



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

# Život pod černými slunci - exoplanety u černých děr

Průvodní list studijního materiálu

**Martin Petrásek a kolektiv**

**Opava 2020**



**SLEZSKÁ  
UNIVERZITA  
V OPAVĚ**

## **Obsah**

<b>PŘEDMLUVA</b> .....	3
1 ŽIVOT POD ČERNÝMI SLUNCI – EXOPLANETY U ČERNÝCH DĚR .....	4
1.1 Scénář .....	6
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, Vyzařování 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 ŽIVOT POD ČERNÝMI SLUNCI – EXOPLANETY U ČERNÝCH DĚR



## TECHNICKÝ POPIS

Pořad je vyroben pro sférickou projekci v systému Digistar 6.

---



## PRŮVODCE STUDIEM – STUDIJNÍ PŘEDPOKLADY

Na studenta nejsou kladeny nároky na žádné speciální znalosti.

---



## RYCHLÝ NÁHLED STUDIJNÍHO MATERIÁLU

Své životy žijeme díky Slunci. Dodává nám životodárnou energii v podobě elektromagnetického záření. Většina z nás si ani neuměla představit, že by sluncem mohlo být i jiné těleso, než je hvězda. Ve filmu 2001 Vesmírná Odysea jsme mohli poprvé zjistit, že nejen Slunce může dodávat energii. A když se náš zrak obrátí k planetě Jupiter, zjistíme, že zatímco na měsíci Europa je ještě chladno, měsíc Io je už naopak až příliš horký. Že existují i extrémnější případy kdy tělesa mohou ohřívát slapové síly nám v roce 2014 ukázal film Interstellar.

Pořad se skládá z procházky po Sluneční soustavě, definici obyvatelné zóny a potřeby tepla pro život. Následně se vydáme k Jupiteru, kde se seznámíme s praktickým vlivem slapových sil a popíšeme obyvatelnou zónu v tomto kontextu. Zmíníme vývoj filmu 2001 a následně 2010, kde dodáním hmoty se zažehnou termonukleární reakce, a z planety Jupiter se stane hvězda. Budeme hledat, jaké další světy mohou existovat, a narazíme na poslední možnost, kterou je černá díra. Co je to černá díra? Kde ji najdeme, jak vzniká? Vydáme se černé díry hledat; jaké musí mít parametry, aby u nich mohly existovat exoplanety schopné hostit život? Opět inspirací filmem (Interstellar) se rozloučíme s cizími světy a vrátíme se zpátky na zemi.

---

## **CÍLE STUDIJNÍHO MATERIÁLU**



Student získá povědomí o způsobech detekce a principech existence exoplanet se zaměřením na exoplanety u černých děr. Materiál je vstupním předkurzem budoucího kurzu relativistické fyziky a fyzikálních a optických efektů v poli černých děr.

---

## **KLÍČOVÁ SLOVA STUDIJNÍHO MATERIÁLU**



Exoplanety, astronomie, astrofyzika, unisféra, planetárium, sférická projekce

---

## **ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU**



Stopáž studijního materiálu: 21 minut

Doporučený čas ke studiu: 1 hodina

---

## **DALŠÍ ZDROJE – DOPORUČENÁ LITERATURA**



Schutz B.F. A first course in general relativity. Cambridge University Press, 1984. ISBN 0 521 27703 5.

Shapiro S.L., Teukolski S.A. Black Holes, White Dwarfs, and Neutron Stars. The Physics of Compact Objects. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley & Sons Inc., 1983. ISBN 978-0-471-87316-7.

Misner C.W., Thorne K.S., Wheeler J.A. Gravitation. Freeman and Co., San Francisco, 1973.

Kuchař K. Základy obecné teorie relativity. Academia, 1968.

## 1.1 Scénář

Jistě všichni znáte ten pocit. Slunko již dávno zapadlo za obzor a soumrak se postupně přelévá do horké letní noci. Ležíte na mezi a nad vámi se objevuje hvězda za hvězdou. Obloha potemněla dost na to, aby se vynořila i mléčná dráha, náhrdelník miliard hvězd Naší galaxie. Kdo by v tu chvíli aspoň na okamžik nezapřemýšlel o tom, kolik dalších světů je nad námi? U kolika hvězd jsou jiné planety podobné té naší, s oceány, pouštěmi, horami a lesy. Kdo další se dívá na naši mléčnou dráhu odjinud? Nebo na ramena docela jiné galaxie? A co si zrovna teď myslí?

