Od slunečních skvrn k astrofyzice

Milníky historie pozorování a výzkumu Slunce

Martin Šolc

Dnes má naše civilizace za sebou více než 2500 let psaných záznamů o pozorování Slunce pouhým okem, 400 let pozorování dalekohledem, 200 let studia čárového spektra Slunce, 100 let studia magnetických polí na Slunci, 60 let rádiových pozorování a 40 let pozorování z kosmu. Tak dlouhý vývoj poznatků nelze zkrátit na pár stránek, a tak následující přehled připomíná alespoň některá data o nejdůležitějších objevech (čísla v kulatých závorkách odkazují v textu na připojené obrázky). Zbývají však významné příspěvky, které nelze přiřadit k jednotlivým datům, třeba celoživotní práce teoretiků sluneční fyziky, jako je například Albrecht Unsöld, nebo práce dlouholetých editorů klíčového časopisu Solar Physics – Cornelise de Jagera a Zdeňka Švestky …

Sluneční skvrny, rotace Slunce a periodická sluneční aktivita

800 př. n. l. Přibližně z této doby pocházejí první zmínky o slunečních skvrnách pozorovaných pouhým okem v čínských análech; později byly zprávy nalezeny z let:

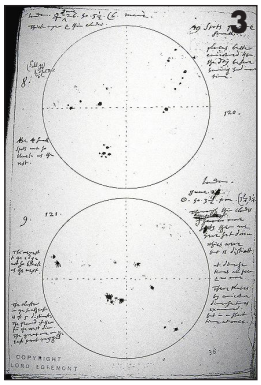
500, 513, 786, 807, 887, 925, 118, 1138, 1436, 1619, 1624, 1638 atd.

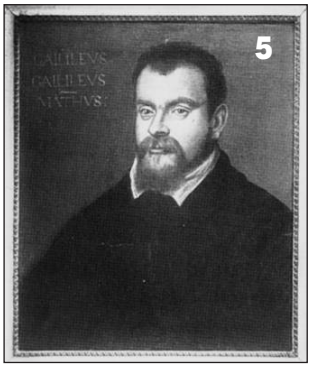
Pozoruhodné je, že pro Slunce se skvrnou Číňané někdy použili stejnou značku jako my – kroužek s tečkou uprostřed.

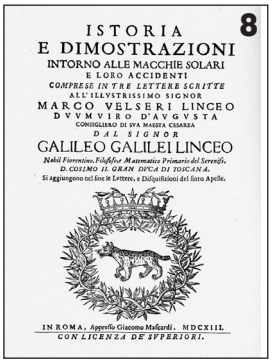
1607 Johann Kepler **(1)** pozoruje v Praze společně s Martinem Bacháčkem tmavý bod na Slunci, který pokládal za Merkura. Jako kameru obscuru užili půdu koleje krále Václava s děravou střechou a sluneční disk zachycovali na papír. Pozorování Kepler zopakoval tentýž den 28.5. s pomocníky Joosta Bürgiho na Hradčanech a napsali o tom zápis. Teprve po objevu skvrn si Kepler uvědomil, že to nebyl Merkur.

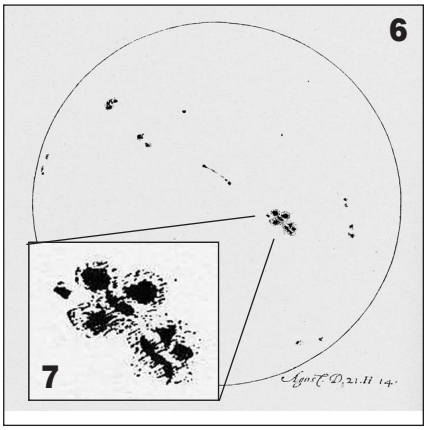
1609 Thomas Harriot **(2)** pozoruje dalekohledem skvrny, zakresluje si je do deníku, ale nepublikuje. Deníky našel a zveřejnil teprve Franz Xaver von Zach v r. 1786. První ze 199 kreseb pochází ze 3. 12. podle juliánského kalendáře **(3)**.

