



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Název projektu	Rozvoj vzdělávání na Slezské univerzitě v Opavě
Registrační číslo projektu	CZ.02.2.69/0.0./0.0/16_015/0002400

Astrofyzika plná extrémů

Průvodní list studijního materiálu

Tomáš Gráf a kolektiv

Opava 2020



**SLEZSKÁ
UNIVERZITA
V OPAVĚ**

Obsah

PŘEDMLUVA.....	3
1 ASTROFYZIKA PLNÁ EXTRÉMŮ	4
1.1 Scénář.....	5
2 PEDAGOGICKO DIDAKTICKÉ POZNÁMKY	17
POUŽITÁ LITERATURA	18
PŘEHLED DOSTUPNÝCH IKON.....	19

PŘEDMLUVA

Tento průvodní list byl vypracován k jednomu ze seriálu 10 vzdělávacích pořadů určených pro sférickou projekci, které vznikly v rámci projektu „Rozvoj vzdělávání na Slezské univerzitě v Opavě“.

Zabývají se vesměs astrofyzikálními tématy, jak je zřejmé i z názvů jednotlivých pořadů:

Binární systémy s neutronovou hvězdou, Binární systémy s černou dírou, Optické efekty v extrémních gravitačních polích, Akreční struktury v blízkosti černých děr a neutronových hvězd, Vyzářování v silné gravitaci, Život pod černými slunci – exoplanety u černých děr, Kosmické mikrovlnné pozadí, Rentgenové observační kosmické mise, Akreční disk u černých děr zblízka, Astrofyzika plná extrémů

Jednotlivé scénáře připravovali samostatně jejich tvůrci – Jan Hladík, Adam Hofer, Debora Lančová, Jan Novotný, Martin Petrásek, Jan Schee a Tomáš Gráf.

Na výrobě se však kromě autorů scénářů podíleli také další tvůrci z řad zaměstnanců i studentů univerzity: Jan Bartoš, Lucie Dospivová, Viky Kurečků, Adam Langer, Vojtěch Pazdera, Ondřej Smékal a Kateřina Šimečková.

Všichni tvůrci děkují Slezské univerzitě v Opavě za možnost podílet se na tomto projektu a já si dovoluji poděkovat všem kolegyním a kolegům za spolupráci, bylo mi ctí se s nimi při práci na projektu setkávat.

Tomáš Gráf

1 ASTROFYZIKA PLNÁ EXTRÉMŮ



TECHNICKÝ POPIS

Pro přehrání je potřebné mít k dispozici systém umožňující digitální sférickou projekci a software DIGISTAR.



PRŮVODCE STUDIEM – STUDIJNÍ PŘEDPOKLADY

Pro tento materiál nejsou vyžadovány žádné předchozí znalosti a žádné dovednosti.



RYCHLÝ NÁHLED STUDIJNÍHO MATERIÁLU

Svět kolem nás se řídí fyzikálními zákony, které se lidé již po staletí snaží formulovat stále přesněji a precizněji. Vydejme se společně až na samotné hranice platnosti fyzikálních zákonů! A při tom se můžeme také seznámit s extrémními hodnotami, kterých mohou fyzikální veličiny nabývat. První výprava nás zavede za extrémními teplotami. Po formální stránce se jedná o sférické video, tzv. fulldome pořad.



CÍLE STUDIJNÍHO MATERIÁLU

Student by měl získat konkrétní představu o těchto pojmech a problémech:

- Teplota
 - Extrémně nízké teploty
 - Fyzikální vlastnosti hvězd
 - Extrémně vysoké teploty
 - Existence spodní a horní hranice teploty
-

KLÍČOVÁ SLOVA STUDIJNÍHO MATERIÁLU



Teplota, termodynamická teplota, efektivní teplota

ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU



Stopáž studijního materiálu: 17 minut

Doporučený čas ke studiu: 1 hodina

DALŠÍ ZDROJE – DOPORUČENÁ LITERATURA



<https://courses.lumenlearning.com/physics/chapter/13-1-temperature/>

DALŠÍ ZDROJE – ROZŠIŘUJÍCÍ LITERATURA



KOLB, Ulrich. Extreme environment astrophysics, Cambridge: Cambridge University Press, 2010, ISBN 978-052-1193-443.