*Each one of you surely knows that feeling when the Sun disappears behind the horizon and twilight takes its place in the hot summer night. You lay down on the grass and keep watching as a new star in the night sky appears. The sky has darkened to the point that even the Milky way has graced us with its presence of billions of stars in our galaxy. Who would have not wondered about how many other worlds exist out there beyond our reach? How many stars have planets similar to ours? Completed with oceans, deserts, mountains and forests. Who else is watching the galaxy far away from a different place as us? What if that someone also watches a different galaxy? And what are they currently thinking?*

Planetu, na které žijeme, jsme si pojmenovali Země. Je to malá kamenná planeta, třetí v pořadí od hvězdy, která má povrchovou teplotu 5800 K a hmotu tak akorát velkou, že její hlavní životní fáze, hlavní posloupnost, trvá miliardy let. Tato hvězda, které říkáme Slunce je sama. Nemá hvězdného souputníka, a tak planety kolem ní mohou obíhat po vcelku stabilních drahách. Merkur a Venuše jsou příliš blízko Slunce, a tedy příliš horké planety na to, aby na nich mohl existovat život. Země se nachází v ideálním postavení, Slunce jí dodává správné množství záření. Ani moc ani málo a Země má atmosféru, která toto záření dokáže správně využít.

*The planet we live at has been named by us as Earth. It is a small stone planet a third in place from a star. Its surface temperature is 5800 K. Its weight is big enough for the main sequence to last for a few billions of years. The star we call a Sun is all by itself. It does not have a stellar companion, so other planets are able to orbit around it on very stable trajectories. Planets such as Mercury and Venus are too hot so no life could possibly exist there. However, our Earth has got the ideal location. The Sun is giving over the right amount of its radiation which is used by Earth in a very effective way.*

---

### Obyvatelná zóna:

Obyvatelná zóna je v astronomii užívaný termín pro oblast kolem hvězdy, v níž by se mohl vyskytovat život. Jinými slovy jedná se o oblast, v níž nacházející se planeta přijímá takové množství sluneční energie, které povrch planety nepřehřívá ani naopak nenechává přespříliš chladným. Voda zde může existovat v kapalném stavu.

*In astronomy a habitable zone is an area around a star where any life could possibly exist. In other words it is a location where any planet can take enough sun energy from; this sun energy does not overheat the surface nor keeps it too cold. Moreover, we can find water in a liquid state here.*

---

Mars je ale také ještě uvnitř obyvatelné zóny, jenže nemá dostatečně silnou atmosféru. Možná ji měl v minulosti, ale v důsledku procesů, o nichž můžeme zatím jen spekulovat, o ni přišel a s ní i o zásoby většiny povrchové vody.

Zdá se tak, že dalšími planetami se nemá smysl zabývat. Čím se dostáváme od Slunce dále, množství záření naší hvězdy klesá. Navíc zbylé planety Jupiter, Saturn, Uran a Neptun jsou obří a plynné, bez povrchu, na kterém by mohla být vyhřátá mez s typickou letní nocí, a ze které by se mimozemšťané mohli koukat na oblohu a přemýšlet o jiných světech... I když...

*While we consider Mars as a habitable zone, it still lacks a strong enough atmosphere.*

*It is possible that in the past there could have been water but due to some unexplainable reason to us it has been fully erased including with the majority of its surface water.*

*So it looks like there are no means to speculate about other planets. The more we get away from our Sun, the bigger decrease of our star's radiation.*

*The left planets such as Jupiter, Saturn, Uran and Neptune are enormous and all of them have got a gas; this means it lacks a firm surface where the boundary usually gets warm during our summer nights so there is no chance that any "aliens" could possibly have the same conditions we have got and observe the sky while thinking about different worlds...but who know, maybe we are wrong...*

---

Ukázka z filmu 2001: Vesmírná Odyssea nebo z 2010: Vesmírná Odyssea

---

Ale to předbíháme. Světy obřích planet jsou o trochu složitější. Přímo na nich nenajdeme žádné místo, se stabilními podmínkami k životu. Jenže kolem planet Sluneční soustavy obíhají měsíce. Ty u kamenných planet jsou také kamenné a bez atmosféry. Některé měsíce kolem planet Jupiter a Saturn ale atmosféry mají. A na některých z nich ani není zima. Jak je to možné?