1611 Johann Fabricius dne 27.2. zpozoroval dalekohledem skvrny. K objevu povolal otce Davida Fabricia a zprávu o pozorování sepsali **(4)**; v dalších dnech pozorovali Slunce při západu nebo východu, aby je v dalekohledu neoslňovalo a pak už jen na projekci na papír. Dalekohled si Johann přivezl z Leidenu.









1613 Galileo **(5)** zveřejňuje spis o pozorování skvrn již v roce 1610 **(6, 7)**. Z obavy, aby nenarazil na filosofickou a náboženskou představu Slunce jako ztělesnění neposkvrněné čistoty, napsal zprávu (8) jako tři dopisy Marku Welserovi (9) do Augsburgu, známému mecenáši umění a věd. Skvrny považoval za tmavá oblaka v atmosféře Slunce. O prioritu objevu se trpce přel s Christophem Scheinerem, i když mu ji

formálně přiznal.

1630 Christoph Scheiner **(10)**, německý jezuita, skvrny pozoroval už v březnu a dubnu 1611 spolu s asistentem Johannem Baptistou Cysatem. Kvůli Galileimu zvolil stejný postup – i jeho zpráva má formu tří dopisů Marku Welserovi (11). Zpočátku nesklidil žádný úspěch – nadřízený jej varoval: „… *Držte se s touto absurditou zpátky a nevydávejte se veřejnému posměchu, a buďte si spíš jist, že jde o vadu vašeho oka nebo dalekohledu, kvůli které vidíte skvrny dokonce i na Slunci.*“ V letech 1621–23 a od 1634 Scheiner působil ve slezské Nise, která tehdy patřila k zemím Koruny české. Za pobytu v Římě vydal obsáhlý spis Rosa Ursina (1630) o slunečních skvrnách **(12)**. Pro zákres na papír používal metodu projekce **(13, 14)**. Skvrny považoval za cosi hustého v zářivé atmosféře Slunce a stanovil podle nich periodu otáčení Slunce **(15)**.

1645 1645–1715 je období řídkého výskytu skvrn, Maunderovo minimum. Ojedinělé skvrny pozorovali James Flamsteed v Greenwichi, Giovanni Battista Cassini a Pierre Gassendi v Paříži, Johann Hevelius v Gdaňsku **(16,17)**.

1769 Alexander Wilson v Glasgově zjistil perspektivní zkreslení penumbry skvrn u slunečního okraje, které naznačovalo, že skvrna je prohlubenina s tmavým dnem.

Také William Herschel považoval skvrny za díry v zářící atmosféře, jimiž je vidět chladný tmavý povrch Slunce, možná dokonce obydlený **(18)**.

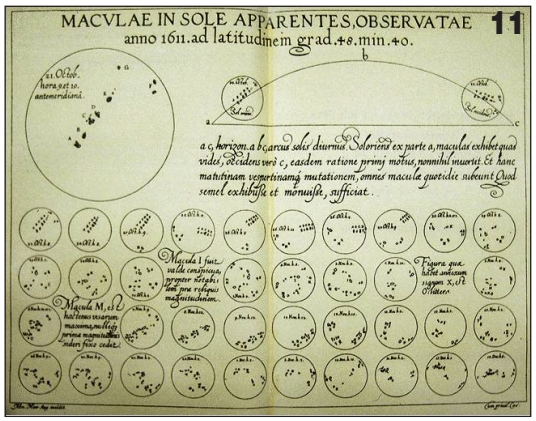
1801 William Herschel zjistil antikorelaci mezi výskytem skvrn v daném roce a cenou obilí na londýnském trhu. Skvrny měly být příčinou teplejšího počasí.