1.1 Scénář

Obraz 001	40 sec	//
Titulky, úvod		
	Svět kolem nás se řídí fyzikálními zákony, které se lidé již po staletí snaží formulovat stále přesněji a precizněji. A je odvěkou snahou každého vědce, aby našel přesnější popis reálného světa nebo alespoň objevil hranice, za kterými již doposud známé zákony přestávají platit.	The world we live in is governed by the laws of physics since the beginning of time. Humankind has tried to formulate its principles more accurately ever since. It's the age-long pursuit of every single scientist to find a better explanation of the world or at least to discover boundaries where these laws do not apply at all.

	<p>Vydejme se společně až na samotné hranice platnosti fyzikálních zákonů! A při tom se můžeme také seznámit s extrémními hodnotami, kterých mohou fyzikální veličiny nabývat.</p> <p>První výprava nás zavede za extrémními teplotami.</p>	<p>Let's all go together to observe the boundaries where the laws of physics actually do apply. You will be introduced in the course of our journey to extreme values any physical quantity could possibly acquire. The first expedition will lead us to extreme temperature, so buckle in!</p>
<p>Obraz 002</p> <p>Teplota</p>	<p>60 sec</p>	<p>//</p>
	<p>Jen málo fyzikálních veličin je tak často námětem hovoru jako teplota, snad možná ještě tlak. Ale to souvisí spíše s obecným významem těchto slov a s tím, že častým tématem každodenních rozhovorů mezi lidmi je počasí nebo zdraví. V běžné řeči si ale nikdo většinou ani neuvědomuje, že jsou to fyzikální veličiny a jejich vnímání je více méně intuitivní.</p> <p>Člověk žijící na jednom místě zemského povrchu vnímá změny teplot prostředí během dne a také v průběhu celého roku. Teplotní interval ani rychlosti změn teploty nejsou nijak velké. Větší rozdíly můžeme vnímat, pokud cestujeme po zeměkouli nebo máme možnost se dostat do podzemí, blíže zemskému jádru. Jenže proti extrémním teplotám a jejich změnám, které jsou možné ve vesmíru, je to úplně nic!</p> <p>Teplota je měřitelná fyzikální veličina a obvykle se ve vědě setkává s veličinami jako je tlak nebo hustota. K jejich objektivní kvantifikaci potřebujeme vždy nějaké mě-</p>	<p>There are only a few physical quantities so much talked about such as a temperature, beside the pressure itself maybe. It is mostly connected to the general use by people since their everyday conversations usually include a small mention either about their health and or weather.</p> <p>When making any common speech you will probably not realize that you talk about physical quantity at all. Its perception is more or less intuitive for everybody in a different way.</p> <p>Any person living at the same place on Earth is in tune with changes of its temperatures on a daily and yearly basis. The temperature's interval or the speed during which the temperature changes is not so big. We can notice bigger differences if we travel across the globe or if we get to the underground closer to the earth core itself. In comparison with extreme temperatures and their changes in space it really means nothing.</p> <p>The temperature is measurable as a physical quality. Generally, in science it does usually meet with quantities such as pressure or</p>

