



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 |

Binární systémy s neutronovou hvězdou

Průvodní list studijního materiálu

Jan Novotný a kolektiv

Opava 2020



**SLEZSKÁ
UNIVERZITA
V OPAVĚ**

Obsah

| | |
|---|----|
| PŘEDMLUVA..... | 3 |
| 1 BINÁRNÍ SYSTÉMY S NEUTRONOVOU HVĚZDOU | 4 |
| 1.1 Scénář..... | 6 |
| 2 PEDAGOGICKO DIDAKTICKÉ POZNÁMKY | 19 |
| POUŽITÁ LITERATURA | 20 |
| PŘEHLED DOSTUPNÝCH IKON..... | 24 |

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 BINÁRNÍ SYSTÉMY S NEUTRONOVOU HVĚZDOU



TECHNICKÝ POPIS

Pro přehrání je třeba systém umožňující digitální sférickou projekci a software DIGSTAR.



PRŮVODCE STUDIEM – STUDIJNÍ PŘEDPOKLADY

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



RYCHLÝ NÁHLED STUDIJNÍHO MATERIÁLU

Materiál se zabývá popisem a vysvětlením problematiky binárních systémů v okolí neutronových hvězd, na tento materiál navazuje další projekce, která se zabývá binárními systémy v okolí černých děr. V obou případech se jedná o sférická videa.



CÍLE STUDIJNÍHO MATERIÁLU

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

- Binární systém.
- Kategorizace binárních systémů.
- Vizualní dvojhvězdy.
- Spektroskopické dvojhvězdy.
- Ekliptické dvojhvězdy.
- Astrometrické dvojhvězdy.
- Vývoj binárních hvězd.
- Binární systém s neutronovou hvězdou.

KLÍČOVÁ SLOVA STUDIJNÍHO MATERIÁLU



Binární systém, vizuální dvojhvězda, spektroskopická dvojhvězda, ekliptická dvojhvězda, astrometrická dvojhvězda, binární systém s neutronovou hvězdou.

ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU



Stopáž studijního materiálu: 16 minut

Doporučený čas ke studiu: 1 hodina

DALŠÍ ZDROJE – DOPORUČENÁ LITERATURA



LIPUNOV, Vladimir. In the world of Binary Stars. Revised from the 1986 Russian edition. Moscow: MIR, 1989. ISBN 5030005285.

DALŠÍ ZDROJE – ROZŠIŘUJÍCÍ LITERATURA



Popis binárních systémů a jejich vývoje s ohledem na akreční procesy – Kapitola 2, cca 30 stran: KOLB, Ulrich. Extreme environment astrophysics. Revised from the 1986 Russian edition. Cambridge: Cambridge University Press, c2010. ISBN 978-052-1193-443.

1.1 Scénář

| | | |
|--|--|---|
| <p>Obraz 001</p> <p>úvod</p> | <p>90 sec</p> | <p>//</p> |
| | <p><i>Ernest:</i> "Hmm, co se děje, co je to za rámus?"</p> <p><i>Aida:</i> "Erneste, vstávej! Blížíme se k cíli."</p> <p><i>Ernest:</i> "Cože?"</p> <p><i>Aida:</i> "Jsi na vesmírné lodi, pamatuješ?"</p> <p><i>Ernest:</i> "Matně."</p> <p><i>Aida:</i> "Pamatuješ si mě? Jsem Aida, Astronomická Informačně Dopravní Asistentka."</p> <p><i>Ernest:</i> "Cože jsi?"</p> <p><i>Aida:</i> "Jsem umělá inteligence zajišťující bezpečnou cestu vesmírem, a zároveň jsem dobrá společnice."</p> <p><i>Ernest:</i> "(s povzdechem) No když myslíš...hrozně mě bolí hlava."</p> <p><i>Aida:</i> "Brzy to přejde. Zkus se soustředit. Momentálně se nacházíme přibližně ve vzdálenosti 4,23 světelných let od Země."</p> <p><i>Ernest:</i> "A mohla bys mi prosím říct co tu děláme?"</p> <p><i>Aida:</i> "Jsme v nejbližším hvězdném systému k naší Sluneční soustavě, máme za úkol detekovat asteroidy křížící oběžnou dráhu Země a prozkoumat případné</p> | <p><i>Ernest:</i> "Hmm...what is happening, what is that sound about?"</p> <p><i>Aida:</i> "Ernest, wake up! We are approaching our final destination."</p> <p><i>Ernest:</i> "What on the earth are you talking about?"</p> <p><i>Aida:</i> "You are currently on a spaceship, Ernest. Don't you remember?"</p> <p><i>Ernest:</i> "Just barely."</p> <p><i>Aida:</i> "Well, do you recognize me at least? I am Aida, the Astronomical Informative Traffic Assistant."</p> <p><i>Ernest:</i> "What?"</p> <p><i>Aida:</i> "I am an artificial intelligence robot who secures a safe journey across the universe. Rest be assured that I am also a great company to have."</p> <p><i>Ernest:</i> (sighs tiredly) "Well, if you think so... I have got such a horrible headache though!"</p> <p><i>Aida:</i> "Don't worry, it will pass soon but try to concentrate more now. We are currently 4,23 light years away from Earth."</p> <p><i>Ernest:</i> "If you would be so kind and explain to me what are we</p> |

