanding and compacting solutions and in fact the universe wouldn't be stable uh with this cosmological constant yeah and then the Metra 5 years later independently worked that out but he also used data that Edwin Hubble had published a few galaxies but actually was vested Data wasn't it it was both both he he did have a couple of of hubbles data points for the distances right and it was a big leap and he didn't plot the diagram right um which Hubble in 1929 then showed that there was this really uh very apparent yeah in fact I think we can even show a picture of the data so I think the the graph that you're referring to maybe the one where we see here this relationship between how far away a galaxy is and how fast it is moving but to get to that data there was one essential problem that Hubble needed to resolve which is how do you figure out how far away things are when you're looking in your telescope and this is an issue that we still face today we have more sophisticated tools but can you take us through the work you know I think it's nice to pull out the history here you know one individual in particular Henrietta Swan leit who Henrietta Swan Leavitt's Contributions to Cosmology doesn't really get a lot of air time when we when we talk about but vital contribution everything we do now in cosmology rests on her fundamental contribution can you just give us a feel for what that is yeah so at the turn of the last century we could map and astronomers have spent a lot of time mapping positions on the sky of of stars but you don't know the third dimension how far away is a star and so is the Star Bright because it happens to be nearby or is it faint because it's far away and there was just no way to know that and except for some very nearby stars and what henrieta levit did was she was studying stars in our nearby what we know is a Galaxy the large melenic cloud and its companion the small melenic cloud and she noticed that there were stars that were changing in brightness so most stars in our lifetimes if we look up at the sky they don't change they're they're boring they just they don't change and and what she noticed that is that over time scales of a couple days to maybe a hundred days yeah they were brightening and dimming in fact can we show I think we actually have a some of the data if we can bring that up so this is one photographic plate and then I guess she noticed that if you looked at the same region of the sky ey and if you overlay these and compare see in that upper right area when you go from one photograph to another there's one star that's bright and dark and bright and dark so that that's what she yeah so at the time the detector that astronomer used were these large photographic glass plates yes so they would take a series of these over many many nights and then she would compare the different nights and she could chart out how they were brightening and fading in brightness and what she noticed what she discovered was that there was a correlation very strong relationship between how bright the star was and how fast it was

.....

**(02)-** stačí říct, že znáte tuto myšlenku, že víte, že hmota hmotnost dělá přesně to, co jste řekli, že zakřivuje prostředí, a pak zakřivené prostředí způsobuje, že se planety pohybují po určité zakřivené trajektorii, takže je to krásný geometrický způsob uvažování o struktuře vesmíru nyní, když se v roce 1915 teoreticky dozvíme, že prostor a čas se mohou deformovat

a zakřivit. A pokud mohou, pak určitě nebude zakázáno (vysokou mocí) aby se 3D prostor zakřivil vícenásobně tj. sbalil se, balíčkoval se ...dtto čas, aby se 3D >Časor< zakřivil vícenásobně do balíčku = klubička. A pochopitelně se budou křivit = balíčkovat se do sebe všechny dimenze „napřeskáčku“. V roce 1919 to bylo pozorováním potvrzeno prostřednictvím slavných pozorování Eclipse, pak ostatní začnou uvažovat o aplikaci této myšlenky, neříkajíc o zakřivení kolem Slunce nebo Země, ale Celý vesmír a lidé, které mají na mysli, jsou jako Fredon a Lametra a je vždy příjemné vidět tyto lidi, protože víte, že to byli skuteční průkopníci tohoto tématu, a zajímavé je, že Einstein se této myšlence rozšiřování bránil.?? Vesmír dobře, ve skutečnosti řekl, že vaše matematika je správná, ale vaše fyzika je hrozná, ano, byl z toho velmi špatný, ano, kdyby mi to Einstein řekl, myslím, že by se to zhroutilo, ale Friedman a Uhl a Lamro, kteří byli ve skutečnosti přímým příjemcem tohoto konkrétního komentáře tento jezuitský kněz, který tuším oslovil Einsteina na solvské konferenci v roce 1927 s tímto výpočtem a dostal od Einsteina to přijetí, zůstali u toho, jo a pak to byli samozřejmě pozorovatelé, jo no, musíte si pamatovat, že v době, kdy jsme neměli žádné důkazy o tom, že se vesmír rozpíná správně, takže to, co Einstein původně udělal v roce 1915 1917, bylo přinutit vesmír, aby byl statický, protože jsme o vesmíru nevěděli nic, co by přesahovalo rozsah galaxie Mléčná dráha. Nepřišel až později, a tak tam byl Alexander Friedman, který vypracovával řešení Einsteinových rovnic a řekl, počkejte chvíli, rozpínají se a zhutňují řešení a ve skutečnosti by vesmír nebyl stabilní, uh s touto kosmologickou konstantou, jo a pak Metra o 5 let později to nezávisle vypracoval, ale použil také data, která Edwin Hubble publikoval o několika galaxiích, ale ve skutečnosti byl mnohem slier Data to nebylo, ale jednak měl pár Hubbleových datových bodů pro správné vzdálenosti a byl to velký skok a on nenakreslil diagram správně, což Hubble v roce 1929 pak ukázal, že to bylo opravdu uh velmi zřejmé, ano ve skutečnosti si myslím, že můžeme dokonce ukázat obrázek dat, takže si myslím, že graf, který možná máte na mysli ten, kde zde vidíme vztah mezi tím, jak daleko je galaxie a jak rychle se pohybuje, vztah získával Hubble pomocí rudých posuvů, (nemýlím se?) vztah je lineární (téměř lineární) do určité vzdálenosti směrem k Velkému Třesku, ale pak se začne linearita měnit, křivení dimenzí od dtáří 500 000 let od třesku, směrem ke třesku zesiluje, a to už nebylo ve schopnostech Hubbleho měření zjistit. [http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c\\_237.jpg](http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c_237.jpg) ; [http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c\\_232.jpg](http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c_232.jpg) ; soustava mšřeného objektu se pootáčí po „globální křivce“ rozbalování časoprostoru ale abychom se dostali k těmto datům, existoval jeden zásadní problém, který HST potřeboval vyřešit, a to je způsob, jak na to přijít jak daleko jsou věci, když se díváte dalekohledem, a to je problém, kterému čelíme i dnes, máme sofistikovanější nástroje, ale můžete nás provést prací, kterou znáte, myslím, že je hezké vytáhnout historii zde konkrétně jeden jedinec Henrietta Swan leit who Příspěvky Henrietty Swanové Leavittové do kosmologie ve skutečnosti nedostávají příliš mnoho vysílacího času, když o nich mluvíme, ale zásadní přínos vše, co nyní v kosmologii děláme, spočívá na jejím zásadním příspěvku, můžete nám dát pocit, co to je na přelomu minulého století jsme mohli mapovat a astronomové strávili spoustu času mapováním pozic na obloze hvězd, ale nevíte o třetí dimenzi, jak daleko je hvězda a jak daleko je hvězda Jasná, protože se to stane být poblíž nebo je to slabé, protože je to daleko a prostě se to nedalo nijak poznat a kromě několika velmi blízkých hvězd a toho, co Henrieta Levitová udělala, studovala hvězdy v naší blízkosti, o čem víme, že je to galaxie, velký melenický mrak a jeho společníkem je malý melénský mrak a ona si všimla, že existují hvězdy, které mění jas, takže většina hvězd v našem životě, když se podíváme na oblohu, nemění se, jsou nudné, prostě se nemění a ona si všimla, že v průběhu času od několika dní do možná sta dní, ano, zesvětlovaly a stmívaly ve