	řící přístroje s displeji nebo jinými ukazateli naměřených hodnot.	density. To get their objective quantification we always need some measure devices with display or any other different index with measurable value.
Obraz 003 Jak měříme teplotu	120 sec	//
	<p>Víme, že hodnota teploty vždy souvisí s hustotou energie a je vlastně jednou z jejich možných charakteristik. Při makroskopickém pohledu se jeví jako stavová veličina, což znamená, že pokud budeme do fyzikálního systému dodávat energii, například jej zahřívat, jeho stav se bude měřitelným způsobem měnit. Například tuhá látka se bude rozpínat, může se měnit skupenství látky nebo v případě plynu poroste tlak v prostředí.</p> <p>Takové procesy pak umožňují vytvoření teplotních stupnic a dovolují teplotu objektivně měřit. Například nejčastěji používaná škála, Celsiova stupnice, je zavedena bodem tání a varu vody, což jsou relativně stabilní stavy, kdy se teplota nemění.</p> <p>Obecnější je pak Kelvinova stupnice, tedy termodynamická teplota, která je veličinou figurující například ve stavové rovnici ideálního plynu. V této stupnici pak existuje „absolutní nula“, tedy 0 kelvinů, což odpovídá teplotě $-273,15^{\circ}\text{C}$. Můžeme si ji v prvním přiblížení představit jako nejnižší možnou teplotu, tedy teplotu, kdy se pohyb částic zcela zastaví.</p>	<p>We do know that the temperature's value is closely related with energy's density. It is actually one of their possible characteristics. From a macroscopic type of view, it seems as a state function. That means that if we deliver to physical quantity any energy in order to heat something, its state will be increasingly changing in a measurable way. For example, any solid mass can keep expanding - its state of matter could also change and if the subject happens to be a gas, the pressure in its environment will go up too.</p> <p>These processes enable us to construct temperature scales in order to objectively measure the temperature. The Celsius scale for example is one of the most used scales and is defined by the boiling and melting point. Both are relatively stable because the temperature during these points does not change at all.</p> <p>Up next is a more common Kelvin Scale, a thermodynamic temperature; This quantity is for example within the Classical ideal gas law and there also happens to be an “absolute zero” of Kelvin within this scale - 0 Kelvins equals to $273,15^{\circ}\text{C}$. In a closer look we can imagine it as the lowest possible temperature when</p>

	<p>Na teplotu se tedy můžeme také dívat jako na veličinu, která popisuje velikost rychlosti pohybu elementárních částic.</p>	<p>the particles' motion stops moving.</p> <p>Thus, we may view the temperature as a quantity describing the temperature's speed motion of elementary particles.</p>
<p>Obraz 004</p> <p>Různé teploty</p>	<p>60 sec</p>	<p>//</p>
	<p>Obecně platí, že pokud se dostanou do kontaktu předměty s různými teplotami, bude docházet k přenosu tepelné energie. Těleso s vyšší teplotou bude chladnout a naopak. V ideálním případě pak dojde k vyrovnání teplot.</p> <p>Těleso s vyšší teplotou bude chladnout a naopak. V ideálním případě pak dojde k vyrovnání teplot.</p> <p>Asi nás ihned napadne, že takovým procesem by postupně nastala situace, kdy by všude byla stejná teplota. Jenže pokud se rozhlédneme kolem sebe, tak ihned zjistíme, že ani tady na Zemi, ani jinde ve vesmíru se takové globální teplotní vyrovnání nekoná!</p> <p>Oblasti s různou teplotou jsou přitom v neustálém kontaktu, vždyť rozdílná teplota je charakteristická dokonce i jednotlivé složky hmoty, tedy elektrony, atomy nebo fotony.</p> <p>Ze Země vidíme Slunce, tedy hvězdu s povrchovou teplotou přibližně 5700 °C, ale vyšší teplotu máme i mnohem blíže, například ve středu Země, čili pouhých 6000 km daleko.</p>	<p>Generally speaking, if it gets in touch with an object whose temperature varies there will occur a transmission of thermal energy at once. The object with higher temperature gets colder and conversely. The ideal case would be if the temperature gets even in both objects.</p> <p>We immediately think that this process would gradually make the same temperature everywhere.</p> <p>However, when we look around us, we find that such global temperature equalization either on Earth or space is not happening anywhere and will not do so anytime soon.</p> <p>The areas with different temperatures are in a constant touch. The different temperatures are actually common even for components of matter - electrons, atoms and photons.</p> <p>From down here we can see the Sun with its surface temperature of 5 700°C. Though, we can find much higher temperatures closer than we thought so if we go to the center of Earth which is only</p>