| | | |
|---|---|---|
| | <p>exoplanety v okolí červeného trpaslíka. Jsme v systému nazývaném Alfa Centauri, jenž se skládá ze tří hvězd. Dvou hvězd hlavní posloupnosti Alfa Centauri A a Alfa Centauri B. Tyto tvoří fyzikální binární systém. Třetí hvězdou je červený trpaslík Alfa Centauri C. Známy spíše jako Proxima. Už si vzpomínáš?"</p> <p><i>Ernest:</i> "Hmm, noo ... Raději mi to všechno připomeň..."</p> | <p>actually doing here?"</p> <p><i>Aida:</i> "We are at the nearest star system to our Solar System. Our aim is to detect asteroids crossing the orbit of Earth and to examine any exoplanets around the Red Dwarf itself. We are in a system called Alpha Centauri which consists of three stars. Two stars have got the main sequence to Alpha Centauri A and B. These make up the whole physical binary system. The third star is the Red Dwarf called Alpha Centauri C but you can probably know it under its more common name Proxima. Do you remember now? "</p> <p><i>Ernest:</i> "Hmm, well not really...would you mind refreshing my mind, please?!"</p> |
| <p>Obraz 002</p> <p>Binární systém -- vznik</p> | <p>150 sec</p> | <p>//</p> |
| | <p><i>Aida:</i> "Naše mise je součástí projektu Breakthrough Starshot, založeném v roce 2016 Milnerem, Hawkingem a Zuckerbergem."</p> <p><i>Ernest:</i> "Ten Facebookový muž už je namočený fakt ve všem... Takže říkáš, že je to systém tří hvězd. To je celkem neobvyklé ne? "</p> <p><i>Aida:</i>"Ve vesmíru ani ne. Až 85,00001 % hvězd se nachází v binárním systému a několik z nich v terciálním nebo vícehvězdném."</p> <p><i>Ernest:</i> "Zajímalo by mě, jak jsi přišla na tak přesné číslo?"</p> <p><i>Aida:</i> "Asi chyba v reprezentaci</p> | <p><i>Aida:</i> our mission is a part of a project officially named "Breakthrough Starshot" founded by Mr. Milner, Hawking and Zuckerber back in 2016."</p> <p><i>Ernest:</i> "That Facebook guy puts his hands on literally everything now...So, anyway, you are saying it's a system of three stars. That is quite unusual, is it not?"</p> <p><i>Aida:</i> "When it comes to space it actually is not. There are up to 85,00001 % stars in the binary system and a few of them are either in a terciál or more stellar system."</p> |

| | | |
|--|---|---|
| | <p>čísel...”</p> <p><i>Ernest:</i> “Na to jsem ještě málo vzhůru. Pokračuj...proč je těch binárních hvězd tolik?”</p> <p><i>Aida:</i> “Vysoké zastoupení binárních hvězd ve vesmíru je s největší pravděpodobností spojeno se způsobem, jak samotné hvězdy vznikají. Hvězdy vznikají v těch nejchladnějších a nejhustějších částech gigantických prachových a plyných mračen, kde na sebe jednotlivé molekuly působí gravitační silou, začnou se přitahovat a tvořit shluky. Ty dále přitahují hmotu, přičemž promícháváním molekul a jejich srážkami vzrůstá i jejich teplota. V momentě, kdy takový chuchvalec vytvoří kouli o velikosti zhruba naší Sluneční soustavy, označujeme ji z astronomického hlediska za protohvězdu neboli zárodek budoucí hvězdy. Navíc dochází k turbulentní fragmentaci, kdy se uvnitř mračen vytváří vlákna neformálních struktur, ta se mohou stát gravitačně nestabilními a tím dát vzniknout jednoduchým nebo vícehvězdným systémům. Ve vývoji vesmíru také často dochází k tomu, že je jedno z těles vícehvězdného systému odmrštěno a zbylá tělesa vytvoří binární systém.”</p> <p><i>Ernest:</i> “Nevím, jestli mě víc bolí hlava z vyprchající stáze, nebo z tebe... A Alfa Centauri je teda trojhvězdný systém?”</p> <p><i>Aida:</i> “Někteří tvrdí, že ano, jiní tvrdí, že je dvojhvězdný, a že Proxima je příliš daleko na to, aby</p> | <p><i>Ernest:</i> “How did you come up with that specific number?”</p> <p><i>Aida:</i> “Might be an error in our presentation of numbers...”</p> <p><i>Ernest:</i> “I am not awake enough to get deeper into this. Please continue: why are there so many binary stars?”</p> <p><i>Aida:</i> “A such high number is most likely related to the stars’ evolution itself. The whole process starts in the most freezing and thickest bits of enormous dusty & gas clouds. All the molecules in there are reacting to each other by gravity power until they come closer and unite in clusters. Not only it attracts the mass but the temperature increases due to the crossing of molecules and their precipitations. When it creates a ball big like our Solar system we call it protostar, a fetus of a future star. Also, turbulent fragmentation occurs and new unstructured fibers take place inside the clouds. Due to the gravitation they might be unstable and become either simple or more stellar systems. There is a regular occurrence when one of the more stellar ensembles is ejected and the left ensembles become a new binary system.”</p> <p><i>Ernest:</i> “I am yet to decide if my headache has more to do with the disappearing stasis or you...So, Alpha Centauri is a triple star system in the end?”</p> <p><i>Aida:</i> “Some scientists do agree</p> |
|--|---|---|

