

The background features a dark blue gradient with a starry sky pattern. On the left side, there are several technical diagrams, including a large circular scale with numerical markings from 140 to 260 and various curved lines and arrows. The text is centered on the right side of the image.

ÚVODNÍ SEZNÁMENÍ SE STUDIEM ASTROFYZIKY

OBSAH PŘEDMĚTU

- 1. Úvodní seznámení se studiem astrofyziky
- 2. Základní stavební kameny hmoty a 4 fundamentální síly
- 3. Záření jako hlavní zdroj informací o vesmíru
- 4. Základní charakteristiky hvězd
- 5. Sférická astronomie, čas
- 6. Hvězdné mapy a katalogy, otočná mapka, hvězdářská ročenka
- 7. Důležitá souhvězdí
- 8. Souhvězdí podzimní a zimní oblohy
- 9. Pohyb těles ve Sluneční soustavě
- 10. Astronomické přístroje
- 11. Kalendáře

OBSAH DNEŠNÍ PŘEDNÁŠKY

- Možnosti tvůrčího zapojení studentů
- Organizace prosemináře
- Historie astronomie a zrod astrofyziky
- Fyzikální konstanty a jednotky používané v astrofyzice

MOŽNOSTI ZAPOJENÍ STUDENTŮ

- každý student si připraví astronomickou novinku na 5 – 7 minut



ORGANIZACE PROSEMINÁŘE

- snaha o dialog
- dotazy ihned
- komunikace mailem
- podmínky zápočtu:
 - přednesená novinka
 - závěrečný test (60 %)



HISTORIE ASTRONOMIE



STAROVĚK A STŘEDOVĚK

- **Thalés z Milétu** (?624–?548 př. n. l.) zavedl pojem nebeských sfér – všechny hvězdy vyskládány na jedné z nich.
- **Démokritos z Abdér** (?340–283 př. n. l.) proslul výjimečně správným náhledem na svět, spekuloval již o nekonečném prostoru s nesčíslnými světy podobnými tomu našemu. Správně rozpoznal povahu Mléčné dráhy – jsou i hvězdy, které jsou natolik slabé, že je jednotlivě nevidíme, ale v kolektivu ano.
- **Pythagorejci** (3. stol. př. n. l.) – zasloužili se o matematizaci přírodních věd, bohužel, většinou to byla jen číselná mystika. Návrat ke sférám, ta hvězdná byla desátá, poslední. Kolem Země se otočila za jeden hvězdný den. Všeobecně přijímáno, že hvězdy jsou dál než ostatní nebeská tělesa.

STAROVĚK A STŘEDOVĚK

- **Aristotelés ze Stagiery (384–322 př. n. l.)**, největší systematik starověku. Hvězdy – útvary na sféře, je jim vlastní kruhový, rovnoměrný pohyb. Složeny z jiného prvku než pozemské substance (éter – věčně pohyblivý), pro něž neplatí pozemská, ale nebeská fyzika. Aristotelova autorita umrtvila další studium hvězd až do novověku.
- Neměřitelnost paralaxy hvězd byla velice dlouho jedním z nejpádnejších argumentů proti heliocentrickému náhledu na uspořádání sluneční soustavy. Nikdo totiž neočekával, že by hvězdy mohly by tak daleko, že by paralaxa byla neměřitelná z tohoto důvodu.
- Největším astronomem, pozorovatelem a konstruktérem astronomických přístrojů starověku byl **Hipparchos z Niceji (190–125 př. n. l.)**. Mimořádně se zasloužil i o hvězdnou astronomii tím, že jako první sestavil v r. 129 př. n. l. katalog poloh a jasností 1080 hvězd, zavedl soustavu hvězdných velikostí, která se v zásadě používá dodnes.

POČÁTEK NOVOVĚKU

- Na sféru stálic věřili i novověcí zastánci heliocentrismu: **Mikuláš Kopernik (1473–1543)** a **Johann Kepler (1571-1630)**. Ti ovšem předpokládali, že stálice jsou od nás velmi daleko: Kopernik soudil, že poloměr hvězdné sféry je minimálně 4 miliony 3600 au.
- Největší pozorovatel před vynálezem dalekohledu **Tycho Brahe (1546–1601)**.
- Různé vzdálenosti hvězd poprvé uvažoval až **Thomas Digges** roku 1576. Myšlenku převzal i **Giordano Bruno (1548–1600)**, dominikánský mnich, který hlásal, že hvězdy jsou podobné Slunci a že všechny planety jsou obydleny.
- **Tycho Brahe (1546–1601)** kromě měření paralaxy se hvězdám věnoval i z toho důvodu, že se snažil sestavit spolu s Vilémem Hessenským co nejpřesnější katalog stálic se změřenými souřadnicemi a hvězdnou velikostí. K této aktivitě ho přiměla nová hvězda, která se r. 1572 objevila v Kasiopeji.