	<p>Také výboje v zemské atmosféře, tedy blesky, mohou mít teplotu až 28 000°C.</p>	<p>about 6000 kilometers away.</p> <p>Additionally, the discharges or in simpler words thunderbolts in Earth's atmosphere can have the temperature up to 28 000 °C.</p>
<p>Obraz 005</p> <p>Chladné světy</p>	<p>300 sec</p>	<p>//</p>
	<p>Ve Sluneční soustavě jsou průměrné teploty jednotlivých těles determinovány především jejich vzdáleností od Slunce. Jestliže bychom se vydali na pomyslnou cestu do vzdálených oblastí na periferii naší planetární soustavy, tak bychom našli místa, kde jsou teploty tak nízké, že látky, které známe jako plyny, jsou při nich již v kapalném stavu.</p> <p>(v případě potřeby zde vložit přehled průměrných teplot postupně od Merkuru až po Pluto)</p> <p>Škála teplot vesmírného mrazíčního boxu vede od kapalného kyslíku (90 K) přes dusík (74 K), vodík (20 K) až po kapalné hélium (4 K).</p> <p>Skutečně až tak nízké teploty, které na Zemi dokážeme vyrobit pouze v laboratorních podmínkách, panují na mnoha místech ve vesmíru. Většinou je to ve skutečném mezihvězdném prostoru, velmi daleko od hvězd. Je ale zajímavé, že v mezegalaktickém prostoru se nacházejí rozsáhlé oblasti horkého a nepředstavitelně zředěného plazmatu.</p> <p>Jeho teplota, odvozená z pohybů částic v takovém řídkém prostředí,</p>	<p>The average temperature of individual ensembles on Solar systems is determined by their distance from the Sun. If we took off and went to the outer areas of our Solar system we may find out that in some areas the temperature is so low that fluids we know as gases are actually in a liquid state.</p> <p>///</p> <p>The temperatures of space's freezing box vary from liquid oxygen (90 K), nitrogen (74 K), hydrogen (20 K) and to liquid helium (4 K).</p> <p>We are able to simulate these low temperatures in human laboratories only. However, these temperatures can be actually found in space in many areas. It is typically in the interstellar space far away from any stars. One intriguing thing to point out is that in intergalactic spaces are areas of very hot and unimaginably diluted plasmas.</p> <p>Its temperature was deduced from the motion of particles in a very</p>

	<p>může dosahovat až několik milionů kelvinů. A kde se tam takový plyn vzal? Mimo jiné je jeho podstatná část zbytkem po explozích velmi hmotných supernov v raných fázích vývoje našeho vesmíru a představuje podstatnou složku baryonové hmoty našeho vesmíru.</p> <p>Trochu složitější je to v naší Galaxii. V mezihvězdném prostoru jsou zde také oblasti s plynem o mnoho řádů hustějším, a tedy i chladnějším. A tak zde existují v určité rovnováze oblasti koronálního plynu, rozsáhlá oblaka ionizovaného vodíku a také mnohem hustější gigantická molekulová mračna, která mají teplotu pouze několik kelvinů.</p>	<p>dense environment. It can reach up to a few millions of Kelvin. The question is: where did this gas come from? As a matter of fact, its main parts are left from the supernova's explosions when the stage was in its early development stages. It represents a very substantial part of the Baryonic dark matter in our space.</p> <p>It is a little bit more complicated when it comes to our Galaxy. In interstellar space are areas with gas which is way dense and thus colder. Because of that there are in equal balance areas of stellar gas, wide clouds of ionized hydrogen, and also quite dense and giant molecular clouds with temperature around a few Kelvins only.</p>
<p>Obraz 006</p> <p>Soutěž</p>	<p>120 sec</p>	<p>//</p>
	<p>A nyní nastal čas na malou tipovací soutěž. Jaká si myslíte, že může být nejnižší teplota v mezihvězdném prostředí naší Galaxie?</p> <p>a) 4 K b) 2,7 K c) 1 K</p> <p>Každá z nabízených hodnot má svou logiku. Nejpravděpodobněji se nám možná jeví hodnota 2,7 K, protože to je hodnota reliktního záření o teplotě 2,7 K a mohlo by se zdát, že více vesmír vychladnout ani nemůže.</p> <p>Je tedy teplota 2,7 K ten extrém?</p>	<p>And we finally get to the fun part - let's make a quick quiz together! Which temperature is the lowest in the interstellar environment of our galaxy according to you?</p> <p>a) 4 K b) 2,7 K c) 1 K</p> <p>Each available value has its own logical sense. The most likely answer would be 2,7 K because it is the value of relict radiation with a temperature of 2,7 K. This would be an indication that the space could not get any lower with its temperature then.</p> <p>Is the temperature of 2,7 K such an extreme then?</p>