| | | |
|---|---|---|
| | <p>byla gravitačně vázána na Alfa Centauri A a B. A ještě jiní říkají, že může jít také o vícehvězdný systém.”</p> | <p>and some oppose that it is double stellar instead since Proxima is apparently too far away to be connected by gravitation to Alpha Centauri A and B. There is another group of people who claim it is a mortstellar system.”</p> |
| <p>Obraz 003</p> <p>Binární hvězdy -- pojem</p> | <p>90 sec</p> | <p>//</p> |
| | <p><i>Ernest:</i> "Ty mi nemůžeš dát ani jednu jasnou odpověď, že ne. Ale jestli jsem to dobře pochopil, tak se jedná hlavně o to, aby na sebe tělesa ve vícehvězdném systému působila gravitační silou."</p> <p><i>Aida:</i> “Výborně, už se začínáš probírat, ale zklamou tě. Pokud bychom definovali vícehvězdný systém pouze podle gravitačního působení, museli bychom označit jakékoliv dvě hvězdy ve vesmíru za binární systém. Protože gravitace je univerzální interakce dalekého (nekonečného) dosahu. Navíc potřebujeme odlišit dvojhvězdy optické od těch fyzických. Optické dvojhvězdy se sice z pohledu pozorovatele mohou jevit jako binární systém pro malou úhlovou vzdálenost jeho složek, ale ve skutečnosti jsou velmi daleko od sebe. Skutečná dvojhvězda je tedy fyzická dvojhvězda, kde obě hvězdy obíhají kolem společného těžiště."</p> <p><i>Ernest:</i> "Můžeš mi to nakreslit?"</p> <p><i>Aida:</i> "Představ si vesmír, kde by</p> | <p><i>Ernest:</i> Looks like you simply cannot give me a clear answer, is it not? So, to sum it up and correct me if I am wrong: the main objective is for ensembles in multstellar system to be influenced by gravity power.”</p> <p><i>Aida:</i> Excellent, you are slowly waking up but I must disappoint you though. Should we define multstellar system based on its gravity, it would force us to define any two stars as binary systems in the universe. A gravity power stands for universal interaction with its long and endless reach. Additionally, we need to address the difference between optical and physical binary stars. A regular viewer might think that optical binary stars behave like binary systems due to their short angle reach of its parts but that is the exact opposite – both are very far from each other. A real binary star is a physical binary star and both orbits around the conjoint center of gravity.”</p> |

| | | |
|---|--|--|
| | <p>existovaly dva body reprezentující hvězdy o hmotnosti M_1 a M_2. Spojme tyto dva body pomyslnou čarou a na ní najdeme bod O, kde se součin jejich hmotnosti a vzdálenosti od bodu O vzájemně rovnají. Právě kolem tohoto těžiště, v astronomii označovaného jako barycentrum, dvojhvězdy či vícehvězdné systémy obíhají a jejich oběžné dráhy lze v prvním přiblížení popsat Keplerovými zákony."</p> | <p><i>Ernest</i>: "Could you please draw it for me?"</p> <p><i>Aida</i>: "Just imagine a universe with two stars of M_1 a M_2 weight each. Let's connect these two spots with an imaginary line and we find O point on it where their weight and distance equal for both of them. Right around this center of gravity, generally called barycentrum, are orbiting all binary stars and mulstar systems. We can observe their orbits already in their first approach thanks to the Kepler's law."</p> |
| <p>Obraz 004</p> <p>Binární systém -- kategorie</p> | <p>120 sec</p> | <p>//</p> |
| | <p><i>Ernest</i>: "Jo, Keplerovy zákony...to už jsem někde slyšel. Dobře Aido, takže když se něco jeví jako dvojhvězda a fyzická soustava to ještě být nemusí, tak jak je od sebe jako pozorovatel rozeznáš?"</p> <p><i>Aida</i>: "Optickou dvojhvězdu lze odhalit měřením radiální rychlosti, nebo úhlového pohybu na obloze. Také je možné zjistit rozdíl vzdálenosti složek změřením jejich roční paralaxy. Pravdou ovšem je, že mnoho známých dvojhvězd ještě nebylo prostudováno natolik, abychom mohli rozhodnout, které z nich opravdu tvoří gravitačně vázaný systém."</p> <p><i>Ernest</i>: "A tedy u Alfa Centauri A a B jsme si jistí, že se jedná o binární systém?"</p> | <p><i>Ernest</i>: "Ah, Kepler's law...that is something I have heard before. So, if something behaves like a binary star and it does not have to be a physical system, how is a regular viewer supposed to differentiate them?"</p> <p><i>Aida</i>: "We can reveal an optical binary star by measuring its radial speed or its angle movement on the sky. To find out the different distance of ensembles, we have to measure their yearly parallax. To tell the truth, we have not yet studied many famous binary stars to the point we can speculate which of them are a part of a gravitational united system."</p> <p><i>Ernest</i>: "And we are sure this is the case for Alpha Centrauri A</p> |