skutečnosti, můžeme ukázat, myslím, že ve skutečnosti máme některá data, pokud je dokážeme vyvolat, takže je to jedna fotografická deska a pak si myslím, že si všimla, že když se podíváte na stejnou oblast oblohy a když je překryjete a porovnáte, uvidíte v té pravé horní oblasti, když přecházíte z jedné fotografie na druhou, je tam jedna hvězda, která je jasná a tmavá a jasná a tmavá, takže to je to, co ona ano, takže v té době byly detektorem, který astronom používal, tyto velké fotografické skleněné desky, ano, takže jich vzaly řadu během mnoha nocí a pak porovnávala různé noci a mohla zmapovat jak se zjasňovaly a slábly v jasů a co si všimla, zjistila, že existuje velmi silný vztah mezi tím, jak jasná hvězda byla, a jak rychlá byla.

.....

**(03)-** changing in its Luminosity yeah so maybe you can take us Cepheid variable through this little visual of that so so so so these Stars these Cepheid variables they're super giant Stars they're maybe 10,000 times as bright as the sun and their outer atmospheres are actually moving in and out and in and out and so as the atmosphere is changing the the star is brightening as it's expanding and then uh the star turns around and then starts to fade again yeah and so the the mean brightness is what we now measure and that is correlated with the period of variation how long it takes to go through this cycle and is it so is it that the brighter the star is the longer that mean period between effectively it's just the larger Stars take longer to go through their oscillations and so the brighter the star the yeah the slower it's moving and so why is that vital to have that correlation so that provided the means then of assessing what this third dimension was so if we can measure how bright these stars are say nearby by some geometric technique so we know intrinsically how bright that star is then we can go to other systems the stars are obviously fainter the Luminosity falls off with distance as distance squared in fact and so if we can measure that change in brightness at a given period using her correlation then we automatically by the inverse Square law get the distance to that object and that just opened up a whole new field so now you no longer have to worry about trying to answer the direct question of is it bright because it's close or is it bright because maybe it's far away and it's super bright now you say just measure the the duration for it to go through that cycle and you know how far away it is and these what we call light curves are unique to stars this very sharp rise and brightness and a slow decline so once you've identified them you know you have a star you can measure this we now call it the period luminosity law um 100 years later and oh by the way there was a New York Times obituary for Henrietta lewit I think in March of this year so it's one of those obituaries the New York Times has recognized that there were women who did interesting things over the last hundred years but they didn't actually notice them at the time backst factu yeah an obituary I did not know that that's wonderful yeah wow and did they consult like with experts like you they did they did they oh that's fantastic that is great nice all right so this gives us a means of determining how far away things are but for Hubble's graph you also need a means of determining how fast they are moving what what Hubble discovered when he eventually realized there were stars in many of these nebulae that had been known for a couple hundred years before that that if he plotted the velocity of the Galaxy as a function of its distance from us there was a correlation in the sense that galaxies that were farther from us were moving faster so that's the velocity part the faster and that came from observations made by an astronomer named vesto slipher right and what and he didn't really credit slipher in that first paper no they're just there are the velocities I'll use them yeah and so but just take us through so the red shift idea just to sort of Go full How did Hubble calculate Expansion Rate? circle here how do you determine the speed I guess by the

degree to which certain spectral lines have been shifted to the red as that distant object is moving away the light that it emits gets stretched and that makes it more toward the red and the degree to what it shifted gives you insight into how fast it's moving away from you right so this eventually became the interpretation of Hubble's data y married with Einstein's general relativity that this would give rise to an expansion of the UN of the entire universe Y and so the the red shifts or the velocities come they're they're simple to measure unlike the distances so you you uh different elements have different spectral features at a given wavelength you you measure them in a laboratory and they always will be at that uh position so you can take a spectrum of your Galaxy compare the positions of the spectral line and this difference in the wavelength then gives you a measure of the Velocity so those can be very accurately measured and that's not the problem is you know that's sort of the easy ENT of trying to make these measurements it's not the velocities it's the distances that are hard and so this ultimately does result in in the paper that Hubble writes and we showed the graph from that paper a moment ago which is pretty much the moment when people take seriously this idea of the expansion of the universe verse now with that Hubble then has the capacity to make a prediction for the rate from the data that he's measured and what does he find for the rate of the expansion of space yeah so that that plot that shows velocity versus distance the slope of that relation which is what we now refer to in fact is the Hubble the Metra constant y or law is

.....

**(03)-** měnící se ve své svítivosti yeah, takže nás možná můžete provést tímto malým vizuálem toho, tak tak, tak tyto hvězdy tyto proměnné Sephia jsou super obří hvězdy, které jsou možná 10 000krát jasnější než slunce a jejich vnější atmosféry se ve skutečnosti pohybují dovnitř a ven a dovnitř a ven a tak jak se atmosféra mění, hvězda se zjasňuje, jak expanduje a pak se začátek otočí a pak začne zase slábnout, jo a tak je **střední jasnost co nyní měříme**, a to koreluje s periodou variace, jak dlouho trvá projít tímto cyklem, a je to tak, že čím jasnější je hvězda, tím delší je střední doba mezi efektivně, tím větší hvězdám trvá déle, než přejdou díky jejich oscilacím, a tak **čím jasnější je hvězda, tím ano, tím pomaleji se pohybuje**,

- a) relace „zářivost“ x „rychlost“ ;
- b) relace „jasnost“ x „vzdálenost“ ;
- c) relace „rudý posuv“ x „stáří“ ;
- d) relace „rudý posuv“ x „vzdálenost“ ...*rudý posuv* spektrálních čar je tím větší, čím větší je *vzdálenost* pozorovaného objektu od Země.

e) relace „vlnová délka“ x „rychlost“

Vztah, který Hubble publikoval, představuje kosmologický rudý posuv  $z$ . Ukázal, že je lineární funkcí jejich vzdálenosti  $r$

$$z = \frac{rH}{c}$$

kde  $H = 2,4 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1} = 65 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$  je Hubbleova konstanta s chybou 10 %. Ve vztahu můžeme nahradit součin  $cz$  rychlostí vzdalování galaxie a vztah přepsat

$$v = Hr$$

Hubbleova konstanta má význam převrácené hodnoty stáří vesmíru

$$H = \frac{1}{T} \Rightarrow T = 1,3 \cdot 10^{10} \text{ let}$$

Původně tuto konstantu označil Hubble písmenem *K*. Po Hubbleovi ji pojmenoval Richard Tolman a označil ji písmenem *H*.