	<p>Kdepak!</p> <p>Molekuly plynu a zejména prachová zrnka soustředěná ve vnitřních částech molekulových oblaků dokáží odstínit i reliktní záření. Absorbovanou energii navíc mechanismem „maseru“ dokáže vyžářit do jiných směrů. A tak ve výsledku tam může být teplota jen pouhý 1 kelvin!</p> <p>Takže odpověď c je správně!</p> <p>Jenže nic netrvá věčně, protože nízké teploty a vysoké hustoty mohou vyvolat gravitační kolaps a začnou tam vznikat nové hvězdy. A tak teploty raketově zamíří k opačným extrémům.</p> <p>Je ovšem skutečným paradoxem, že v pozemských laboratořích dokážeme vytvořit teplotu o mnoho řádů menší, pouhé stovky piko kelvinů.</p> <p>Takže nejchladnější místo ve vesmíru je u nás „doma“! V pozemských laboratořích.</p>	<p>Well, don't be mistaken!</p> <p>The gas's molecules and primarily all the dusty seeds in the internal layers of molecular clouds are able to shade even the relict radiation. It can also radiate the absorbed energy thanks to the “maser” in all different directions. So, in the end the temperature can be a mere 1 Kelvin.</p> <p>The correct answer is number c then!</p> <p>However, nothing lasts forever because the low and high density can cause the gravitational collapse and, in its place, can appear new stars instead. So, the temperatures are heading to the opposite extremes as you can see.</p> <p>It is quite a paradox that earthly laboratories are able to recreate the temperature way lower, even hundreds of picos Kelvins only.</p> <p>What does this conclusion suggest then? Well, in the end the coldest place in the whole space is on our Earth - in our human laboratories.</p>
<p>Obraz 007</p> <p>Horko</p>	<p>120 sec</p>	<p>//</p>
	<p>Nyní se vydáme na cestu opačným směrem, směrem k vysokým teplotám. Před chvílí jsme došli k překvapivému zjištění, že ohledně extrémně nízkých teplot není vesmír samotný natolik extrémní jako uměle vytvořené podmínky v našich laboratořích. Jak je na tom ale vesmírné prostředí v oblasti vyso-</p>	<p>Now we are going to head in the opposite direction to the high temperatures instead. A few moments ago, we found out that the space is not so extreme when it comes to the low temperatures unlike the capabilities of artificially constructed conditions in our laboratories. It makes us wonder about areas with hot temperatures in a space environ-</p>