| | | |
|--|--|--|
| | <p><i>Aida:</i> "Ano. Systém Alfa Centauri pozorujeme již dlouho, první záznamy se objevují již ve 2. století v Ptolemaiově hvězdném katalogu Almagest. Přesto byla jeho binární povaha objevena až Jean Richaudem roku 1689 když pozoroval přelet komety. Tak se stala teprve druhou objevenou binární soustavou po dvojhvězdě Acrux, která je nejjasnější hvězdou Jižního kříže. Ovšem až roku 1915 objevil Robert T. A. Innes třetí složku, tedy Proximu, a to na základě měření vlastního pohybu a naznačil její gravitační provázanost s vizuální dvojhvězdou Alfa Centauri A a B."</p> <p><i>Ernest:</i> "No počkej, počkej, co tím myslíš vizuální dvojhvězda? Mluvili jsme zatím jen o optické dvojhvězdě a fyzické dvojhvězdě, kde jsme vzali dvojhvězdu vizuální?"</p> <p><i>Aida:</i> "Ach ano, jistě. To souvisí s tím, jak binární hvězdy kategorizujeme. Jednak podle metod jejich pozorování a pak také na základě jejich drah. Mezi metody pozorování patří pozorování dalekohledem. Binární hvězdy, které od sebe můžeme takto odlišit, jako dva objekty, označujeme jako dvojhvězdy vizuální. Mezi další typy patří spektroskopické, astrometrické a zákrytové proměnné hvězdy."</p> | <p>and B then?"</p> <p><i>Aida:</i> "Yes, we are certain. We have been observing Alpha Centauri for a very long time. The first mention has been noted in Ptolemaic's star catalog in the 2nd of Century already. Despite that, its binary characteristics were confirmed later by Jean Richaud back in 1689 upon his observation of comet flight. It became the 2nd discovered binary system after binary star Acrux – the brightest star of the South Cross area. The other monument discovery happened by Mr. Robert T. A in 1915 when he found a third part Proxima based on the observation of its own movement. He also indicated a gravitational interconnectedness with visual binary star Alpha Centauri A and B."</p> <p><i>Ernest:</i> "Wait a moment! What do you mean by the visual binary star? After optical and physical binary stars this came out of nowhere."</p> <p><i>Aida:</i> "I certainly understand your confusion. This closely relates to the categorisation of binary stars. We divided them by the method of their observation and trajectories. One of the observation methods includes the use of telescopes for examples. With this method we can determine binary stars as two subjects and refer to them as visual binary stars. Other types are spectroscopic, astrometric and eclipsing variable stars."</p> |
|--|--|--|

| | | |
|--|---|--|
| | | |
| <p>Obraz 005</p> <p>Ukázky kategorií dvojhvězd -- vizuální</p> | <p>90 sec</p> | <p>//</p> |
| | <p><i>Aida pokračuje:</i> "Vizuální dvojhvězdy jsou takové systémy, u kterých lze jednotlivé složky přímo rozlišit dalekohledem či binokulárem. Právě proto se také jedná o první zjištěné dvojhvězdy. Například již Galileo Galilei v roce 1617 namířil svůj dalekohled na Velký vůz a zjistil, že hvězda Mizar je dvojhvězda. Ovšem samotný pojem "dvojhvězda" byl zaveden až Sirem Williamem Herschelem kolem roku 1802. Ten také sestavil katalog zahrnující přibližně 700 hvězdných párů. Dnes se tvrdí, že kolem 5 % viditelných hvězd jsou právě vizuální dvojhvězdy. Obvykle označujeme její nejjasnější komponentu příponou A, a její druhou komponentu příponou B. Dlouhodobé pozorování jejich polohy pak můžeme vynést do grafu, kde hvězda o menší hmotnosti obíhá po elipse hvězdu s větší hmotností. Hvězda o větší hmotnosti je v ohnisku, tzv. relativní dráhy. Pro výpočet celkové hmotnosti soustavy je možné využít 3. Keplerova zákona a na základě vztahu: $m_1 + m_2 = \frac{a^3}{T^2}$, kde m_1 a m_2 jsou hmotnosti daných složek, a je velká poloosa relativní dráhy a T je oběžná doba."</p> | <p><i>Aida continues:</i> All individual assemblies of visual binary stars enable us to distinguish them with help of either telescope or binoculars. It is also a reason why these binary stars were first we discovered. When Mr. Galileo Galilei in 1617 observed Big Dipper using his telescope, he found out that the Mizar star is a binary star. However, the term binary star was first introduced by Mr. William Herschel himself around 1802. Not only that but he also compiled a catalog with around 700 star couples. Nowadays, there is a public opinion that 5% of all visible stars are actually all binary stars. Its brightest first component is accompanied by suffix A and the second by suffix B. Our long term observation of their trajectories can be implemented into the chart where light star orbits along the heavier star. The heavier star is in center - namely in relative trajectory. In order to calculate the weight of the system we use in practice the Kepler law. Based on their connection we use this formula $m_1 + m_2 = \frac{a^3}{T^2}$. Formulas m_1 and m_2 represent weight of all individual assemblies, a is a big Half-axis of relative trajectory while T stands for a running time."</p> |