Tento jev se vysvětluje pomocí Dopplerova principu, tj. že galaxie se od nás všemi směry vzdalují a to tím rychleji, čím jsou dále. Jde o projev všeobecné expanze předpovězené Alexandrem Fridmanem v roce 1925 a Georgem Lemaitrem v roce 1927 při řešení rovnic obecné teorie relativity pro celý vesmír

... a proč je tedy životně důležité mít tuto korelaci, aby to poskytlo prostředky k posouzení, jaká byla tato třetí dimenze, takže pokud můžeme změřit, jak jasné jsou tyto cefeidy? v blízkosti nějakou geometrickou technikou, takže vnitřně víme, jak jasná je ta hvězda, pak můžeme přejít do jiných systémů, hvězdy jsou samozřejmě slabší, **svítivost klesá se vzdáleností jako čtverec vzdálenosti** ve skutečnosti, takže pokud můžeme změřit tuto změnu jasů v daném období pomocí její korelace pak automaticky pomocí zákona inverzní čtverce získáme vzdálenost k tomuto objektu a to právě otevřelo zcela nové pole, takže se už nemusíte starat o odpověď na přímou otázku, zda je to jasné, protože je blízko nebo je to jasné, protože možná je to daleko a je to super jasné, teď říkáte, změřte dobu, po kterou to projde tím cyklem, a víte, jak je to daleko, a to, čemu říkáme světelné křivky, jsou jedinečné pro seidy, tento velmi prudký vzestup a jas a pomalý pokles, takže jakmile je identifikujete, víte, že máte sepid, **cefeidu** můžete to změřit, nyní tomu říkáme zákon levitů **Levinové** um o 100 let později a mimochodem, v New York Times byl nekrolog pro Henriettu Levitovou. Já myslím v březnu tohoto roku, takže je to jeden z těch nekrologů, které New York Times rozpoznaly, že byly ženy, které dělaly zajímavé věci za posledních sto let, ale ve skutečnosti si jich v té době nevšimly, ano ano nekrolog, který jsem si nevšiml vím, že to je úžasné, jo wow a poradili se jako s odborníky, jako jste vy, udělali to udělali oh, to je fantastické, to je skvělé, pěkné, takže **nám to umožňuje určit, jak daleko jsou věci**, ale pro Hubbleův graf potřebujete také prostředky k **určení, jak rychle se pohybují**, co objevil Hubble, když si nakonec uvědomil, že v mnoha těchto mlhovinách jsou seidy, o kterých bylo známo několik set let před tím, že kdyby **zakreslil rychlost Galaxie jako funkci její vzdálenosti** od nás existovala korelace v tom smyslu, že galaxie, které byly od nás vzdálenější, se pohybovaly rychleji, takže ta rychlostní část byla tím rychlejší a která pocházela z pozorování provedeného astronomem jménem **vestos slier slier** right a co a on ve skutečnosti nepřipsal slier v tom prvním článku ne, jsou tam jen rychlosti, které použiji, jo a tak, ale jen nás provedte, takže nápad s **červeným posunem** jen tak nějak Jet naplno Jak Hubble vypočítal rychlost rozpínání? Zde zakroužkujte, jak určíte rychlost, myslím, podle stupně, do kterého byly určité **spektrální čáry posunuty** do červené, když se vzdálený objekt vzdaluje, **světlo, které vyzařuje, se natahuje snad vlnová délka se natahuje, né?** a tím je více směrem k červené a stupeň to, co se posunulo, vám dává přehled o tom, jak rychle se od vás vzdaluje, takže se to nakonec stalo interpretací Hubbleových dat, která se snoubí s Einsteinovou obecnou teorií relativity, že to povede k expanzi OSN celého vesmíru  $Y$ , a tak červené posuny nebo rychlosti přicházejí, jsou jednoduše měřitelné na rozdíl od vzdáleností, takže vy, **různé prvky mají různé spektrální vlastnosti při dané vlnové délce, změříte je v laboratoři a vždy budou v této poloze**, takže může vzít spektrum vaší Galaxie porovnat polohy spektrální čáry a tento **rozdíl ve vlnové délce** vám pak dá míru **rychlosti**, takže je lze velmi přesně změřit, a to není problém, víte, že je to tak trochu snadné ENT of při pokusu o tato měření nejde o rychlosti, ale o vzdálenosti, které jsou těžké, a tak to nakonec vyústilo v papír, který píše Hubble, a před chvílí jsme ukázali graf z toho papíru, což je v podstatě okamžik, kdy to lidé berou vážně.



Představa o rozpínání vesmíru nyní s tím, že Hubble má schopnost předpovědět rychlost z dat, která naměřil, a co zjistí pro rychlost rozpínání vesmíru ano, takže ten graf ukazuje **rychlost versus vzdálenost**  $v = H \cdot d$  sklon tohoto vztahu, na který nyní odkazujeme

.....