Mohou za to slapové síly. Ty, které na Zemi způsobují příliv a odliv mohou v podobě obřích planet a měsíců obíhajících v těsné blízkosti způsobit mnohem silnější pnutí, jehož následek v podobě tření dokáže ohřát měsíc až natolik, že teploty mohou být mnohem vyšší, než byste od tak Slunce vzdáleného tělesa čekali.

*But we are getting too ahead of ourselves. The worlds of enormous planets are more complicated. We would not be able to find any place with stable conditions for life on any of them at all. Although, the planets of the Solar system have got Moons orbiting around*

*them. The stone planet' moons are made of stone with no atmosphere as well. Yet a few months around Jupiter and Saturn have got their own atmosphere. And some of them are also not cold either. But how is that possible?*

*It is caused by tidal forces. The ones which force high tide and low tide on Earth can in the form of huge planets and moons orbiting in their close surroundings cause stronger movement. The friction heats the Moon to the temperature so high you would not expect from such a distant object away from the Sun.*

---

### **Uhlíkový šovinismus:**

V tuto chvíli nás bude zajímat jen jedna forma života, tedy ten život, jak jej známe – pozemský, uhlíkový. Nejnужnější podmínky pro jeho existenci jsou vlastně celkem prosté – přítomnost dostatku uhlíku a stabilní existence vody v kapalném stavu. Z toho vyplývá několik omezení a podmínek. Tedy teploty mezi 0 až 100 °C a nějaká ochrana, která znemožní vypaření vody do vesmíru. Například atmosféra nebo nějaký ochranný obal (podpovrchový oceán například).

Voda v kapalném stavu je nezbytným rozpouštědlem pro uhlíkové sloučeniny. Uhlík zase poskytuje zdaleka nejbohatší možné kombinace pro stabilní existenci organických sloučenin. Existují sice alternativní teorie biochemie, ale tato se nám doposud zdá nejdostupnější. Kritikové ji často nazývají uhlíkovým šovinismem.

*Right now we will dive into one form of life which we have the biggest interest in – the earthly, carbon ones. The most necessary conditions for its existence are quite simple – enough presence of carbon and stable supply of water in a liquid state. This brings a few restrictions and conditions along it. The temperatures must range from 0-100 °C and some type of protection against the possibility of water evaporation into space. It could be for example an atmosphere or some protection layer (possibly under the surface of the ocean).*

*Water in a liquid state is a necessary solvent for all carbon compounds. The carbon provides the widest range of possible combinations for stable existence of organic compounds. Although there exists some alternative biochemistry theories, this one is the most available one. The critics usually label it as carbon chauvinism.*

---

Měsíce velkých plynných planet sluneční soustavy jsou opravdu pestrými světy a doslova laboratoří mimozemské chemie. Co zatím nevíme, jestli jsou také laboratoří mimozemské biologie.

Nejnadějnější jsou světy kolem planety Jupiter. Když se zadíváte třeba i do malinkého loveckého dalekohledu, spatříte kolem planety Jupiter 4 tečky srovnané do jedné přímky. Jsou to v pořadí co do vzdálenosti měsíce Io, Europa, Ganymed a Callisto. Io je z nich



nejblíže a slapovými silami Jupitera to v něm doslova vře. Na povrchu tohoto měsíce se nachází více než 400 aktivních sopek, což z Io činí geologicky nejaktivnější těleso sluneční soustavy. Sopečná mračna a lávové proudy neustále přetvářejí povrch měsíce včetně jeho zbarvení, které většinou vlivem sloučenin síry nabývá různých odstínů červené, žluté, bílé, černé i zelené. Tady budeme život hledat asi stěží.