POČÁTEK NOVOVĚKU

- Tím začíná historie novodobé hvězdné astronomie, která vzápětí dostala nové impulsy po zavedení dalekohledu. Začaly objevy proměnných hvězd – 1596 Johann Fabricius objevil Miru Ceti.
- **Galileo Galilei (1564–1642)** měl lví podíl na experimentálním popření aristotelovské fyziky – předstupeň k dnešnímu nazírání světa, kde všude platí tytéž fyzikální zákony. Astronomii však prospěl zejména tím, že jako první (1609/10) použil k astronomickým pozorováním dalekohled.
- Revoluci ve fyzice ukončil **Isaac Newton (1642–1727)** objevem pohybových zákonů a zejména zákona gravitačního. Gravitace a setrvačnost jsou hlavní momenty určující dění ve vesmíru i na Zemi.
- **Edmond Halley (1656–1742)** učinil první významný objev ve hvězdné astronomii: našel vlastní pohyb hvězd (1717).

POČÁTEK NOVOVĚKU

- Při pátrání po paralaxe objevuje **James Bradley (1692–1762)** aberaci, která je výsledkem skládání postupné rychlosti Země ve dráze a rychlosti světla. Velikost aberace je na vzdálenosti nezávislá. Tým astronom objevil i nutaci. Sestavil též velký katalog poloh hvězd, střední chyby oproti Flamsteedově katalogu menší (pod 4").
- 1763 vydal **Nicholas Louis Lacaille (1713–62)** katalog 10 000 hvězd do 7. velikosti s polohami změřenými na mysu Dobré naděje. Poprvé více hvězd, než kolik jich je vidět očima, přesnosti Bradleyova katalogu však nedosahoval.
- Mlhoviny, hvězdokupy, dvojhvězdy aj. zajímavosti byly tu a tam nahodile objevovány, byly však vesměs považovány za kuriozity, které nemají význam. Klasický soupis 103 mlhovin pořízený **Charlesem Messierem (1730–1817)** vznikl nikoliv kvůli těmto objektům, ale proto, aby nepletly lovce komet. Zapadla i pozoruhodná přesná měření pozičních úhlů některých dvojhvězd.

POČÁTKY STELÁRNÍ ASTRONOMIE

- Na přelomu 18. a 19. století na sebe upozornil nejprve amatér, později královský astronom **William Herschel (1738–1822)**, který své současníky předčil houževnatostí, s níž prováděl přehlídky oblohy a vynalézavostí ve způsobech, jak tato pozorování vyhodnotit a interpretovat.
- Herschel objevil fyzické dvojhvězdy, jako první se pokusil odvodit tvar naší Galaxie. Objevil též směr, jímž se Slunce pohybuje vůči poli nejbližších hvězd.
- Herschel shromáždil údaje o 2500 mlhovinách na obloze, z nichž mnohé rozložil na hvězdy, zde šlo o hvězdokupy.

POČÁTKY STELÁRNÍ ASTRONOMIE

- 1782–3 **John Goodricke (1764–86)** prokázal, že se Algol mění s periodou tří dní a vysvětlil jeho světelné změny správně tím, že jde o dvojhvězdu, jejíž složky se při oběhu vzájemně zakrývají.
- Goodricke objevil ještě další dvě periodické proměnné hvězdy: betu Lyr a deltu Cep, shodou okolností tu jde o představitelky dalších dvou typů proměnnosti hvězd. V roce 1844 bylo známo 7 proměnných náležejících k 6 typům proměnnosti, což značně komplikovalo výklad jejich světelných změn
- 1844 se díky vystoupení **Friedricha W. A. Argelandera (1799–1875)** zvýšil zájem o výzkum proměnných hvězd, které slibovaly zjištění povahy hvězd samotných.

ZMĚŘENÍ HVĚZDNÉ PARALAXY

- **Friedrich Wilhelm Bessel (1784–1846)** převrat ve zpracování měření (redukci) – chyby vzal jako nutné zlo a odvodil pracovní postupy jak je zjistit a v možné míře i odstranit. Teprve Bessel připravil astronomům půdu pro stěžejní úkol – stanovení hvězdné paralaxy.
- Objev paralaxy – prakticky současně třemi nejlepšími pozorovateli světa vybavenými nejlepšími přístroji té doby: F. W. Bessel, F. G. W. Struve a T. Henderson.
- **Friedrich G. W. Struve (1793–1864)**, prohlédl 120 000 hvězd, našel 2200 nových dvojic. V té době řídil stavbu nové ruské (námořní) observatoře v Pulkově u Petrohradu. V astrometrii to byla světová jednička. 1835 novým refraktorem 38 cm mikrometrem poměřoval relativní polohu Vegy vůči blízké slabé hvězdičce.