**(04)-** uh what Hubble found was a value of 500 right and we now know that it's something like 70 so it's way high it was way high but can you just give us a sense we have the number up there so it's in these funny units kilometers per second per megaparsec just give us a sense of I mean usually we talk about speeds of sort of you know kilometers per second why kilometers per second per Mega Parsec yeah so you know it's a unit of velocity and it's a unit of distance he's plotting velocity versus distance and if you notice because there are two units of distance it's actually one over it's inverse time so it gives you a measure of the age of the universe right now we now know that we have to understand what the other components in the universe are how much mass is there how much energy and so on but it's a very good estimate one over the Hubble constant gives you a measure of the age of the universe and that immediately became problematic because it was the wrong age because it was the wrong Hubble constant and the wrong age it was too young it was about Earth would have been older than the universe something like that Hubble got two billion years and even from geological age dating at that time we knew it was at least three or four billion years old right so that was the first age problem right and so pretty quickly my understanding in the history of these ideas people began to realize what was wrong with the details of Hubble's interpretation and his measurements and the Hubble constant that speed of expansion began to immediately come down right it wasn't that immediate it was um really not until the 1950s when an astronomer by the name of Walter B who was working at the same Observatory where Hubble was yeah now know it as the Carnegie observatory in fact I spent most of my career there sure and he Walter B had discovered that there were two different populations of stars one was a young population and the other was an older population and it turned out that the kind of stars there were two kinds of stars belonging to each of these populations and the kind of stars that had been available to Hubble at the time were the wrong kind so when B came or he interpreted it the wrong way right he had no idea they were stars but they were they were doing the bright dark bright dark thing but they were not fitting into the pattern that this other category would right and B's realization led to a doubling of the distances or a halving of the Hubble constant I said then now we're down to 250 km per second per megaparsec that happened in the early 1950s so there was actually quite a block of time years or maybe even 30 years um and then what was the the next insight that brought us even closer the next insight was that some of the stars that Hubble had used so there weren't enough galaxies that he could measure stars in nearby they're hard to measure we can talk about that in a while and so he used what he thought were the brightest stars in these galaxies and he said okay if we compare the brightest stars in this galaxy they're probably similar to the brightest stars in another galaxy and that way he could again use the inverse Square law of light to get a distance but it turned out that those stars what he thought were stars were actually regions of ionized gas that we call H II regions and they just they were wrong so that brought the value down to maybe 75ish and then people started to argue about whether it was 50 or 100 and there were Decades of a debate is the Hubble constant 50 or 100 and that meant that we didn't know the age or the size of the universe to better than a factor of two so if the uh Hubble constant was 100 then the age was 10 billion years if it was 50 it was 20 billion years and I don't know about you but if someone said you're you know

100 or 50 it's kind of a difference it's you look different yeah so it it was very annoying for astronomers and so this then takes us up to the more modern story of really Modern Measurements of Expansion Rate trying to refine this and you mentioned that you began to really focus upon these ideas with did did you say with the launch of the Hubble Space leading up to Hubble Hubble was supposed to be launched in 1986 and then I started in about 1984 right and then there was the Challenger accident in H delayed till 199 that was 86 I guess yeah so that sort of changed things significantly so what then was your approach were you following in the tradition that we've outlined or was it very different I was very fortunate to come along at a time when the traditional detector astronomers had used these glass astronomical plates were superseded by electronic solid state devices charge couple devices that we now have in our handheld phones uh but they became available at astronomical

.....

**(04)-** hm, to, co Hubble našel, byla hodnota 500 a nyní víme, že je to něco jako 70, takže je to hodně vysoko, bylo to tak vysoké, ale můžete nám dát pocit, že máme číslo tam nahoře, takže je to legrační jednotky kilometrů za sekundu na megaparc jen nám dávají pocit. Myslím tím, že obvykle mluvíme o rychlostech, které znáte kilometry za sekundu, proč kilometry za sekundu za megaparc, jo, takže víte, že je to jednotka rychlosti a je to jednotka vzdálenosti vykresluje rychlost versus vzdálenost, a pokud si všimnete, protože existují dvě jednotky vzdálenosti, ve skutečnosti je to jedna za inverzní čas, takže vám to dává míru stáří vesmíru právě teď, teď víme, že musíme pochopit, jaké jsou ostatní složky v vesmíru je kolik hmoty je tam kolik energie a tak dále, ale je to velmi dobrý odhad, jeden přes Hubbleovu konstantu vám dává míru stáří vesmíru a to se okamžitě stalo problematickým, protože to byl špatný věk, protože to bylo špatný obsah Hubblea a nesprávný věk, bylo to příliš mladé, Země by byla starší než vesmír něco takového Hubble dostal dvě miliardy let a dokonce i z **text je tu hodně těžký, neslohový, nepedagogický, „hrubý pytel“ ... skoro nemám chuť vést opoziční názory...** geologického datování stáří v té době jsme věděli, že je to nejméně tři nebo čtyři miliardy let staré právo, takže to byl první problém s věkem, a tak docela rychle moje pochopení v historii těchto myšlenek si lidé začali uvědomovat, co bylo špatného na podrobnostech **Hubbleovy interpretace** a jeho měření a Hubbleovy konstanty, že rychlost expanze začala okamžitě přicházet vpravo dole to nebylo tak okamžité, bylo to um, opravdu až v 50. letech, kdy astronom jménem **Walter B**, který pracoval na stejné observatoři, kde byl hubba, ano, teď to znám jako Carnegieho observatoř, ve skutečnosti jsem strávil většinu času moje kariéra tam byla jistá a on Walter B objevil, že existují dvě různé populace hvězd, jedna byla mladá populace a druhá byla starší populace a ukázalo se, že druh seph tam byl dva druhy **cefeidů**, které patřily každé z nich Populace a druh seidů, které měl Hubble v té době k dispozici, byly špatného druhu, takže když přišel B nebo to interpretoval nesprávně, neměl tušení, že jsou seidy, ale byli to oni, dělali jasnou tmou, jasnou tmou věc, **výklad je málo srozumitelný ...** ale nezapadali do vzorce, který by tato jiná kategorie měla správně, a realizace B vedla ke zdvojnásobení vzdáleností nebo ke znemožnění hub con **??** Řekl jsem tehdy, teď jsme na 250 km za sekundu, což se stalo na začátku 50. let 20. století, takže tam byl vlastně docela blok časů let nebo možná dokonce 30 let um, a pak to, co bylo dalším vzhledem, který nás přivedl ještě blíže k dalšímu vzhledu, bylo to, že některé z hvězd, které Hubble použil, takže tam nebyly. **?? Nesrozumitelný výklad...** dost galaxií, aby mohl změřit seidy v okolí, je těžké je změřit, o tom můžeme mluvit za chvíli, a tak použil to, o čem si myslel, že jsou nejjasnější hvězdy v těchto galaxiích, a řekl dobře, když porovnáme nejjasnější hvězdy v tomto galaxie jsou pravděpodobně podobné nejjasnějším hvězdám v jiné galaxii, a tak mohl