*The Moons of big gas planets from the Solar system are quite colorful worlds and are also the laboratories of extraterrestrial chemistry. What we do not know yet is if it is not a laboratory of extraterrestrial biology.*

*The most promising are worlds around the Jupiter planet. If we take a look from a small telescope, we would see around the Jupiter planet four small spots parallel in one line. These moons are in order based on their distance: Io Europa, Ganymede and Callisto. The closest one is Io and due to the influence of tidal forces its insides are literally boiling. We can find on this moon's surface more than 400 active volcanoes which makes this moon one of the most active ensembles of the Solar system. The volcanic clouds and lava flows keep changing the moon's surface including its colouring. The colours are changed thanks to the compound of different shades of red, yellow, white, black and green. We would be unable to find any life around here at all.*

Ale jen o kousek dále, se dostaneme k Europě. Ledově chladný měsíc se tvářil až do návštěvy sond Voyager nenápadně. Jeho povrchová teplota jen zřídka povyskočila nad -160 °C. Avšak s přiblížením obou sond se týmu na Zemi ukázal zvrásněný povrch připomínající koryta řek posetých rozpraskanými krami. A průzkum završila sonda Galileo, která u tohoto měsíce potvrdila tekutý vodní oceán. Dokonce se zdá, že tekuté vody je na tomto měsíci 2x až 3x více než na Zemi!

*When we move over to its neighbor we get to the Europa now. It is an ice cold moon which has been out of our radar until the visit of the Voyager probe. Its surface temperature rarely reaches over -160 °C. The observation by two probes has given us an insightful view of the wrinkled surface similar to the river bed with cracked ice. The observation was tied in by the Galileo orbit which confirmed the presence of liquid ocean. Moreover, it also looks like there is two or three times bigger amount of water than on our Earth!*

Aby toho nebylo málo, také u sousedního Ganymeda se spekulace o podvodním oceánu objevily. Ale nezůstal dlouho sám. Saturnův měsíc Enceladus je dalším adeptem v pořadí na hledání mimozemského života. Mise Cassini totiž našla nejen na jeho povrchu, ale také v gejzírech vyvrhovaných do kosmu stopy organických molekul.

Ve Sluneční soustavě tak máme hned dva horké adepty na hledání mimozemského života. Ani jsme nemuseli příliš daleko. Z naší letním sluníčkem vyhřáté meze jsme se zatím nedostali ani ze Sluneční soustavy. A co teprve těch dalších planet. Tedy... Těch planet mimo Sluneční soustavu.

*And it could not get more interesting until new speculations started saying that Europa's neighbor Ganymede has got the underwater ocean. And this was the only beginning.*

*Saturn's moon Enceladus is yet another place where the search for alien life awaits. During the Cassini mission have been found traces of organic molecules not only on its surfaces but also from the geysir's threw up to cosmo. That means we have got two potential places for the search of alien life and we did not have to go too far away. From our Sun's heated bound we did not even get out of our Solar system. And we are yet to start with so many other planets out of the Solar system!*

---

### Objev extrasolárních planet

Víru v existenci exoplanet lze nalézt již v učení starořeckého filozofa Epikúra ze Samu (341 př. n. l. – 270 př. n. l.): „Existuje nekonečně mnoho světů, podobných tomu našemu, i naprosto odlišných.“

V šestnáctém století italský filozof Giordano Bruno, zastánce Koperníkovy teorie, vyslovil domněnku, že Země spolu s ostatními planetami obíhá okolo Slunce (heliocentrismus), a ostatní hvězdy se podobají Slunci a jsou též doprovázeny planetami. V osmnáctém století Isaac Newton ve svém díle „General Scholium“, které uzavírá jeho Principii, napsal: „A pokud jsou pevné hvězdy centry jiných podobných systémů, tyto, formované s obdobným záměrem, musí být všechny podrobeny Jeho nadvládě“. V roce 1952, více než 40 let předtím, než byl objeven první horký Jupiter, navrhl Otto Struve, že by dopplerovská spektroskopie spolu s tranzitní metodou mohla objevit super Jupitery na oběžných drahách v blízkosti hvězd. K potvrzení první planety mimo Sluneční soustavu ale došlo až v roce 1992. Naše přístroje do té doby nebyly schopny hodnověrně prokázat taková malá, nesvítivá a nenápadná tělesa u jiných hvězd. Ani dnes nemáme dalekohledy, kterým bychom prostě jen tak pozorovaly exoplanety a pokud se nám přímé zobrazení podaří, vidíme stále jen neurčité tečky. Naše metody se ale zpřesňují a dosahujeme zajímavějších a konkrétnějších objevů.