	<p>kých teplot?</p> <p>Nejvyšší teploty na Zemi mohou dosahovat na některých místech až 50 °C, maximální teplota v elektrické troubě je asi 220 °C, při výrobě železa se dosahuje teploty až 1500 °C, vlákno obyčejné žárovky má 2200°C a elektrické výboje v plynech mohou mít i desetitisíce stupňů.</p> <p>To však ještě nic není! Například při výbuchu vodíkové pumy, tedy neřízené termojaderné fúzi, je na krátký časový okamžik dosažena teplota až 300 MK.</p> <p>Technologicky však zatím nedokážeme dlouhodobě udržet takovou teplotu, která by umožnila řízenou termojadernou reakci.</p> <p>Ale to, co nedokážeme v našich pozemských reaktorech, to po celou dobu existence vesmíru zvládají hvězdy „levou zadní“.</p>	<p>ment.</p> <p>The highest temperature on some Earth's locations can be up to 50 °C; The maximum temperature in the electrical oven is around 220 °C; during a manufacture of steel is the temperature up to 1500 °C; a standard thread on light bulb has got around 2200°C and electric shocks in gases can have up to tens of thousands Celsius.</p> <p>But that is still nothing! For example, during the hydrogen's bomb explosions, in other words unplanned thermonuclear fusion is in one short moment the temperature up to 300 MK. From a technology point of view, we are still yet to maintain such a temperature for a long period of time which would enable us to go ahead with the planned thermonuclear reaction.</p> <p>Everything we humans are unable to achieve in our human reactors does not stand a chance with stars and their capabilities ever since their beginning.</p>
<p>Obraz 008</p> <p>Hvězdy</p>	<p>240 sec</p>	<p>//</p>
	<p>Právě hvězdy jsou tvořeny především vysokoteplotním plazmatem o teplotě až několika milionů až několika set milionů kelvinů. Tyto přírodní reaktory dokáží spolehlivě fungovat i mnoho miliard roků. Nejvíce energie se uvolňuje při termojaderné fúzi vodíku, tedy nejhojnějšího prvku ve vesmíru, na helium.</p> <p>V každé hvězdě roste hodnota teploty směrem k jejímu jádru a tak</p>	<p>The stars are primarily made of high temperature plasma with temperature from a few millions to several hundreds of millions of Kelvins. These nature reactors are reliable to function even for a few billions of years. The most energy is released between the thermonuclear fusion from hydrogen (which is the most abundant element in space) to the helium.</p> <p>The individual star's temperature steadily increases the closer we get to its core, so the coldest parts</p>

	<p>nejchladnější částí hvězdy jsou její povrchové vrstvy. Například povrchová teplota našeho Slunce je asi 5800 K, ale povrchové teploty hmotnějších hvězd mohou být až o řád vyšší. V nitru Slunce je však teplota 10 MK!</p> <p>V centrálních částech hvězd se termojadernými reakcemi vyrábí většinou právě tolik energie, kolik hvězdy vyzáří do okolního prostoru. Prapůvodcem vysokých teplot však nejsou tyto reakce, ty jsou naopak jejich důsledkem. Tu vysokou teplotu v jádrech hvězd má na svědomí obyčejné gravitační smršťování a uvolňování potenciální energie při vzniku hvězd.</p> <p>Je to důsledek fyzikálních zákonů, které říkají, že při gravitačním kolapsu tělesa se pouze polovina uvolněné potenciální energie vyzáří a ta druhá polovina zůstane v kolabujícím prostředí a způsobí zvýšení jeho teploty.</p> <p>Celý proces se zastaví, až teplota dosáhne limitních hodnot potřebných pro jadernou fúzi. V další etapě pak již dále nijak výrazně teplota neroste, hvězda je ve stabilní části své existence, stává se hvězdou hlavní posloupnosti.</p>	<p>of stars are their surface layers. For example, the surface temperature of our Sun has got around 5800 K yet the surface temperatures of other substantial stars can be even bigger. For example, the Sun's core has got the temperature of 10 MK!</p> <p>Thermonuclear reactions in the central parts of stars cause a certain energy amount which stars radiate into their outer areas. These high temperatures are the mere outcome. The high temperature in the center of stars causes the gravitational shrinking and release of any potential energy when a new star is made.</p> <p>It is the outcome of physical laws which claims the following: when gravitational collapse occurs, any element can release the first half of the potential energy. The second half stays in a collapsing environment which thus increases its temperature.</p> <p>The whole process fully stops once the temperature reaches the limitation of value needed for the thermonuclear fusion. In the next phase the temperature does not rise anymore, the star is in the stable stage of its existence and begins to be the star of a main sequence.</p>
<p>Obraz 009</p> <p>Ještě vyšší teploty</p>	<p>180 sec</p>	<p>//</p>