znovu použít inverzní **čtvercový zákon světla** ?? k získání vzdálenosti, ale ukázalo se, že ty hvězdy, které považoval za hvězdy, byly ve skutečnosti oblasti ionizovaného plynu, které nazýváme H2 regs a oni se prostě špatně, ?? takže to snížilo hodnotu možná na 75 a pak se lidé začali dohadovat o tom, jestli to bylo 50 nebo 100 a **vedly se desítky let debaty**, zda je konstanta Hub 50 nebo 100 a to znamenalo, **kéž by se vedly také debaty nad mou HDV ...kéžby...** že jsme neznal věk nebo velikost vesmíru lépe než faktor dva, takže pokud Hubbleova konstanta byla 100, pak věk byl 10 miliard let, pokud to bylo 50, bylo to 20 miliard let a nevím o tom vy, ale pokud někdo řekl, že víte 100 nebo 50, je to trochu rozdíl, vypadáte jinak, ano, takže to bylo velmi nepříjemné pro astronomy, a tak nás to zavede k modernějšímu příběhu opravdu.. Moderní měření rychlosti rozpínání, která se to snaží vylepšit, a zmínil jste se, že jste se na tyto myšlenky začali skutečně zaměřovat, řekli jste, že vypuštění Hubbleova prostoru vedoucího k Hubbleovi HST mělo být vypuštěno v roce 1986, a pak jsem začal v roce asi v roce 1984 a pak došlo k nehodě Challengeru v H odložené do roku 199, to bylo 86, myslím, že ano, takže to nějak výrazně změnilo věci, takže jaký byl váš přístup, řídili jste se tradicí, kterou jsme nastínili, nebo to bylo velmi odlišné. Měl jsem velké štěstí, že jsem přišel v době, kdy tradiční detektorové astronomové používali tyto skleněné astronomické desky byly nahrazeny elektronickými polovodičovými zařízeními pro nabíjení páru zařízení, která nyní máme v našich kapesních telefonech, ale byly k dispozici na astronomických

.....

**(05)-** observatories and they had a huge advantage in that they were much more sensitive than the photographic plates they were linear and what I mean by that is photographic plates saturated when things were bright and then they were just wrong yeah and so you could actually whatever photons were coming to us from these Stars linearly correlated with the electronic signal that you measured from your detector and they were sensitive to Red wavelength LS and that turned out to be very important because the photographic plates were only sensitive at Blue wavelengths which just turns out to be unfortunately the place where there are dust particles that are generated in the atmospheres of stars they are between us in these seids and they scatter the blue light so it just turns out that the size of these dust grains is comparable to the wavelength of blue light so it gets scattered and absorbed and you get the wrong answer you're measuring the wrong it but the red wavelengths which are longer barely see the dust and so you can make a much more accurate measurement and correct for the presence of so that's what I did in the 1980s in anticipation of of Hubble and I guess this this work in particular is a culmination of a lot of those studies of yours can you just yeah it looks like hubbles in the general structure that's hubbles plot right it's velocity versus distance but this was what came to be known as the Hubble key project so before Hubble was flown this big debate which had been ra raging about the the size of the universe one of the and probably the main motivation for building Hubble was to resolve that debate it was like a flagship science project and in fact the size of the primary mirror from Hubble was set by the ability to detect seate variables in a nearby cluster to us it's called the Virgo cluster and it was felt if you couldn't go out as far as Virgo you would not solve this I see problem and so the head of the Space Telescope Science Institute at the time Ricardo geone put together a committee and said well what are the most important projects that Hubble can do Hubble were to fall in the ocean what would we not solve and he was afraid that if he left it up to astronomers because we'd been waiting decades for a space telescope that they would divide up the pieces into you know small little pieces and big projects wouldn't get done I see so he set aside time for these

key projects and this was the number one key project so we set out to measure several variables in a couple of dozen galaxies same method as Hubble had used and take us through then what we can learn from the actual graph can you bring that graph back up thank you so if we look at this again we're plotting velocity as a function of distance the galaxies that are moving faster are also farther away yeah but in fact if you look at the first tick mark in the upper graph so let's look at the upper part for the first bit Hubble's observations fit in the first tick mark that's it that's all as far as he could go yeah so we're now able to go much farther out in distance and we can use other methods the points in green are what we call type 1 a supernova and we can see them almost across the visible universe so we can measure this expansion rate much farther out and that has advantages we can talk about but we were able to use these charge coupled devices on Hubble to get to correct for this dust this problem that Hubble had and the answer that you're getting then roughly is 72 km per second per megaparsec so sort of a refining of the numbers from before but now I want to turn to another approach so this is making use of these particular kinds of stars whether Cepheids or 1 Supernova there's another approach based on something else the microwave background radiation which is the heat left over from The Big Bang I think many people are familiar with just in a quick nutshell how does one use that to Determine Expansion rate using Microwave Background Radiation measure the expansion rate yeah those observations are really spectacular so this is the glow The Remnant radiation from The Big Bang Yeah and it's now possible to measure tiny little differences in the temperature across the sky and I mean tiny they're like one 1,000th of a percent tiny fluctuation temperature and also now you can measure polarization and you can fit the spectrum of those fluctuations and so you measure temperature differences across the sky and you fit a model which is now what we call our standard model which has dark matter Dark Energy yep and four other parameters and then you can infer what the expansion rate would be today extrapolating these early Universe measurements a very predictive model to what

.....

**(05)**- observatoře a měly obrovskou výhodu v tom, že byly mnohem citlivější než fotografické desky byly lineární a co tím myslím, fotografické desky nasycené, když byly věci jasné a pak se prostě mýlily jo a tak jste mohli vlastně jakékoli fotony, které k nám přicházely z těchto hvězd, lineárně korelovaly s elektronickým signálem, který jste naměřili ze svého detektoru a byly citlivé na červenou vlnovou délku LS a to se ukázalo jako velmi důležité, protože fotografické desky byly citlivé pouze na modrých vlnových délkách, které právě se bohužel ukázalo být místem, kde jsou prachové částice, které vznikají v atmosférách hvězd, které jsou mezi námi v těchto seidech a rozptylují modré světlo, takže se prostě ukazuje, že velikost těchto prachových zrn je srovnatelná s vlnovou délkou modrého světla, takže se rozptýlí a pohltí a dostanete špatnou odpověď, měříte to špatně, ale červené vlnové délky, které jsou delší, sotva vidí prach, takže můžete provést mnohem přesnější měření a opravit přítomnost tzv. to je to, co jsem dělal v 80. letech 20. století v očekávání Hubblea a myslím, že tato práce konkrétně je vyvrcholením mnoha vašich studií, můžete, ano, vypadá to jako hubbleové v obecné struktuře, což je hubbleův graf správně, je to **rychlost versus vzdálenost**, ale to bylo to, co vešlo ve známost jako klíčový projekt Hubblea, takže předtím, než byl Hubble letět, tato velká debata, která zuřila o velikosti vesmíru, jednou **Z** a pravděpodobně hlavní motivací pro stavbu Hubblea bylo vyřešit tuto debatu bylo to jako vlnková loď vědeckého projektu a ve skutečnosti byla velikost primárního zrcadla z HST stanovena schopností detekovat proměnné sedadla v nedaleké kupě, která se nám říká kupa Virgo a bylo cítit, že nemůžete jít ven jako pokud jde o Pannu, ty bys to nevyřešil, vidím problém, **už přestávám rozumět** „o