*The faith that exoplanets exist can be dated back to the teaching materials of ancient Greek philosopher Epicurus from Samos (341 BC): “There exist an infinite amount of worlds similar to ours, even totally different ones.”*

*In sixteenth of century an italian philosopher Giaordano Bruno, who was also a protagonist of Copernicus theory, pronounced his believe that not only the Earth orbits along with other planets around Sun itself (heliocentric) but also that other stars are similar to the Sun and are accompanied by other planets. In the eighteenth century, Mr. Isaac Newton concluded his Principia in an “General Scholium” essay with the following: "And if the fixed stars are the centres of similar systems, they will all be constructed according to a similar design and subject to the dominion of One." In 1954 forty years before the discovery of the fist hot Jupiter, Mr. Otto Struve suggested that Doppler Spectroscopy with the transit method would try to discover tangible Jupiters on the orbits in close proximity to other stars. The first planet outside the Solar systems was discovered in 1992. Our devices were until that time not ready to spot such tiny, non-luminous and inconspicuous objects around other stars. Even in our current age we do not own any telescopes with the ability to sensor the exoplanets and if we manage to sensor something, we still barely*

*see a point object only. However, we keep making up new methods which enable us to find more information about exoplanets.*

---

K 1. srpnu 2020 existuje 4,301 potvrzených exoplanet v 3176 systémech, přičemž u 703 exoplanetárních systémů víme, že mají více než 1 planetu. Přibližně jedna z pěti hvězd podobných Slunci má planetu „velikosti Země“ v obyvatelné zóně. Většina známých hvězd, jež mají exoplanety, se podobá Slunci, tj. jedná se o hvězdy hlavní posloupnosti spektrální klasifikace F, G nebo K. Avšak mnoho extrasolárních planet v obyvatelné zóně obíhá i kolem zcela odlišných hvězd, než je Slunce. A mnohé z nich mají potenciál na to, aby na nich mohl vzniknout a rozvinout se život.

*Until 1st of August in 2020 we confirmed in total 4,301 exoplanets in 3,176 different systems. We also found out that 703 exoplanet systems have got more than 1 planet. Approximately one out of five stars similar to the Sun has got its own planet with the size of Earth in a habitable zone. The more known stars with exoplanets are similar to Sun – these are the stars of the main sequence with the following spectral classification: F, G or K. To our surprise a big part of extrasolar planets in habitable zones orbits around different stars than the Sun. More interesting is also the fact that quite a lot of them have got potential for the formation and development of a new life.*

Tady se nachází TRAPPIST-1 – načervenalá hvězdička v souhvězdí Vodnáře vzdálená pouhých 40 světelných let. Přesto je natolik slabá, že k jejímu pozorování potřebujeme již poměrně výkonný dalekohled. To proto, že se jedná o červeného trpaslíka. Svou hlavní posloupnost, klíčový životní cyklus, si už hvězda odžila a těší se nyní dlouhému a nerušenému důchodu. Stabilně svítit by mohla ještě několik miliard let. Zajímavá je tím, že kolem ní obíhá 7 planet, přičemž hned 3 z nich v obyvatelné zóně. Špatnou zprávou může být, že dávný přechod hvězdy z hlavní posloupnosti do fáze červeného trpaslíka byl možná provázen natolik bouřlivou událostí, že případné prvky, které by mohly utvářet atmosféry planet, odfoukla do kosmu. Skutečnost nám je ale skryta a můžeme o ní jen spekulovat, co se podmínek pro obyvatelnost týče, jsou nyní planety TRAPPIST-1e, f a g považovány za nejlepší kandidáty na potenciálně obyvatelné planety.

*On this spot is located TRAPPIST-1—a reddish star in the Aquarius constellation around 40 light years away from us. Yet this star is so weak that we need for our observation a quite efficient telescope. It is primarily caused by the fact that it is a Red Dwarf. It has already passed its main life cycle of main sequence and is now enjoying its long and undisturbed retirement. It could potentially shine for another few billions of years. Quite an interesting point is that 7 planets keep orbiting around them and 3 are located in a habitable zone. One of the unfortunate news is the late transition of the star from the main sequence star to the Red Dwarf stage. It was most probably accompanied by quite a lot of intense events. This could blow away any possible elements which would be able to form the atmosphere of planets into space instead. The real truth is still a secret, so we can*