OBJEV NEVIDITELNÝCH PRŮVODCŮ, VELKÉ MAPY OBLOHY

- Obdobou objevu Neptunu ve světě hvězd bylo nalezení neviditelných průvodce jasných hvězd. Zásahu na tom má skvělý pozorovatel Bessel – 1834 si povšiml vlnitého vlastního pohybu Síria mezi hvězdami, poté 1840 totéž u Prokyona. Sám 1844 vyslovil hypotézu, že jde o výsledek pohybu ve dvojhvězdě, kde druhá složka je temná. U Síria Bessel dráhu odvodil včetně oběžné periody (50 let).
- Úkolu se ujal Besselův asistent – **Friedrich W. A. Argelander** (1799–1875), od roku 1837 ředitel hvězdárny v Bonnu. Za 25 let s asistentem Schönfeldem prohlédli a změřili polohy 324 000 hvězd – bonnská přehlídka oblohy – Bonner Durchmusterung. Katalog a k němu atlas vyšel 1863 – obsahuje hvězdy viditelné z Bonnu do 10 mag.
- Schönfeld po smrti Argelanderově dílo rozšířil o dalších 133 000 hvězd viditelných dále na jihu. Mapování zbývající části oblohy kolem jižního pólu bylo provedeno v Cordobě fotograficky, mapy obsahující 580 000 hvězd vyšly 1914.

NÁSTUP ASTROFYZIKY, ZAČÁTKY SPEKTRÁLNÍ ANALÝZY

- Praktický význam astrofyziky pro fyziku: astronomická pozorování na jedné straně předkládala vážné fyzikální problémy, na druhé straně je řešila. Vesmír – úžasná laboratoř s možností vytvořit tak extrémní podmínky, které jsou v pozemských laboratořích zhusta nenapodobitelné.
- 1825 – francouzský filozof **Auguste Comte (1798–1857)** uvedl stanovení chemického složení hvězd jako typický příklad problému, který lidstvo nikdy ze samé podstaty věci nebude s to vyřešit. O 10 let později se to Kirchhoffovi skvěle podařilo prostřednictvím spektrální analýzy jejich světla.
- Pokusy s rozkladem slunečního světla hranolem 1666 Isaac Newton – duhový pás spektrálně čistých dále nerozložitelných barev, spektrum lze opět složit v bílé světlo.
- **Robert W. Bunsen (1811–99)** a **Gustav–Robert Kirchhoff (1824–87)** – zahájili systematické studium spekter pozemských látek. Kapaliny a pevné látky poskytovaly spojité spektrum, plyny emisní čarové. Každý prvek má charakteristický soubor vlnových délek, na nichž září, což umožňuje jejich bezespornou kvalitativní identifikaci.

POČÁTEK HVĚZDNÉ SPEKTROSKOPIE

- **Angelo Secchi (1818–78)** v Římě s malým přístrojem a nízkou disperzi pracoval na statistice (1868 katalog s 4000 hvězdným spektry. Ta rozdělil do 4 skupin:
 - I bílé hvězdy pouze s čarami H (Sírúus, Vega, Altair, Regulus)
 - II nažloutlé hvězdy slunečního typu (Arktur, Capella) s spoustou čar tzv. kovů
 - III oranžové hvězdy s absorpčními pásy (Betelgeuze, Mira), zpravidla proměnné
 - IV červené hvězdy absorpční pásy, ostré u červeného okraje, rozmyté u modrého – dnes víme, že se jedná o projev uhlíku a jeho molekul
- 1842 **Johann Christian Doppler (1803–53)** na základě analogie se zvukem upozornil na to, že při radiálním vzájemném pohybu zdroje světla a pozorovatele o radiální rychlosti V_r se musí frekvence f (či vlnová délka) světla vzhledem k laboratorní frekvenci f_0 měnit podle vztahu: $f = f_0 (1 + v_r/c)$.

FOTOMETRIE A FOTOGRAFIE

- První primitivní fotometr sestrojil John Herschel – ten zjistil, že poměr jasností hvězd s jednotkovým rozdílem ptolemaiovských velikostí je 2,5.
- V roce 1857 Norman Pogson tento poměr upřesnil na $100,2 = 2,512$, takže rozdíl 5 magnitud odpovídá poměru jasností 1:100. 1861 německý fyziolog Gustav Fechner (1801–87) z fotometrického zákona vyvodil důležitý psychofyzický zákon (někdy též Weberův–Fechnerův) týkající se většiny našich smyslových počitků: smysly nevnímají přímo veličinu (jasnost, intenzitu), ale její logaritmus. Je to výsledek zpracování informace v mozku.
- 1833 **Louis–Jacques–Mandé Daguerre (1789–1851)** – první zachycení obrazu na desce – tzv. daguerrotypie. Již 23. 3. 1840 získal John William Draper (1811–82) první daguerrotypie Měsíce. V r. 1857 Georg P. Bond použil první mokré kolódiové desky s vyšší citlivostí k fotografování Alkoru a Mizaru. Ukázal, že proměřením negativu lze dosáhnout srovnatelné přesnosti jako při měření vizuálním s mikrometrickým šroubem. Plně se začala fotografie využívat od r. 1879, kdy se zvládla technologie přípravy suchých fotografických desek.
- První použitelné spektrogramy se datují z r. 1876, kdy W. Huggins zkonstruoval spektrograf s křemennou optikou, která tolik nepohlcoval modré a UV záření, na něž byly tehdejší emulze citlivé.