čem tu je řeč“ a tak tehdejší šéf Space Telescope Science Institute, Ricardo Geon, sestavil výbor a řekl, jaké jsou nejdůležitější projekty, které může Hubble udělat. Hubbleův pád do oceánu co bychom nevyřešili a bál se, že kdyby to nechal na astronomech, protože jsme čekali desítky let na vesmírný dalekohled, že by rozdělili kousky na malé kousky a velké projekty by se neuskutečnily. I tak si vyhradil čas na tyto klíčové projekty a toto byl klíčový projekt číslo jedna, takže jsme se rozhodli měřit proměnlivé polohy v několika desítkách galaxií stejnou metodou, jakou použil Hubble, a provedli nás tím, co se můžeme naučit ze skutečného graf, můžete ten graf vrátit zpět, děkuji, takže když se na to podíváme znovu, vykreslujeme rychlost jako funkci vzdálenosti, galaxie, které se pohybují rychleji, jsou také dále, ano, ale ve skutečnosti, když se podíváte na první značka v horním grafu, takže se podívejme na horní část pro první bit. Hubbleova pozorování zapadají do první značky, to je vše, kam až mohl zajít, ano, takže jsme nyní schopni jít mnohem dál na vzdálenost a můžeme použít jiné metody, zelené body jsou tím, co nazýváme typ 1 supernovi a můžeme je vidět téměř ve viditelném vesmíru, takže můžeme měřit tuto rychlost expanze mnohem dále a to má výhody, o kterých můžeme mluvit, ale byli jsme byt schopni použít tato zařízení s nábojovým couváním na HST k nápravě tohoto problému, který měl HST, a odpověď, kterou dostáváte, je zhruba 72 km za sekundu za měření, takže jakési upřesnění čísel z dřívějších, ale teď Chci se obrátit na jiný přístup, takže toto je využití těchto konkrétních druhů hvězd, ať už sephius nebo 1 Supernova, existuje další přístup založený na něčem jiném, mikrovlnném záření pozadí, což je teplo, které zbylo z Velkého třesku, myslím, že mnoho lidí zná. Jen ve zkratce, jak se to dá použít k určení rychlosti expanze pomocí mikrovlnného záření na pozadí změřit rychlost expanze ano, tato pozorování jsou opravdu velkolepá, takže toto je zář, zbytkové záření z Velkého třesku. Jo a je nyní možné měřit nepatrně rozdíly v teplotě na obloze, a myslím tím nepatrné, jsou jako jedna 1000 procenta nepatrných flukтуаčních teplot a také nyní můžete měřit polarizaci a můžete přizpůsobit spektrum těchto fluktuací a tak měřit teplotní rozdíly na obloze a přizpůsobíte model, kterému nyní říkáme náš standardní model, který má temnou hmotu, temnou energii, ano a čtyři další parametry, a pak můžete odvodit, jaká by byla dnes rychlost expanze extrapolací těchto raných vesmírných měření velmi prediktivního modelu na to, co

.....

**(06)-** would happen and it's not extrapolating out into Infinity it's model predicts this with really high precision and it's a an Exquisite fit to this spectrum you look at it by eye and you think oh my goodness this is really spectacular and they get a value of 67.4 with a Precision of better than 1% right so smaller than the 72 or 73 that we get from right so we get this mismatch between those early Universe based measurements and the somewhat later measurements and has this been concerning you is this the kind you know in some sense you're measuring the expansion rate of space and it only differs by you know you know 5 10% that's pretty good right but not good enough no now I think it isn't good enough but it's also important to recognize it's pretty amazing we're using very different techniques right here are stars that are pulsating and stars that are exploding we're measuring them locally then we compare to you know early on in the universe and they agree that well so we never took a moment to say wow we're understanding something here that's pretty good agreement right but as you were saying in the introduction this measurement offers an opportunity to really test our current models of cosmology and if you can measure this accurately then you really learn about the evolution of the universe so last 10 minutes obviously what I'd like to explore is can we Can We Resolve Hubble Tension? resolve this tension sort of what your thinking is



and I know you like to emphasize a difference that doesn't always get sufficient emphasis which is precision versus accuracy so we have this little graphic which I think you gave us at some level can you just tell us what we should learn from what we're seeing here yeah if you look at the Target here you can hit the target and be very precise but you're going to miss the bullseye yeah and and so by Precision we mean we can make a measurement over and over and over and over right if I want to measure the size of the laptop or the tablet you're holding I can take a ruler and I can measure it maybe it's a little small once it's a little big but if I average over very many measurements I'll get very close to the right answer but if there's something that is systematic in the sense of for example the dust that I was just talking about will always make your Galaxy look farther away yeah make the Stars fainter and no matter how many times you make the measurement you're still going to have that problem bubble had that problem so it we've been told and people have referred to this current epic is the Epic of precision cosmology and what I like to say is I hope we're in an epic of accurate cosmology because they're very different and we need to we need to improve both now a key thing then is to not be influenced by the dust or at least not to have it bias your measurements in a way that will take you off the bullseye to the wrong spot and that is where a new machine that everyone is familiar with who follows these developments at all the James Webb Space Telescope so you know this little graphic here is showing the different wavelengths that the famous observational tools are sensitive to and so tell us why James Webb was chosen to be sensitive to the particular part of the electromagnetic spectrum that we've highlighted here yeah so Hubble which we've been using up until now of course is sensitive to Optical wavelengths which our eyes are sensitive to and a little bit sensitive to the infrared but James web is optimized now for the infrared so again this example of dust it's a perfect tool to get us you know much more accurate observation that are not sensitive to the dust and their other effects like chemical composition but it's resolution it's it's a larger mirror and the resolution goes inversely as the size of the Mir the bigger the telescope the better resolution you have so these beautiful comparisons between Hubble and James web really I think get to the heart of of what this machine can offer so this is like a stellar Nursery where new stars are being born and the left image is the optical and the right is the infrared and you can see many more stars even though there's a lot of dust there and if we go to seids so I gather this is a Hubble image this is a Hubble image of a seph do you see it yeah and then if we take a look at what James web does a lot better A lot better right and so as you have begun to make use of this more pristine James Webb Space Telescope's Impact on Expansion Rate data how has the value of the Hubble parameter begun to change or not yeah we're we're using three different techniques we applied to the James web telescope to not just use seids because each method will have its own kind of systematics but we use Stars called red giants and there are other stars carbon Stars so they're independent measures to the same galaxies right and what we're finding with this higher resolution data is that the Hubble constant is coming down and and .....