*only speculate about it for now. Anyway, in regards to the best candidates for habitable options are planets TRAPPIST-1e, f a g.*

Teegarden b je planetou u stejnojmenné hvězdy, která je také červeným trpaslíkem, avšak nikoliv na konci své posloupnosti, ale (pravděpodobně) v její hlavní fázi. Vznikla jako malá hvězda a neprožila žádný bouřlivý okamžik vývoje. Hvězda má jen 9 % hmotnosti Slunce a planeta kolem ní obíhá velmi blízko a s periodou jen necelých 5 dní. To, co z ní jako kandidáta na druhou Zemi dělá, jsou právě podmínky. Hmotnost planety je stejná, jako hmotnost Země a vypočítaná průměrná teplota na povrchu by mohla být 28 °C, pohybující se v rozptylu 0 až 50 stupňů.

*The planet Teegarden b has got an eponymous name in common with its star which also happens to be the Red Dwarf. It is not at the end of its development stage yet but most probably in its main phase still. It began as a small tangible star with no boisterous moments during its development. The star has got 9 % of the Sun's weight, its planet with its own period keeps orbiting around it in close proximity for about 5 days. It's an ideal candidate after Earth due to its right conditions. The weight of the planet is the same as Earth's and an average temperature is here around 28 °C while the scale interval is from 0 to 50 °C.*

Dobré podmínky pro život můžeme najít především u menších hvězd, výše zmíněné planety obíhají u červených trpaslíků. O něco hmotnější jsou hvězdy spektrální třídy K, typické svou oranžovo-žlutou barvou, které mají hlavní posloupnost mnohem delší než Slunce. I u nich známe mnoho kandidátů – planet – v obyvatelných zónách. Vhodné kandidáty na alternativní Země již známe i u cizích hvězd stejné spektrální třídy jako má Slunce (třídy G). Těžší hvězdy se už jako vhodné kandidáty nejeví. Mají totiž více hmoty, což je předurčuje ke krátkému a bouřlivému životu. Příliš krátkému na to, aby se na případných planetách mohl vyvinout stabilní život.

*The previously mentioned planets orbit around Red Dwarfs, good conditions for life can be found on less tangible stars. More tangible stars are the ones of spectral class K recognisable with their orange-yellow colour. The time they spent as the main sequence stars is way longer than the Sun's. We have already got to know many planets around them in habitable zones. Other alternative planets instead of Earth are stars with the same spectral class as our Sun's – class G. More tangible stars do not represent ideal candidates for central stars in planet systems though. Since it does have more weight, it predicts it to have a short and very boisterous life cycle. Too short for it to form a stable life over there.*

Avšak jedno želízko v ohni tady ještě máme. Ve vesmíru existuje ještě jeden typ objektů disponující silnou gravitací, a tedy orbitami vhodnými i pro planety a dlouhým a stabilním životem. Takové „hvězdy“ co nesvítí vůbec. Černé díry.

Černé díry jsou stále tajemnými objekty vesmíru, veřejností chápány na pomezí tajemna, složité fyziky a fikce. Jediné, co je definuje je hmota, rychlost rotace a případná přítomnost elektrického pole daná nenulovým nábojem černé díry. A jak by u takových černých děr mohli existovat planety?

*However, there exists yet another object with a strong gravitation and thus also with potential planetary systems – we call them black holes.*

*These are still thought about as very mysterious objects, within confines of mystery, advanced physics and fictions. It is defined by their weight, rotation speed and a possible presence of an electric field. So, how would it be possible to expect any present planets around them?*

---

#### Ukázka z filmu interstellar

Film Interstellar režiséra Christofera Nolana kupodivu poměrně věrně představuje planety, které mají obíhat kolem supermasivní černé díry. A byť je film protkán uměleckou licencí jak na efekty, tak na fyzikální věrnost, není toto sci-fi přímo z říše fantastiky. Svůj pevný základ totiž má.

*For example, the movie Interstellar includes very well designed planets which orbit around a supermassive black hole. And while its base is constructed and based on art licence for both effects and physical quantity it does not aim for the sci-fi viewers only since it got quite a correct physical basis.*

Exoplanety u černých děr by skutečně existovat mohly. I když se jedná o naprosto extrémní příklad fyziky, můžeme v základu spekulovat o podmínkách, které by mohly být dostatečně vstřícné i k existenci pseudo obyvatelné zóny. Nicméně skutečný vznik života by byl velmi obtížně představitelný.