1843 Samuel Heinrich Schwabe **(19)** objevil desetiletou periodu ve výskytu slunečních skvrn. Původně studoval farmacii a převzal rodinnou lékárnu v Dessau u Berlína. Zajímal se o botaniku a astronomii, svůj první dalekohled vyhrál v loterii 1825 a začal pravidelně pozorovat Slunce. Později si pořídil větší od Fraunhofera, 1829 prodal lékárnu a cele se věnoval každodennímu kreslení skvrn ve snaze najít hypotetickou planetu, Slunci bližší než Merkur. Publikace v Astronomische Nachrichten 495 nevzbudila pozornost až do doby, kdy výsledek zahrnul Alexander von Humboldt do své encyklopedie Kosmos (1851).

1848 Rudolf Wolf, švýcarský astronom v Bernu a pak v Zürichu, zavedl k vyjádření počtu a mohutnosti skvrn curyšské relativní číslo $R=k(10g+s)$, kde g je počet skupin skvrn, s je celkový počet skvrn a k je konstanta dovolující srovnávat výsledky dosažené různými pozorovateli s různě velkými přístroji. V kronikách z let 1000–1800 našel korelaci výskytu polárních září s obdobími maxima slunečních skvrn **(20)**.

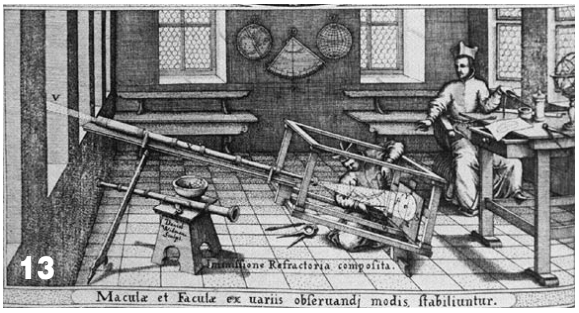
1857 Warren de la Rue zahájil soustavné každodenní fotografování Slunce, nadbytek světla omezil stínítkem s vyříznutou štěrbinou, jíž nechal přeběhnout přes obraz Slunce promítnutý na fotografickou desku.