**(06)-** stalo by se to a není to extrapolováno do nekonečna, jeho model to předpovídá s opravdu vysokou přesností a je to vynikající zapadnutí do tohoto spektra, podíváte se na to očima a pomyslíte si, panebože, to je opravdu velkolepé a dostanou hodnota **67,4** s přesností lepší než 1 % vpravo, tak **menší než 72 nebo 73**, které dostáváme zprava, takže dostáváme tento nesoulad mezi těmi ranými měřeními založenými na vesmíru a poněkud pozdějšími měřeními a týkalo se to vás, je to tento druh víte v určitém smyslu, že měříte míru rozpínání prostoru a liší se pouze tím, že víte, víte 5 10 % to je docela dobré, ale ne dost dobré ne teď si

myslím, že to není dost dobré, ale je také důležité rozpoznat. Je úžasné, že používáme velmi odlišné techniky. Právě zde jsou hvězdy, které pulsují a hvězdy, které explodují, měříme je lokálně, pak je porovnáváme s tím, co znáte na počátku vesmíru, a oni souhlasí, že dobře, takže jsme nikdy nebrali ani chvíli říci wow, rozumíme zde něčemu, co je docela dobrá shoda, ale jak jste řekl v úvodu, toto měření nabízí příležitost skutečně **otestovat naše současné modely kosmologie**, proč tam v tom seznamu modelů nemáte model HDV ??? Proč neověřujete „Hubbleův zákon“, tu jeho linearitu, který jsem poopravil s odůvodněním, že jeho linearita je akceptovatelná jen do určité vzdálenosti od nás směrem k počátku (velkému třesku). Pak nastane (cca 500 tisíc let od třesku) očividné křivení dimenzí. Já to ukázal zde [http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c\\_239.jpg](http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c_239.jpg) ; [http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c\\_232.jpg](http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c_232.jpg) ; což vede k pootáčení soustav a vede ke zkrslení vzdáleností v ranném vesmíru, potažmo ke zkreslení stáří vesmíru... a pokud to dokážete změřit přesně, skutečně se dozvíte o vývoji vesmíru, takže posledních 10 minut bych samozřejmě rád prozkoumal, můžeme vyřešit Hubbleovo napětí? Vyřešte toto napětí tak, jak je vaše myšlení, a vím, že rádi zdůrazňujete rozdíl, kterému se ne vždy dostává dostatečného důrazu, což je přesnost versus přesnost, takže máme tuto malou grafiku, kterou jste nám, myslím, dali na určité úrovni, můžete to říct co bychom se měli naučit z toho, co zde vidíme, ano, pokud se podíváte na cíl zde, můžete zasáhnout cíl a být velmi přesní, ale minete terč, ano, a tak přesností myslíme, že dokážeme měření znovu a znovu a znovu a znovu správně, pokud chci změřit velikost notebooku nebo tabletu, který držíte, mohu si vzít pravítko a mohu to změřit, možná je to trochu malé, jakmile je to trochu velké, ale když průměr z velmi mnoha měření, dostanu se velmi blízko ke správné odpovědi, ale pokud existuje něco, co je systematické ve smyslu například prachu, o kterém jsem právě mluvil, vždy to způsobí, že se vaše Galaxie bude dívat dál, ano, hvězdy budou slabší a bez ohledu na to, kolikrát provedete měření, stále budete mít ten problém, bublina měla ten problém, takže nám bylo řečeno a lidé se odvolávali na tento aktuální epos je Epos přesné kosmologie a to, co rád říkám, je Doufám, že jsme v eposu přesné kosmologie, protože jsou velmi odlišné a my potřebujeme, abychom oba zlepšili. Klíčovou věcí pak je nenechat se ovlivnit prachem nebo alespoň nenechat ho zkreslovat vaše měření v způsob, který vás odvede z terče na špatné místo, a to je místo, kde se objevil nový stroj, který každý zná a sleduje tento vývoj na celém vesmírném dalekohledu Jamese Webba, takže víte, že tato malá grafika ukazuje různé vlnové délky, které slavné pozorovací nástroje jsou citlivé na, a tak nám řekněte, proč byl James Webb vybrán, aby byl citlivý na konkrétní část elektromagnetického spektra, kterou jsme zde zdůraznili, ano, takže Hubble, který jsme až dosud používali, je samozřejmě citlivý na optické vlnové délky, na které jsou naše oči citlivé a trochu citlivé na infračervené záření, ale James Web je nyní optimalizován pro infračervené záření, takže opět tento příklad prachu je dokonalým nástrojem, který nám umožní mnohem přesnější pozorování, které nejsou citlivé na prach a jejich další účinky, jako je chemické složení, ale je to rozlišení, je to větší zrcadlo a rozlišení jde nepřímo úměrně velikosti. Miru, čím větší dalekohled, tím lepší rozlišení máte, takže si myslím, že tato krásná srovnání mezi Hubbleovým a Jamesovým webem se skutečně dostanou k srdce toho, co tento stroj může nabídnout, takže je to jako hvězdná školka, kde se rodí nové hvězdy a levý snímek je optický a pravý je infračervený a můžete vidět mnohem více hvězd, i když je tam hodně prachu a pokud půjdeme na cefeidy, tak jsem pochopil, že tohle je obrázek z Hubblea, toto je obrázek seph z Hubblea, vidíte to, ano, a pak, když se podíváme na to, co James Web dělá mnohem lépe, mnohem lépe, správně a tak, jak máte začali využívat tato nedotčenější data o dopadu na rychlost rozpínání vesmírného dalekohledu Jamese Webba jak se hodnota parametru Hubblea začala měnit nebo ne ano, používáme tři

různé techniky, které jsme aplikovali na webový teleskop James stačí použít seidy, protože každá metoda bude mít svůj vlastní druh systematiky, ale my používáme hvězdy zvané rudi obři a existují další hvězdy uhlíkové hvězdy, takže jsou to nezávislá měření ke stejným galaxiím a to, co zjišťujeme pomocí těchto údajů s vyšším rozlišením je že **Hubbleova konstanta** klesá a a

.....