| | | |
|---|--|---|
| <p>Obraz 006</p> <p>Ukázky kategorií dvojhvězd -- spektroskopické</p> | <p>60 sec</p> | <p>//</p> |
| | <p><i>Aida stále pokračuje:</i> "Když už jsem zmínila Mizar, tak právě on byl v roce 1889 Antonií Mauriovou označen za spektroskopický binární systém. Těsnost oběhu takového systému je natolik velká a jasnost složek natolik podobná, že není tento systém možné rozlišit ani okem, ani dalekohledem. Nicméně pozorujeme-li kombinované spektrum případné dvojhvězdy a vidíme posuv spektrálních čar způsobený Dopplerovým jevem, můžeme dvojhvězdu klasifikovat jako spektroskopickou. U hvězdy, která se pohybuje směrem od nás, dojde k červenému posuvu, a u hvězdy pohybující se k nám, k modrému posuvu. Na základě posuvu spektrálních čar vzhledem k času jsme pak schopni určit radiální rychlost druhé složky. Pomocí této metody je objeven největší počet dvojhvězd."</p> | <p><i>Aida continues on:</i> Returning back to my mention of Mizar, it was proclaimed to be a spectroscopic binary system by Mrs. Antonia Mauri in 1889. The tight closeness of this system and similar brightness of all parts does not allow as at all to distinguish them by either eyes or telescope. Although, if we observe a combined spectrum of possible binary stars and there is a movement of spectral lines caused by Doppler phenomenon, we can classify that particular binary star as spectroscopical. If the star moves from us its movement is red and when it comes to us its movement is blue. Based on the movement of the spectre lines in relation to the time itself we are able to determine radial speed of the second constituent part."</p> |
| <p>Obraz 007</p> <p>Ukázky kategorií dvojhvězd -- ekliptické</p> | <p>60 sec</p> | <p>//</p> |
| | <p><i>Aida:</i> "Další kategorií dvojhvězd jsou zákrytové proměnné hvězdy. Jedná se o systémy, kde dochází k periodickým změnám jasnosti v důsledku zákrytů složek vůči pozorovateli na Zemi. Tak se projevují pouze takové dvojhvězdy, jejichž rovina oběhu je rovnoběžná</p> | <p><i>Aida:</i> One of the other binary star categories are eclipsing variable stars. These systems are undergoing periodic changes of brightness due to the eclipsing of elements to any viewer on Earth. It is related only to binary stars whose surface of trajectory is</p> |

| | | |
|---|---|---|
| | <p>nebo téměř rovnoběžná se směrem k pozorovateli. Zákrytové dvojhvězdy mají charakteristický vzhled světelné křivky, tedy závislosti jasnosti na čase. Jsou na ní viditelné jednotlivé zákryty a je tak možné odhalit binární podstatu soustavy. Do současnosti bylo objeveno již několik set tisíc takových soustav, první a nejznámější z nich je zákrytová dvojhvězda Algol v souhvězdí Persea."</p> | <p>either fully parallel or almost parallel in the direction of the viewer. Eclipsing binary stars have got a particular image of their light bends, meaning its light fully depends what time it is. We can see ourselves in each eclipse since it is visible to us and it is also why we can reveal the essence of the binary star system. Until now we there are discoveries of several hundred of thousands similar systems like this. One of the most famous eclipse binary stars is called Algol in the constellation of Persea."</p> |
| <p>Obraz 008 Ukázky kategorií dvojhvězd -- astrometrické</p> | <p>60 sec</p> | <p>//</p> |
| | <p><i>Aida:</i> "Poslední kategorií jsou dvojhvězdy objevené astrometricky. Ve své podstatě se jedná o vizuální dvojhvězdy, u nichž je opticky pozorovatelná jen jedna hvězda. Ovšem astrometrická měření polohy hvězdy vykazují periodické změny. Ty jsou vysvětlitelné právě přítomností druhé složky, která první gravitačně ovlivňuje. Touto metodou bylo objeveno relativně málo dvojhvězd. To je pře-</p> | <p><i>Aida:</i> The last place in our category belongs to the astrometric binary stars. Basically it is a visual binary star where we can optically see only one star. Our astronomical measurement of its position shows us periodic changes of the star. It is caused by the presence of the second component which gravitationally affects the first star. This method was successful in locating a few binary</p> |