PRVNÍ PŘEDSTAVY O STAVBĚ A VÝVOJI HVĚZD

- Při úvahách o povaze hvězd se snažili astrofyzikové 19. století především uplatnit své představy o Slunci mírně modifikované tak, aby se tu ještě nějak daly vysvětlit rozdílnosti vzhledu hvězdných spekter.
- Ve shodě s Laplaceovým paradigmatem si astronomové představovali, že hvězdy vznikají kondenzací mlhovin – viz třeba mlhovina v Orionu – ve spektru mlhoviny čáry vodíku, hélia a „nebulia“. Jak se vytvoří hvězda je bílá, obsahuje jen H a He. Ochlazováním se objevují páry kovů. Začíná se vytvářet silná atmosféra, která hvězdu stíní zejména ve fialové a modré části jejího spektra.
- Odmodráním se hvězda mění ve žlutou a později v červenou. Červené hvězdy musejí mít rozsáhlou a hustou atmosféru – děje se s jejich světlem totéž, co se Sluncem těsně nad pozemským obzorem. Domněnka dostala podporu, jakmile bylo možné z pohybu hvězd ve dvojhvězdách soudit na jejich hmotnosti. Např. vyšlo najevo, že „vývojově mladší“ Sírius je o dost řidší než Slunce. Hvězdy postupně houstnou, zmenšují se a chladnou.
- Vyskytly se však i potíže: oranžový Arktur by měl být starší než Slunce, přesto bylo zjevné, že je tato hvězda řidší než Slunce! Vysvětlení se našlo – Arktur údajně vznikl v oblastech, kde chyběl H, vytvořila se tak u něj hned kovová atmosféra, ačkoliv jde o hvězdu ve skutečnosti mladší.

PRVNÍ PŘEDSTAVY O STAVBĚ A VÝVOJI HVĚZD

- Norman Lockyer ale 1887 našel pro Arktura méně krkolomné vysvětlení. Měl k dispozici hvězdná spektra spolu s laboratorními spektry pořízenými pro různé teploty. Správně tak oklasifikoval hvězdy bílé a modré jako nejteplejší a červené jako relativně chladné.
- Podle Lockyera tedy vývoj začíná rozsáhlými řídkými a chladnými červenými obry, které kondenzují a zahřívají se, až přejdou v bílé hvězdy. Ty jsou jakýmsi vrcholem – jsou nejteplejší a nejzářivější, pak následuje sestupná větev vývoje – hvězdy chladnou a ztrácejí se jako malé chladné červené hvězdy. Zpočátku narazila Lockyerova domněnka na odpor, neboť spektra zárodečných mlhovin a červených obrů se od sebe výrazně liší, časem nabývala stále větší vážnosti, aby pak byla náhle zcela a nadobro opuštěna. V poznávání vývoje hvězd však sehrála zcela klíčovou úlohu.
- Velkým přínosem byla soustavná spektrální klasifikace hvězd na Harvardově observatoři. Roku 1890 William H. Pickering a Flemingová rozšířili dosavadní třídění na posloupnost spektrálních tříd od nejteplejších bílých A ... až po nejchladnější červené ...Q. Později Anthonia C. Mauryová zjistila, že některé třídy jsou nadbytečné, jiné je nutno v klasifikaci přesunout jinam. Vznikla tak harvardská spektrální posloupnost: O B A F G.

FYZIKÁLNÍ KONSTANTY A JEDNOTKY POUŽÍVANÉ V ASTROFYZICE



ASTRONOMICKÉ VELIČINY A JEDNOTKY

- **Jednotky vzdálenosti**

- rovníkový poloměr Země $1 R_z = 6378,14 \text{ km}$
- poloměr Slunce $1 R_s = 6,599 \cdot 10^8 \text{ m} = 109,1 R_z$

- astronomická jednotka
- $1 \text{ au} = 149\,597\,870\,700 \text{ m}$ (definice)

- světelná sekunda, minuta, hodina, den a rok (vzdálenost, kterou světlo urazí za příslušnou časovou jednotku)
- $1 \text{ světelná sekunda} = 2,99 \cdot 10^8 \text{ m}$
- $1 \text{ světelná minuta} = 1,80 \cdot 10^{10} \text{ m}$
- $1 \text{ světelná hodina} = 1,08 \cdot 10^{12} \text{ m} = 7,22 \text{ au}$
- $1 \text{ světelný den} = 2,59 \cdot 10^{13} \text{ m} = 173,3 \text{ au}$
- $1 \text{ světelný rok [ly]} = 9,46 \cdot 10^{15} \text{ m} = 63\,240 \text{ au}$

ASTRONOMICKÉ VELIČINY A JEDNOTKY

Jednotky vzdálenosti

- parsek (pc) - vzdálenost, z níž vidíme 1 au pod úhlem 1 úhlové vteřiny
- $1 \text{ pc} = 206\,265 \text{ au} = 3,086 \cdot 10^{16} \text{ m} = 3,26 \text{ ly}$
- $1 \text{ kpc} = 1\,000 \text{ pc}$ $1 \text{ Mpc} = 10^6 \text{ pc}$