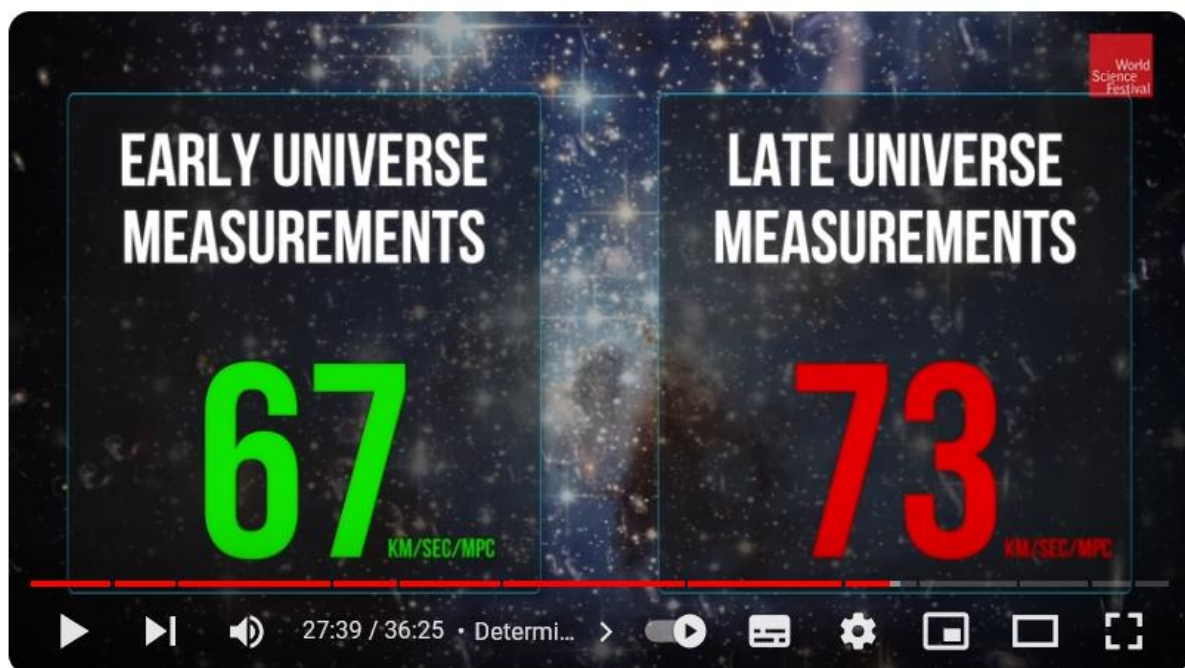
**(07)-** the different methods are agreeing remarkably well so this this plot here I guess begins to show that so just tell us what we're seeing here so we're seeing on the left the curve which is labeled plunk that's the European satellite that made measurements of these fluctuations in the temperature of the background radi that's the early Universe type measure early universe that gives about **67** Y and with a very high Precision so it has a very tall Peak compared to the others on the right is the measurements from the Hubble space t scope the blue curve there that's giving a value of **73** or so and then in the middle is what's coming now from James web from the three methods that I just mentioned and it's in pretty good agreement with the plank measurements. I.E the standard model of cosmology it still overlaps with the sepián measurements yep so I wouldn't say we're done yet but I think we're we may be at a turning point where we're seeing that things you don't need to change the standard model it's not a Sigma or one in a million CH chance that this would be wrong there's this beautiful graphic that again you're deeply familiar with that kind of summarizes in some sense the whole subject you know over the past I don't know since the year 2000 and so it's a wonderful in progress success story as these measurements are again converging to a value that the theory understands well and the different observations are converging upon so is The Future of Cosmology the message that standard cosmology is currently alive and well and we just have to keep pressing on to make these measurements ever better I I think that we have a model that is pretty spectacular in many ways there's this dark matter we don't yet know what it is there's dark energy that we fundamentally don't understand yet so I think we're all hoping that there will be something that will either break it or give us some insight into what is this model what is it but I am not so certain that it's the Hubble tension that's going to lead us in that direction is what I so is there part of you that's disappointed yeah I think it'd be fun to find you know evidence for Something Completely new and different yeah but I think the history of the subject again shows how difficult this is and we don't rule it out but I think the evidence you extraordinary claims require extraordinary evidence and we're not there and and so we certainly don't require it well it's a it's a wonderful episode you know going back to the pioneers of the subject at the turn of the 20th century and who knows maybe you'll still turn up that crazy anomaly that requires us to rethink things but so far it's all going swimmingly well so thank you so much for this conversation thanks a lot

.....

**(07)-** různé metody se pozoruhodně dobře shodují, takže tento graf zde, myslím, začíná ukazovat, takže nám řekněte, co zde vidíme, takže vlevo vidíme křivku, která je označena planc, což je evropský satelit která provedla měření těchto fluktuací teploty radiálního pozadí, což je měření typu raného vesmíru raný vesmír, který dává asi **67** Y a s velmi vysokou přesností, takže má velmi vysoký vrchol ve srovnání s ostatními napravo je měření z Hubbleův prostor t scope tam modrá křivka, která dává hodnotu **73** nebo tak, a pak uprostřed je to, co nyní přichází z Jamesova webu ze tří metod, které jsem právě zmínil, a je to v docela dobré shodě s měřeními prken, tj. se standardem model kosmologie se stále překrývá se

sépiovými měřeními ano, takže bych neřekl, že jsme ještě hotovi, ale myslím, že jsme, možná jsme v bodě obratu, kdy vidíme, že věci, které nepotřebujete měnit standardní model, není to Sigma nebo jedna z milionu CH, šance, že by to bylo špatně, je tu tato krásná grafika, se kterou jste opět hluboce obeznámeni, v určitém smyslu shrnuje celé téma, které znáte z minulosti, nevím od roku 2000 a tak je to úžasný příběh úspěchu, protože tato měření se opět přibližují k hodnotě, které teorie dobře rozumí a různá pozorování se sbližují, stejně jako The Future of Cosmology poselství, že standardní kosmologie je v současné době živá a dobře se jí daří. A my prostě musíme pokračovat, aby tato měření byla ještě lepší. **Myslím, že máme model, který je v mnoha ohledech docela velkolepý, je tu temná hmota, o které ještě nevíme, co to je, temná energie, kterou zásadně neznáme zatím rozumím, takže si myslím, že všichni doufáme, že se objeví něco, co to buď zlomí, nebo nám dá nějaký přehled o tom, co je to za model, co to je, ale nejsem si tak jistý, že je to Hubbleovo napětí, které nás dovede tento směr** je to, co já, tak je tu část vás, která je zklamaná ano, myslím, že by bylo zábavné najít, že znáte důkazy pro něco úplně nového a odlišného, ano, ale myslím, že historie tohoto tématu znovu ukazuje, jak je to těžké, a my nevíme. Nevylučuji to, ale myslím si, že důkazy, které tvrdíte, vyžadují mimořádné důkazy a my tam nejsme, a tak je rozhodně nevyžadujeme dobře, je to úžasná epizoda, víte, když se vrátíte k průkopníkům tohoto tématu, přelom 20. století a kdo ví, možná ještě objevíte tu šílenou anomálii, která vyžaduje, abychom si věci znovu promysleli, ale zatím to všechno jde dobře, takže vám mnohokrát děkuji za tento rozhovor, díky moc.

.....



## Cosmology in Crisis? Confronting the Hubble Tension

JN, kom 10.08.2024