	<p>Nás ale zajímá, zda někdy později přece jen nemohou být teploty v jádrech hvězd vyšší. To je možné jen u hvězd, které jsou dostatečně hmotné na to, aby v nich mohly probíhat i syntézy těžších prvků. A tak skutečnými rekordmankami se mohou stát extrémně hmotné hvězdy, které mají hmotnost až 80 Sluncí. Těsně před výbuchem supernovy může teplota jádra dosáhnout až 3 GK!!!</p> <p>Ovšem ani tohle zdaleka není teplota rekordní. Ze simulací nepružných srážek neutronových hvězd, tedy „zbytků“ po takovém vzplanutí supernov, vyplývá, že při takovém procesu může být dosaženo až teploty 350 GK. Je to jedno z možných vysvětlení původu velmi energetického gama záření.</p> <p>Už jsme tam?</p> <p>Nejsme. Stále ještě nejsme u skutečně nejvyšších teplot ve vesmíru. Ke slovu přicházejí opět pozemské laboratoře, tedy gigantické urychlovače. V nich dokážeme dosáhnout krátkodobě v lokalitě srážky urychlených částic teplot až desítky terakelvinů.</p> <p>To je přibližný přehled rozsahu teplot, které panují v současném vesmíru. Pokud bychom se podívali do minulosti, tedy časově do doby těsně po velkém třesku, tak tam musely panovat teploty o mnoho řádů vyšší.</p> <p>Jestliže termodynamická teplota má nejnižší hodnotu nula kelvinů, tak nás může napadnout otázka,</p>	<p>What we still keep asking ourselves is whether the temperature in the star's core cannot go any higher later on. That is possible only for the stars heavy enough so they could undergo a synthesis of heavier elements inside of them. The real record breakers could be extremely heavy stars with weights of 80 more of a Sun. Right before the supernova's explosions the core's temperature can reach up to 3 GK!!!</p> <p>Although this temperature does not represent the final record number though. Our simulations of inelastic precipitation of neutron stars, which are made of remains from the supernova's explosions, gave us information that the temperature during this process can reach up to 350 GK. It is one of the most possible answers where the energetic gamma radiation came from.</p> <p>So, did we reach our goal destination?</p> <p>Unfortunately for you, not yet. We are still yet to reach the highest temperatures in space. On the scene come once again the earthly laboratories, gigantic accelerators. We manage to achieve over tens of tera kelvins in an area of precipitation related to the increase of temperature of particles for a short period of time.</p> <p>This is a preliminary overview of the temperature range currently going on in space. If we go back in time right after the Big Bang happened there must have actually been temperature much warmer.</p>
--	---	--

	<p>zda neexistuje také její maximální možná hodnota. Někdy je za ni považována tzv. Planckova teplota, tedy teplota vesmíru v Planckově čase jeho existence. To je pouhopouhých 10–43 sekund po velkém třesku, když měl celý vesmír velikost asi 30 metrů.</p> <p>Její hodnota je přibližně 10^{32} K! To si snad ani nezkoušejme představit!</p> <p>----- hudební předěl -----</p> <p>Asi vás také napadlo, že v jisté nadsázce jsme tedy i my sami produktem těchto extrémních teplot.</p> <p>A že si tak ani nepřipadáte? No to je pochopitelné, samozřejmě. Málokdo si přesně pamatuje ty události před třinácti miliardami roků...</p>	<p>Because the thermodynamic temperature has got its lowest value of absolute zero Kelvins we can speculate if there does not exist any maximum value at all Sometimes a co-called Planck unit is considered as a space temperature in Planck's time and in its existence. That is a mere 10–43 seconds after the Big Bang occurred when the whole space has been only about 30 meters big.</p> <p>Its temperature is around 10^{32} K! No one here could even phantom how hot this is.</p> <p>//</p> <p>Maybe it occurred to you in some exaggeration that even we are products of these extreme temperatures.</p> <p>Do you not think so?! That is understandable of course. Only a few of us can remember the events thirteen billions of years ago...</p>
<p>Obraz 010</p> <p>Epilog</p>	<p>30 sec</p>	<p>//</p>
	<p>Žena: „Kolik je tady stupňů, zlatě?“</p> <p>Muž: „Na termostatu je 22. To přece stačí.“</p> <p>Žena: „Hmmmmm! Na termostatu možná. Ale mně je zima!“</p> <p>Muž: „Tak si obleč svetr!“</p> <p>Žena: „A proč bych jako měla doma chodit ještě ve svetrů? Nastav</p>	<p>Woman: “What kind of temperature is here, honey?”</p> <p>Man: “The thermostat says that it is around 22 degrees of Celsius that surely should be warm enough for you.”</p> <p>Woman: “Hmmm. Speak for yourself, Woman: “Hmmm. Speak for yourself, I am absolutely freezing!”</p> <p>Man: “Well, then put some sweater on, woman!!</p> <p>Woman: “And why should I wear</p>