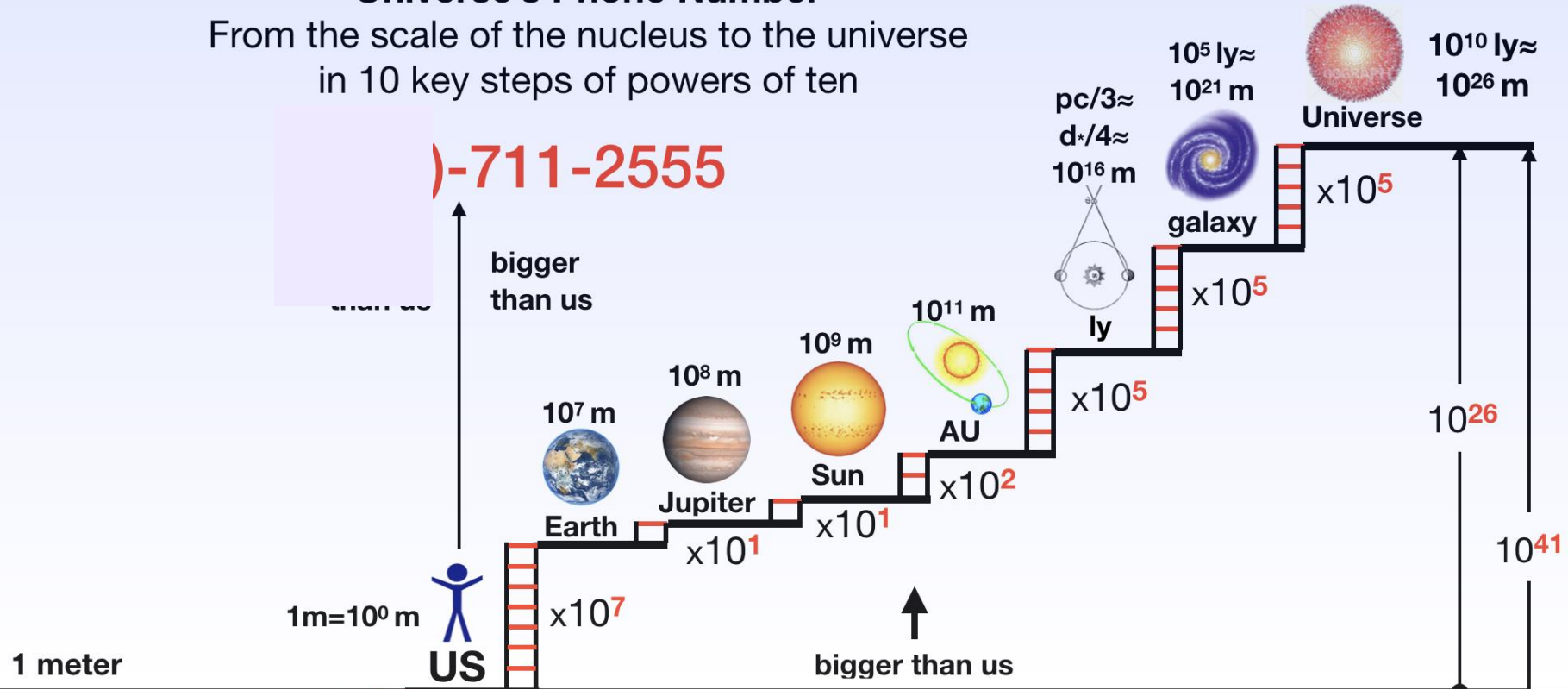
Příklady vzdáleností kosmických objektů

- Země-Měsíc $3,84 \cdot 10^8 \text{ m} = 1,28 \text{ světelné sekundy}$
- Země-Slunce $1,496 \cdot 10^{11} \text{ m} = 8,32 \text{ světelné minuty}$
- Slunce-Pluto $5,9 \cdot 10^{12} \text{ m} = 5,45 \text{ světelné hodiny}$
- Proxima $4,05 \cdot 10^{16} \text{ m} = 4,28 \text{ ly}$
- střed Galaxie $2,8 \cdot 10^{20} \text{ m} = 3,1 \cdot 10^4 \text{ ly}$
- galaxie v Andromedě $2,2 \cdot 10^{22} \text{ m} = 2,3 \cdot 10^6 \text{ ly}$
- kvasar 3C-273 $2 \cdot 10^{25} \text{ m} = 2 \cdot 10^9 \text{ ly}$
- poloměr pozorovatelného vesmíru $4,2 \cdot 10^{26} \text{ m} = 4,5 \cdot 10^{10} \text{ ly}$