| | | |
|---|---|--|
| | <p>devším dáno nepřesnostmi v měření vlastního pohybu hvězd a také potřebou dlouhodobého měření. Nejznámější astrometrickou dvojhvězdou je Sírius, objevený již v roce 1844."</p> | <p>stars only. Firstly, there is an inaccuracy in measuring the process of the movement of stars themselves and secondly, we have to measure them in a long term. The most known astrometric binary star is a Sirius which was located in 1844.</p> |
| <p>Obraz 009</p> <p>Konfigurace systému na základě jejich vzdálenosti</p> | <p>60 sec</p> | <p>//</p> |
| | <p><i>Ernest:</i> "Jo astrometrie, ta mi nikdy pořádně nešla..."</p> <p><i>Aida:</i> "Kdyby jenom astrometrie ... (smích) Další způsob, jak můžeme dvojhvězdy klasifikovat, je na základě jejich vzájemné vzdálenosti a poměrné velikosti. Když vezmeme dva hmotné body (v našem případě hvězdy), a vyznačíme kolem nich oblast, kde je k nim obíhající těleso stále gravitačně vázáno, získáme tvar podobný osmičce, složené ze dvou kapkovitých útvarů setkávající se v jednom bodě. Tyto dvě plochy nazýváme Rocheovy laloky. V roce 1955 český astronom Zdeněk Kopal zavedl dodnes používanou vývojovou klasifikaci dvojhvězd vzhledem k Rocheově ploše. Jedná se o tři případy. (1) První reprezentují oddělené soustavy, povrchy obou složek se nachází uvnitř Rocheovy plochy. (2) Druhé jsou Polodotykové, kde právě jedna ze složek vyplňuje danou plochu. (3) A nakonec třetí, dotykové, kde Rocheovu plochu vyplňují obě</p> | <p><i>Ernest:</i> Oh dear, astronomy was never a favourite subject of mine..."</p> <p><i>Aida:</i> "Among other subjects. Is it not right, Ernest? (Aida laughs out loud and continues). We can also classify binary stars by their mutual distance and proportional size. So, let's grab two substantial (in our case two stars) points and highlight an area around with a gravitationally connected running ensemble around – the shape we get will be similar to number eight since it consists of two teardrop formations and it is clashing in one single spot. These two surfaces are called Roche lobes. Czech born astronomer Mr. Zdenek Kopak defined development classification of binary stars in accordance with the Roche area back in 1995 which we still used even by now. It is related to the following three cases:</p> <p>The first represents two systems whose surfaces are inside the Ro-</p> |

| | | |
|---|---|--|
| | složky." | che area (1). A semi touch system with one of the elements filling up the main area (2). And lastly, a touch system with two elements filling up the whole Roche's area (3)." |
| Obraz 010 Scenáře vývoje binárních hvězd | 90 sec | // |
| | <p><i>Ernest:</i> "Myslím, že jsem právě na chvíli zase usnul..."</p> <p>(Bez reflexe toho, co Ernest řekl, pokračuje.)</p> <p><i>Aida:</i> "V každém případě mají binární hvězdy, stejně jako ostatní, svůj vývoj. Který může být urychlen, nebo ovlivněn přítomností společníka."</p> <p><i>Ernest:</i> "Teď už to konečně snad začne být napínavé. Ale - co tak dra-ma-ti-cké-ho se může dvojhvězdě stát?"</p> <p><i>Aida:</i> "V případě, kdy obě složky jsou hvězdami hlavní posloupnosti a vezmeme-li v úvahu vývoj hvězd, může u jedné z nich dojít k tomu, že se z ní stane červený obr. Zaplní Rocheův lalok a začne předávat hmotu svému společníkovi, pak dojde ke kataklyzmatické katastrofě, tedy explozi doprovázené uvolněním obrovského množství energie. Čili binární systém zanikne a zůstane pouze jedna složka."</p> <p><i>Ernest:</i> "Hmm, to je skutečně za-</p> | <p><i>Ernest:</i> "I think that I have fallen asleep one again at some point..."</p> <p><i>Aida:</i> (ignores what Ernest said and goes on) "Binary systems have like others its own development process and it can be either increased or be influenced by the presence of any other companion."</p> <p><i>Ernest:</i> "It is finally starting to sound exciting! What could possibly happen to the binary star though?"</p> <p><i>Aida:</i> "Should both parts of the stars be of the main sequence it can be developed over time into the Red Giant instead. The process starts with filling up the Roche's lobe and passing over its substance onto another companion which results in cataclysmic catastrophe, a huge explosion releasing quite a big amount of energy. This means the end of the whole system while only one part is left."</p> <p><i>Ernest:</i> "That is incredibly intri-</p> |