	tam aspoň 23!“ Muž: „No jó, pořáád ...“ (cvakání termostatu)	a sweater when I am home? Set the temperature for at least 23 Celsius!“ Man: “Alright, your wish is my command....” (clicking of the thermostat has started in the background)
Obraz 011 Závěrečné titulky	40 sec	//
Konec		

2 PEDAGOGICKO DIDAKTICKÉ POZNÁMKY

PRŮVODCE STUDIEM



Obory: 053 Vědy o neživé přírodě, 0532 Vědy o Zemi, 0533 Fyzika (klasifikace podle CZ-ISCED-F 2013).

Studentům bude ve sférické projekci puštěno video s výkladem. Jedná se o interaktivní doplněk běžné výuky. Pedagog po zhlédnutí odkáže na doplňující literaturu a zodpoví na dotazy.

ÚKOL K ZAMYŠLENÍ



Barva hvězd závisí na jejich teplotě. Dohledejte v literatuře fyzikální zákony, které tuto závislost popisují. Vytvořte jednoduchou tabulku závislosti teploty hvězd na jejich spektrální klasifikaci.

SAMOSTATNÝ ÚKOL



Teplotu můžeme vyjadřovat v různých jednotkách. Nejlépe se však orientujeme, pokud je vyjádřena v jednotkách, které známe již od dětství. Vyzkoušejte si převod hodnoty běžné tělesné teploty (36,7 °C) na příslušnou hodnotu v Kelvinovy nebo Fahrenheitovy stupnice. Vytvořte v nějakém tabulkovém kalkulátoru převodník, můžete doplnit i méně známé stupnice viz https://en.wikipedia.org/wiki/Scale_of_temperature.

POUŽITÁ LITERATURA

ESO [online]. Dostupné z: <https://www.eso.org/public/>

NASA [online]. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/>

Wikipedia [online]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/>













Pixabay [online]. Dostupné z: <https://pixabay.com/cs/>

Youtube [online]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/>

Artlist [online]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/>

EVANS & SUTHERLAND, Digistar 6 [software]. 2016 [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <https://www.es.com>. Požadavky na systém: Win 10 Server, Fulldome projekce.

PŘEHLED DOSTUPNÝCH IKON

	Čas potřebný ke studiu		Cíle kapitoly
	Klíčová slova		Nezapomeňte na odpočinek
	Průvodce studiem		Průvodce textem
	Rychlý náhled		Shrnutí
	Tutoriály		Definice
	K zapamatování		Případová studie
	Řešená úloha		Věta
	Kontrolní otázka		Korespondenční úkol
	Odpovědi		Otázky
	Samostatný úkol		Další zdroje
	Pro zájemce		Úkol k zamyšlení

Název: **Astrofyzika plná extrémů**

Autor: **Tomáš Gráf a kolektiv**

Vydavatel: Slezská univerzita v Opavě

Určeno: studentům Slezské univerzity v Opavě

Počet stran: 20

Tato publikace neprošla jazykovou úpravou.