Universe's Phone Number

From the scale of the nucleus to the universe
in 10 key steps of powers of ten

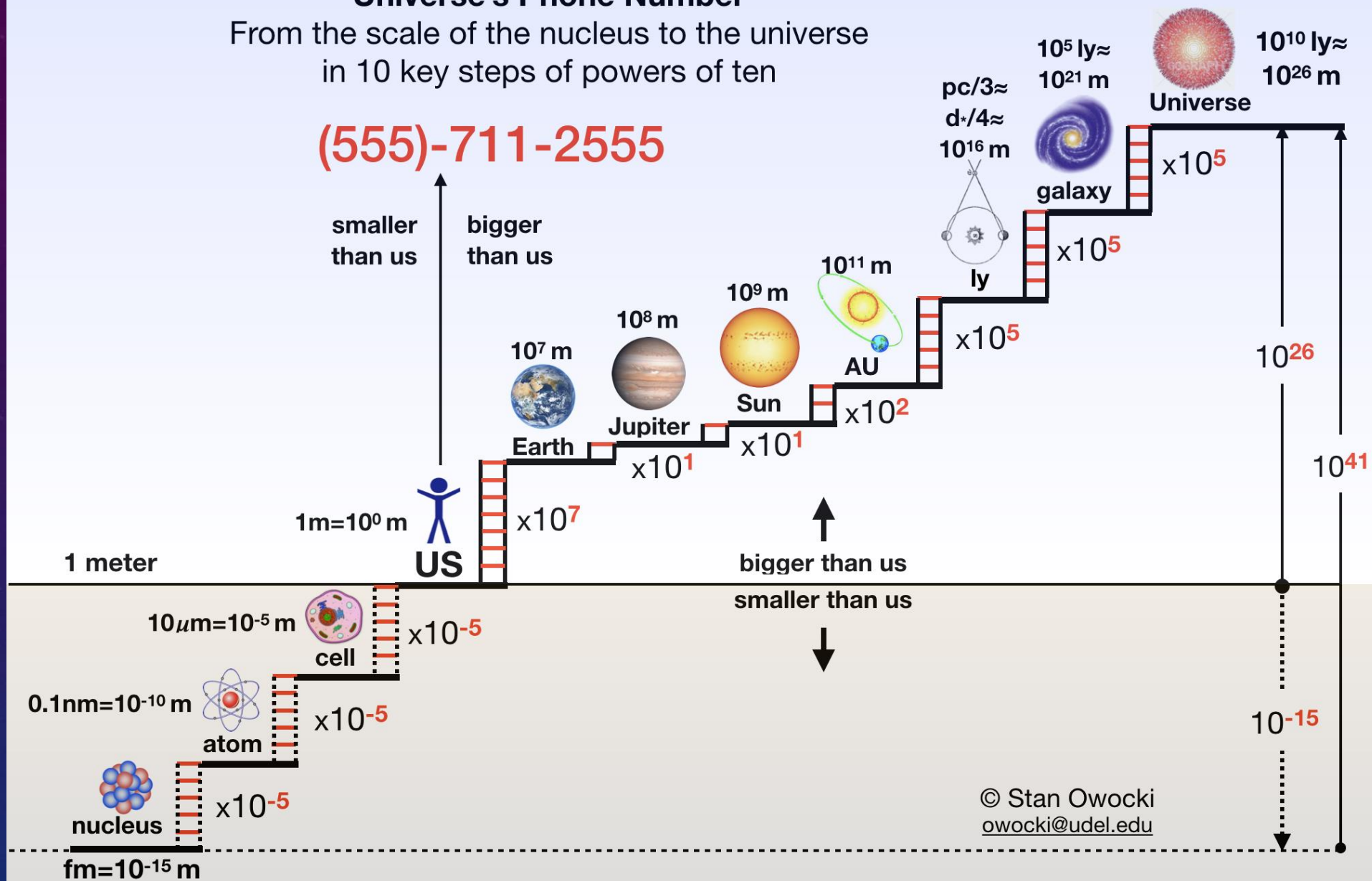
)-711-2555



Universe's Phone Number

From the scale of the nucleus to the universe
in 10 key steps of powers of ten

(555)-711-2555

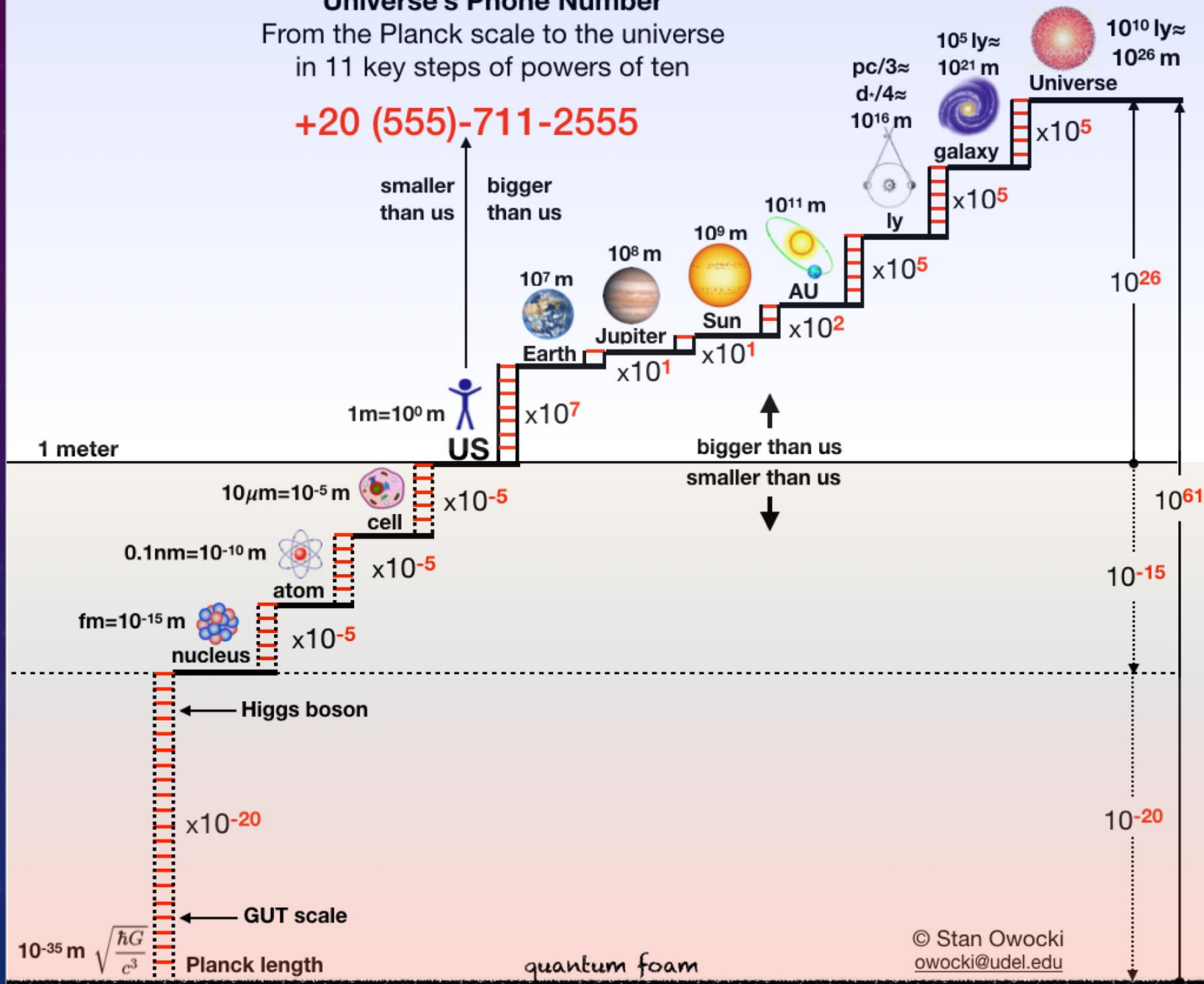


© Stan Owocki
owocki@udel.edu

Universe's Phone Number

From the Planck scale to the universe
in 11 key steps of powers of ten

+20 (555)-711-2555



ASTRONOMICKÉ VELIČINY A JEDNOTKY

Jednotky hmotnosti

- hmotnost Země $1 M_z = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
- hmotnost Slunce $1 M_s = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg} = 3,3 \cdot 10^5 M_z$

Příklady hmotností kosmických objektů

- Měsíc $7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg} = 1,23 \cdot 10^{-2} M_z$
- Jupiter $1,90 \cdot 10^{27} \text{ kg} = 317,9 M_z$
- SíriusA $4,4 \cdot 10^{30} \text{ kg} = 2,2 M_s$
- Galaxie $4 \cdot 10^{42} \text{ kg} = 2 \cdot 10^{12} M_s$

ASTRONOMICKÉ VELIČINY A JEDNOTKY

Jednotky času

- hvězdný den - otočka Země kolem osy vůči hvězdám
- 23h 56m 04,09s = 0,997 270 středního slunečního dne
- tropický rok - doba mezi dvěma po sobě následujícími průchody Slunce jarním bodem
- 365d 5h 48m 46s = 365,242 20 dne = 366,242 20 hvězdného dne = 31 556 926 s
- hvězdný rok - oběžná perioda Země kolem Slunce vůči hvězdám
- 365d 6h 9m 10s = 365,256 36 dne = 1,000 039 roku = 366,256 4 hvězdného dne = 31 558 150 s
- Platónský rok - perioda precese 25 770 let