| | | |
|---|---|--|
| | <p>jímavé! No a co když je jedna složka soustavy už kompaktnějším tělesem, než je hvězda hlavní posloupnosti? Má to nějaký vliv?”</p> <p><i>Aida:</i> “Vidím, že už se probíráš. Pak to může být ještě zajímavější. Ano, kdyby byla jedna složka neutronovou hvězdou či černou dírou, jednalo by se o rentgenovou dvojhvězdu (čili X-ray binary star, jak říkáme, my, umělé inteligence ... smích). Také u nich dochází k přetoku hmoty. V případě neutronové hvězdy teplota a tlak na povrchu roste, a dochází ke gigantické termonukleární explozi a k zábleskům rentgenového záření (tzv. X-ray bursts), které jsou dobře pozorovatelné teleskopy umístěnými na oběžné dráze kolem Země. A navíc může k takovým výtryskům docházet opakovaně. Tedy pokud síla explozí nenaruší stabilitu binárního systému.”</p> | <p>guing! But what if one part of the system is already a compact ensemble apart from the star of the main sequence? What would be the outcome?”</p> <p><i>Aida:</i> I see you are already catching up, well done! This particular case makes it all the more interesting actually. Should one part be either a neutron star or black hole it would be the x-ray binary star. What also happens here is the overflow of substance. The temperature with pressure on the surface of the neutron star increases and it results in a thermonuclear explosion with x-ray bursts. We are able to get a good look at it thanks to the telescopes put on the orbit around the Earth. This could occur quite frequently unless the explosion will not destroy the stability of the binary system.”</p> |
| <p>Obraz 011</p> <p>Co se stane s Alfou Centauri?</p> | <p>40 sec</p> | <p>//</p> |
| | <p><i>Ernest:</i> “Dobře, dobře. Úplně mě děsíš! A stane se něco takového i v binárnímu systému Alfý Centauri?”</p> <p><i>Aida:</i> “Myslím, že toho se zatím bát nemusíme, vzhledem k tomu, že procesy spojené s vývojem hvězd trvají dlouhé stovky milionů let.”</p> <p><i>Ernest:</i> “No dobře, ale obecně vzato život na exoplanetě v blízkosti binárního systému s neutro-</p> | <p><i>Ernest:</i> Oh jeez, you are starting to really scare me with all this information! So, could something like that happen even in the binary system of Alpha Centauri then?”</p> <p><i>Aida:</i> “That is something we do not have to be worried about for now, since the development process of stars last long hundreds of millions years.”</p> <p><i>Ernest:</i> “Alright but regardless of</p> |

| | | |
|--------------|---|---|
| | <p>novou hvězdou by asi vzal za své ne?”</p> <p><i>Aida:</i> “Myslím, že život na exoplanetě by nepřežil už samotný vznik neutronové hvězdy v binárním systému. Nicméně prověřit vhodnost exoplanety právě v systému Alfa Centauri je jeden z našich úkolů...takže do práce. Další debaty si necháme na potom, měření čeká.”</p> <p><i>Ernest:</i> “Když jinak nedáš... Ale kvůli tvé upovídanosti jsem dnes ještě ani neměl kafe ...”</p> <p><i>Aida:</i> “To jsou ty nevýhody uhlíkové inteligence ... (smích)”</p> | <p>that any life on the exoplanet near the binary system with a binary star would cease, right?”</p> <p><i>Aida:</i> “In my opinion, any life on the exoplanet would not be able to survive the birth of a neutron star in the binary system. However, it is one of our objectives to find whether any exoplanet would be suitable in the Alpha Centauri system, so let's get to work. Any further questions can wait until we finish our measurement process ”</p> <p><i>Ernest:</i> “If you say so...but due to your talkative nature I have not had any coffee yet!”</p> <p><i>Aida:</i> “Oh dear you! That is an exact proof of the handicap of the carbon intelligence...(laughs)”</p> |
| Konec | | |

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



Zjistěte si, jak daleko je Alpha Centauri, jak dlouho tedy Aidě a Ernestovi by tedy trvala cesta tam a zpět (při rychlosti lodi 59958491,6 m/s).

SAMOSTATNÝ ÚKOL



Systém Alfa Centauri je vzdálen 1,338 pc a má periodu 79,92 let. Komponenty A a B jsou od sebe vzdáleny 23,7 AU. Jaká je celková hmotnost systému?

POUŽITÁ LITERATURA

Alpha Centauri in the HR-System. In: *ESO* [online]. [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: <https://www.eso.org/public/usa/images/eso0307e/?lang>

ZHATT. Two bodies of similar mass orbiting around a common barycenter (red cross) with circular orbits. In: *Wikipedia* [online]. [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Orbit1.gif>

ZHATT. Two bodies with a slight difference in mass orbiting around a common barycenter (red cross) with circular orbits. In: *Wikipedia* [online]. [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Orbit2.gif>

ZHATT. Dwa ciała o dużej różnicy mas, krążące wokół wspólnego barycentrum. In: *Wikipedia* [online]. [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Orbit3.gif>

ZHATT. Two bodies with an extreme difference in mass orbiting around a common barycenter (red cross) with circular orbits. In: *Wikipedia* [online]. [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Orbit4.gif>

ZHATT. Two bodies with similar mass orbiting around a common barycenter (red cross) with elliptic orbits. In: *Wikipedia* [online]. [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Orbit5.gif>

Representation of Ptolemy. In: *Wikipedia* [online]. Paris: Blanche Marantin and Guillaume Chaudiere, 1584 [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/File:PSM_V78_D326_Ptolemy.png