*Although it represents an example of extreme physical conditions, it does not stop us from speculating which conditions would allow the existence of habitable zones. In the end, life on a planet such as this would still be way more different than we are able to imagine.*

V základu si ale musíme takovou černou díru představit. A nejjednodušší je podívat se do historie. Představu tělesa tak hmotného, že z něho nedokáže uniknout dokonce ani světlo, navrhl anglický geolog John Michell v roce 1783. Vypočítal, že těleso s poloměrem 500krát větším, než je poloměr Slunce, a se stejnou hustotou, by mělo na povrchu únikovou rychlost rovnou rychlosti světla, a proto by bylo neviditelné. To je asi zásadní informace, která je platná více než 200 let. Nemusíte si představovat žádné exotické objekty, pro naše účely si postačí představit těleso, jehož hmota, a tedy i gravitační přitažlivost je tak velká, že z něj neunikne ani světlo. Vnitřní struktura nás v tuto chvíli nemusí zajímat.

*Naturally, we are not able to imagine such a black hole. The easiest thing to do is to look back into the history. The image of an ensemble so heavy that even the light cannot escape from it was introduced by the English geologic Mr. John Michell in 1783. He calculated that any ensemble with radius 500 bigger than of the Sun and the same density would have on its surface an escape speed equal with the light and thus it would become invisible. This is the most fundamental information for about 200 until now. You do not have to imagine any out of world objects. For our purposes is enough to just imagine an ensemble with both mass and gravitational attraction so big that even light does not stand a chance to get out of it. The information how it works from the inside does not hold a big interest right now for us.*

Bohužel nemůžeme použít hvězdné černé díry, jejich slapové síly budou na potenciálních oběžných drahách natolik velké, že by planetu roztrhaly. V úvahu přichází pouze supermasivní černé díry, jejichž slapové síly jsou naopak tak nepatrné, že je existence možná i v naprosté blízkosti horizontu událostí. Jenže taková planeta bude podstupovat hned několik úskalí. Černá díra není slunce, je chladná. Co je naopak horké, je okolí. Buďto díky akreci materiálu, existenci akrečního disku (pak ale představa obyvatelné planety je jen těžko uvěřitelná), anebo v důsledku mikrovlnného kosmického pozadí. Záření, které vzniklo zhruba 300 tisíc let po velkém třesku prostupuje celý vesmír a v důsledku rozpínání vesmíru se rozpíná i jeho vlnová délka, a tak chladne na dnešní teplotu necelých 3 Kelvinů.

*Unfortunately, we cannot use the star black holes whose tidal forces might become on other orbits so bit it could easily rip apart the planets. We can only think of supermassive black holes whose tidal forces are barely noticeable so all of them could be in a very close proximity to event horizon as well. However, such planet would face several major obstacles. Firstly, black hole is no Sun at all – it is cold. However, its surrounding is quite hot instead. That would be either become of the material's accretion; the existence of accretion disk (that totally wipes out our idea about the habitable area) or it is the outcome of the microwave cosmic background. The radiation has its origin 300 thousand years after the Big Bang occurred and is spread out across the whole space. In relation with the expansion of space is even its own wavelength expanding as well. That means its temperature is decreasing to the current temperature down to 3 Kelvins.*

Jenže pro planetu v blízkosti horizontu událostí supermasivní černé díry dochází k relativistické kontrakci délek, a pro planetu a pozorovatele na planetě se délky mikrovlnného kosmického pozadí zkracují, a tak jejich energie stoupá. Dochází ke kuriózní situaci – černé slunce v podobě černé díry je chladné, ale celé okolí je horké. Přičemž ve směru pohybu planety dosahuje největší teploty. Vhodným nastavením velikosti černé díry a trajektorie planety tak můžeme skutečně získat něco, jako je obyvatelná zóna.