ASTRONOMICKÉ VELIČINY A JEDNOTKY

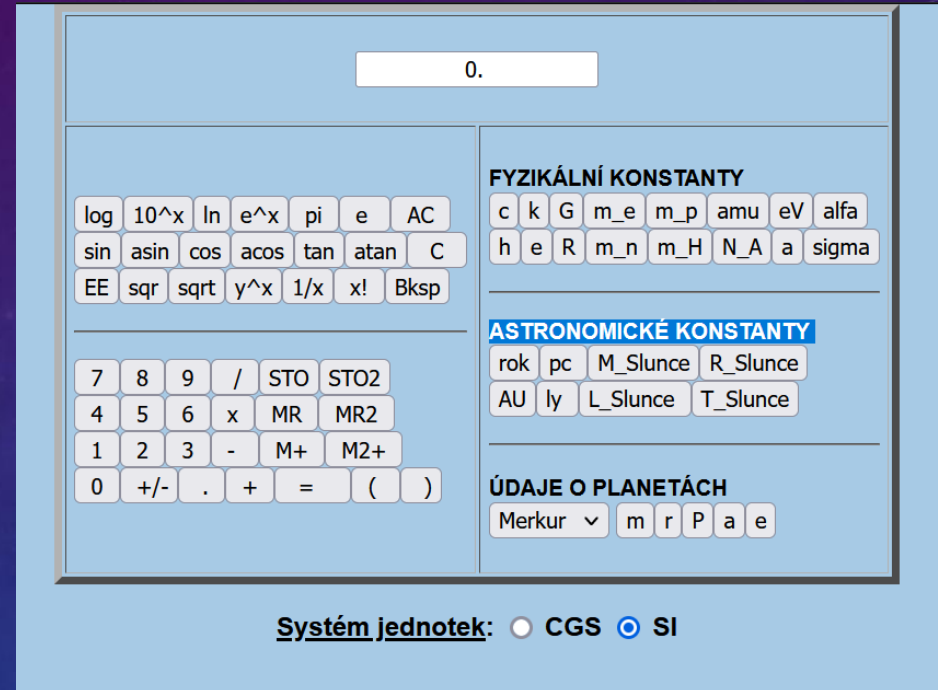
Jednotky zářivého výkonu

- zářivý výkon Slunce $1 L_s = 3,96 \cdot 10^{26} \text{ W}$

Příklady zářivého výkonu kosmických objektů

- Proxima $3,2 \cdot 10^{23} \text{ W} = 0,0008 L_s$
- Sírius A $1,2 \cdot 10^{28} \text{ W} = 30 L_s$
- Rigel $4,8 \cdot 10^{31} \text{ W} = 120\,000 L_s$
- Galaxie $5 \cdot 10^{36} \text{ W} = 1,3 \cdot 10^{10} L_s$
- kvasar 3C-273 $5 \cdot 10^{38} \text{ W} = 1,4 \cdot 10^{12} L_s$

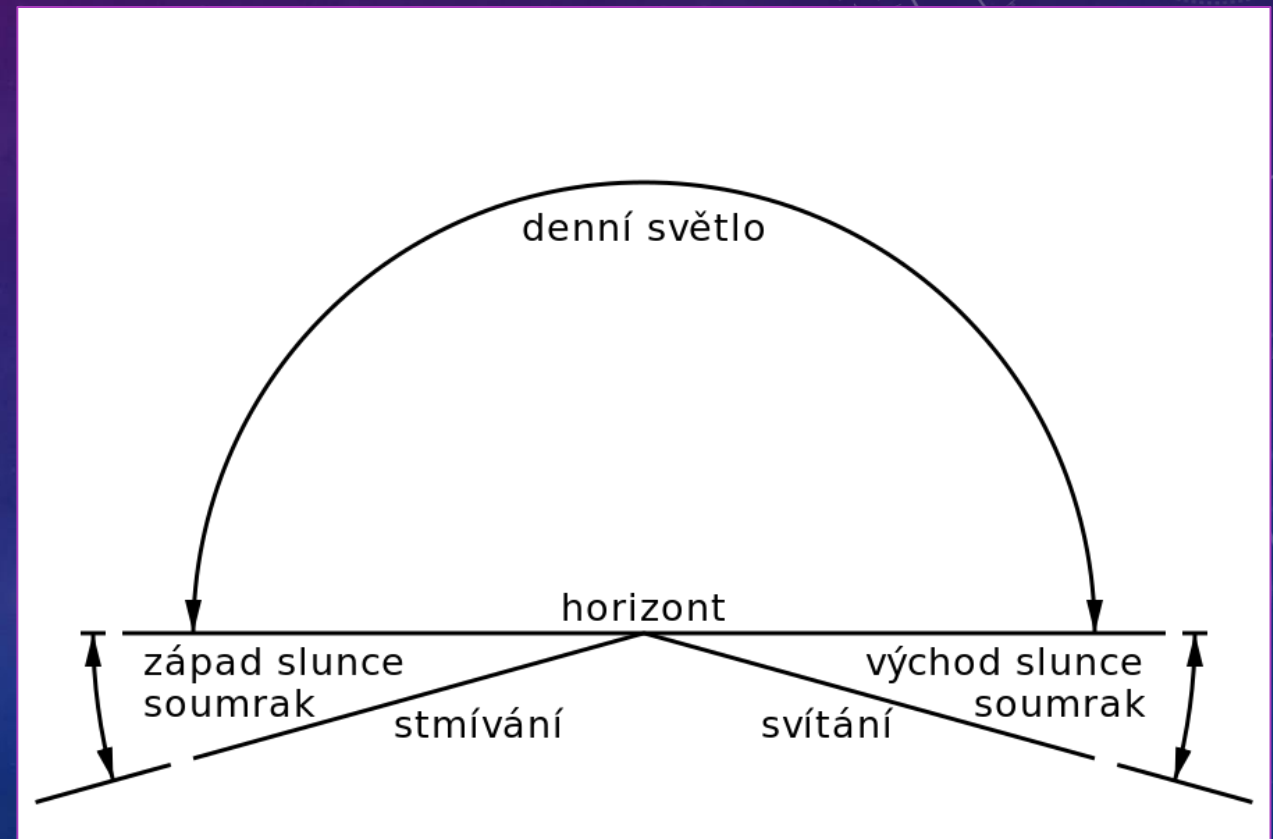
ASTRONOMICKÝ KALKULÁTOR



- <https://www.physics.muni.cz/astroulohy/kalkulator.htm>

ZAVEDENÍ NĚKTERÝCH POJMŮ

- obzor, horizont, ideální horizont
- obloha
- hvězdná obloha



KONEC ?