VERSCHUIER, Lieve. Staartster (komeet) boven Rotterdam. In: *Wikipedia* [online]. Rotterdam, 1680 [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Staatster_\(komeet\)_boven_Rotterdam,_objectnr_11028-A-B.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Staatster_(komeet)_boven_Rotterdam,_objectnr_11028-A-B.JPG)

Robert Thorburn Ayton Innes (1861-1933, Scottish-South African astronomer). In: *Wikimedia* [online]. [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Robert_Thorburn_Ayton_Innes00.jpg

SUSTERMANS, justus. Portrait of Galileo Galilei. In: *Wikimedia* [online]. 1640 [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Robert_Thorburn_Ayton_Innes00.jpg

Star map of constellation Ursa Major. In: *Wikimedia* [online]. [cit. 2021-02-08]. Dostupné z:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ursa_Major_constellation_detail_map.PNG

SIRIUSB. Trajectory of Alpha Centauri B relative to A. In: *Wikimedia* [online]. 2011 [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Orbit_Alpha_Centauri_AB_arcsec.png

PRIMEFAC. Wiki Spect Binaries v2: Two stars of different size orbiting the center of mass. In: *Wikimedia* [online]. 2013 [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wiki_Spect_Binaries_v2.gif

ESO-L CALCADA. Artist's impression of eclipsing binary. In: *Wikimedia* [online]. 2013 [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Artist%E2%80%99s_impression_of_eclipsing_binary.ogv

BARON, Fabien. Algol triple star system imaged with the CHARA interferometer. In: *Wikimedia* [online]. 2012 [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Algol_triple_star_system_imaged_with_the_CHARA_interferometer.jpg

BARON, Fabien. Algol AB movie imaged with the CHARA interferometer. In: *Wikimedia* [online]. 2013 [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Algol_AB_movie_imaged_with_the_CHARA_interferometer_-_labeled.gif

ESA. Detecting exoplanets with astrometry. *Sci.esa.int* [online]. 2019 [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: <https://sci.esa.int/web/gaia/-/58788-detecting-exoplanets-with-astrometry>

IFJ.KUTI.IMRE. Roche-lobes. In: *Wikimedia* [online]. 2013 [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Roche-lobes.png>

Zdeněk Kopal. In: *Rozhlas.cz* [online]. 2013 [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: https://dvojka.rozhlas.cz/sites/default/files/styles/lightbox/public/images/d9f06e805594979c61fe4b2987ce4c90.jpg?itok=xVaeC_TK

HALL, Phillip D. Binary star system - detached configuration q=3. In: *Wikimedia* [online]. 2016 [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Binary_star_system_-_detached_configuration_q%3D3.svg

HALL, Phillip D. Binary star system - semidetached configuration q=3. In: *Wikimedia* [online]. 2016 [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Binary_star_system_-_semidetached_configuration_q%3D3.svg

HALL, Phillip D. Binary star system - contact configuration q=3. In: *Wikimedia* [online]. 2016 [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Binary_star_system_-_contact_configuration_q%3D3.svg

KORNMESSER, M. Artist's impression of vampire star. In: *ESO* [online]. [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=RL3KDp04Td0&feature=youtu.be>

BERRY, Dana. Artist's impression of a pulsar 'eating' a companion star. In: *NASA/ESA* [online]. [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2005/08/Artist_s_impression_of_a_pulsar_eating_a_companion_star

NASA Missions Help Reveal the Power of Shock Waves in a Nova Explosion. *Nasa* [online]. [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2020/nasa-missions-help-reveal-the-power-of-shock-waves-in-a-nova-explosion>

ESO Supernova Planetarium & Visitor Centre, Supernova. *ESO* [online]. [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2020/nasa-missions-help-reveal-the-power-of-shock-waves-in-a-nova-explosion>

KOLB, Ulrich. *Extreme environment astrophysics*. Revised from the 1986 Russian edition. Cambridge: Cambridge University Press, c2010. ISBN 978-052-1193-443.

LIPUNOV, Vladimir. In the world of Binary Stars. Revised from the 1986 Russian edition. Moscow: MIR, 1989. ISBN 5030005285.

Australian Telescope National Facility: Binary Stars [online]. 2020 [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: https://www.atnf.csiro.au/outreach//education/senior/astrophysics/binary_intro.html

Ask an Astrophysicist: Binary Star Systems. *Nasa* [online]. [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: https://imagine.gsfc.nasa.gov/ask_astro/binary.html

SPACE.COM STUFF. *Binary Star Systems: Classification and Evolution* [online]. 2018 [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: <https://www.space.com/22509-binary-stars.html>

LEHMANN, Holger. *Analysis of Spectroscopic Binaries* [online]. 2017 [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: <https://docplayer.net/25204486-Analysis-of-spectroscopic-binaries-holger-lehmann-thuringer-landessternwarte-tautenburg.html>

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: **Binární systémy s neutronovou hvězdou**

Autor: **Jan Novotný a kolektiv**

Vydavatel: Slezská univerzita v Opavě

Určeno: studentům Slezské univerzity v Opavě

Počet stran: 25

Tato publikace neprošla jazykovou úpravou.