*However, any planet in close proximity to event horizon from a supermassive black hole undergoes a relativistic length contraction. The microwave cosmic background keeps for both planet and observer on the Earth decreasing and in a response their energy goes up. This results in quite interesting situation – a black sun in a form of black hole is hot while*

*its surrounding is hot. The temperature in the direction of the planet's movement reaches the highest temperature. By the correct setting of the black hole size and planet's trajectory we can get a somewhat habitable zone.*

Je vysoce pravděpodobné, že podobná situace je krajně utopická. Jednak bychom potřebovali naprosto chladnou černou díru, tedy bez akrečních procesů (a takovou neznáme), také zatím nikdo nebyl schopen vymyslet koncept toho, jak by se taková planeta mohla natolik blízko k horizontu událostí dostat a v neposlední řadě je zde také otázka stability takové trajektorie. V dnešním složitém vesmíru je tedy taková představa pravděpodobná jen stěží.

*A situation like this is most probably extremely utopian. First of all, we would need a totally cold black hole with no accretion disk and such thing does not exist. Moreover, no one was yet able to come with a plan to get such planet close to the event horizon and lastly, there is a question mark about the stability of such a trajectory itself. That is highly possible with today's complex space.*

Posuňme se ale do budoucnosti. Za mnoho stovek triliónů let bude vesmír pomalu vyčerpán. Hvězdy budou dohasínat a bude se blížit kosmická smrt celého vesmíru. Nejčastějšími objekty vesmíru budou supermasivní černé díry, které již akreovaly většinu materiálu do svých útrob. Bude jich nespočet. Nebude právě zde prostor pro planety obíhající takové velmi stabilní kosmické objekty? A nebude to taky jediná myslitelná alternativa pro existenci života ve vesmíru? Možná ano, možná ne.

*Right now, we move back to the future. In about a ten of trillions of years our space is going to be exhausted. Stars are going to end their life cycles and the comic death of the whole space will be inevitable. The most common objects we come across will be super-massive black holes who accrued its material into their insides. There will be countless of them! Would there not be space for planets with more stable orbiting cosmic objects? And would not be the only possible alternative for the existence of life in space? Who knows - maybe yes, maybe not.*

700 planetárních soustav. 4300 extrasolárních planet. A to s vědomím, že naše pozorovací metody jsou stále značně omezené, a že boom v přístrojovém pokroku je stále před námi. Budeme nejen objevovat nové planety, ale u těch nalezených, potenciálních kandidátů na možný život podrobněji zkoumat parametry, rozměry, hmoty, atmosféry a rádiové signály. Třeba se nějaký skutečný cizí svět před námi opravdu objeví.

Nalezli jsme potenciální obyvatelné světy u měsíců plynných planet naší Sluneční soustavy, našli jsme potenciálně obyvatelné světy u planet jiných hvězd.

*We have got 700 planetary systems and 4300 extrasolar planets. We say it while we know at the same time our methods are still very limited. Not only that, the boom in the development of technology is still yet to come. Not only we await new planets but the ones we are going to find with any possible conditions for life will need to be tested in areas such as parameters, mass, atmosphere or their radio signals. Who knows, maybe we will really find a new alien world in the future.*

*We have already found possible habitable worlds around moons of gas planets on our Solar system, we have found a potential habitable world around planets from different stars.*

---



## 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.

---

### SAMOSTATNÝ ÚKOL



Projděte na anglické wikipedii sekce věnované kandidátům na exoplanety a vyberte 10 nejzajímavějších a popište je v krátké eseji o rozsahu 2 normostrany.

Vyhledejte v katalozích alespoň 5 exoplanet nebo jejich kandidátů v obyvatelné zóně.

---

## **POUŽITÁ LITERATURA**

Schutz B.F. A first course in general relativity. Cambridge University Press, 1984. ISBN 0 521 27703 5.

Shapiro S.L., Teukolski S.A. Black Holes, White Dwarfs, and Neutron Stars. The Physics of Compact Objects. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley & Sons Inc., 1983. ISBN 978-0-471-87316-7.

Misner C.W., Thorne K.S., Wheeler J.A. Gravitation. Freeman and Co., San Francisco, 1973.

Kuchař K. Základy obecné teorie relativity. Academia, 1968.

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: **Život pod černými slunci – exoplanety u černých děr**

Autor: **Martin Petrásek a kolektiv**

Vydavatel: Slezská univerzita v Opavě

Určeno: studentům Slezské univerzity v Opavě

Počet stran: 20

Tato publikace neprošla jazykovou úpravou.