10

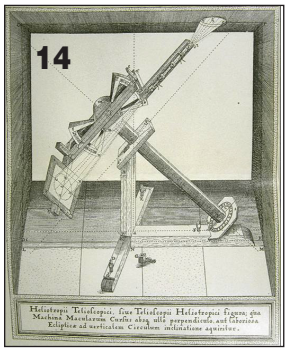


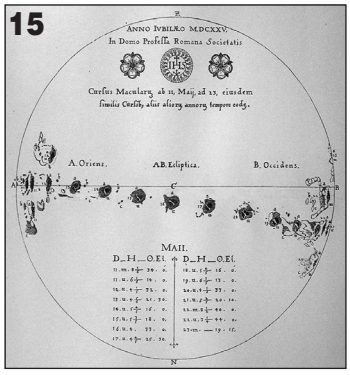
11

12



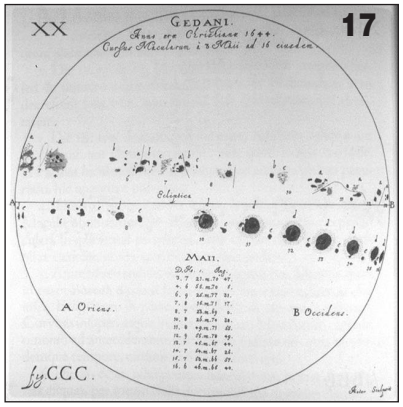
13


14

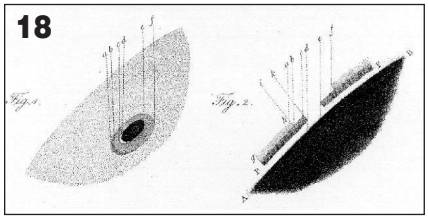


15

16



17


18

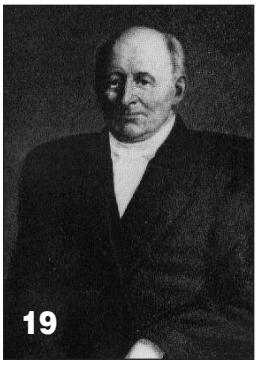
Doc. RNDr. Martin Šolc, CSc. (*1949) je koordinátorem výuky na Astronomickém ústavu Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy v Praze. Kromě historie astronomie se zabývá kosmickým a kometárním prachem a meziplanetární a mezihvězdnou hmotou. Spolupracoval na analýze dat získaných sondami Vega a Giotto k Halleyově kometě. Planetka (7799) Martinšolc nese jeho jméno.
E-mail: Martin.Solc@mff.cuni.cz

1858 Kolem roku 1858 dospěli nezávisle Gustav Spörer **(21)** v Německu a Richard Carrington v Anglii k závěru, že na začátku cyklu se skvrny objevují ve vyšších heliografických šířkách, později níže a na konci poblíž rovníku, ale nikoli přímo na něm. Tento Spörerův zákon má grafické vyjádření v motýlkovém diagramu **(22)**.

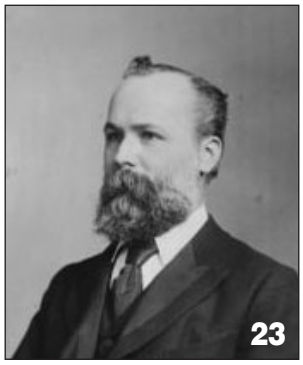
1861 Richard Christopher Carrington podle soustavného pozorování od r. 1853 dokazuje, že skvrny bližší slunečnímu rovníku rotují rychleji – jedna otočka zde trvá asi 25 dnů, zatímco na 50° heliografické šířky trvá 27,5 dne

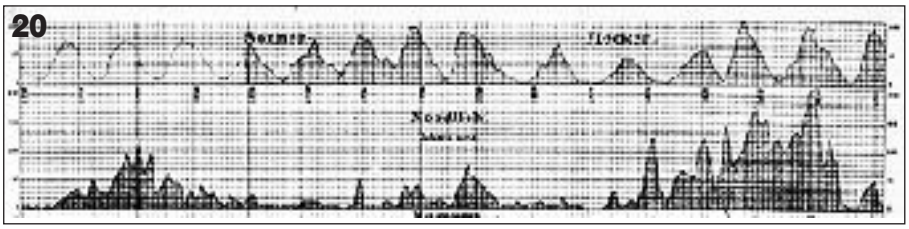
1893 Edward Walter Maunder **(23)**, anglický astronom, našel v záznamech nízký výskyt skvrn v letech asi 1645–1715, z toho dokonce 32 let nebyla pozorována žádná skvrna. Toto zjištění publikované 1894 a 1922 nevzbudilo pozornost. O tomto minimu skvrn však věděl již Spörer.

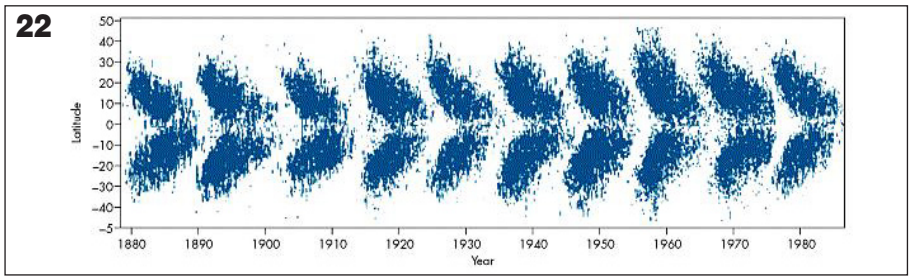
1911 Andrew Ellicott Douglas, astronom z Lowellovy observatoře ve Flagstaffu, objevil korelaci mezi tloušťkou letokruhů stromů a počasím daného roku v daném místě. Závislost na 11letém cyklu sice neprokázal, ale položil základy dendrochronologie. ■


19

21

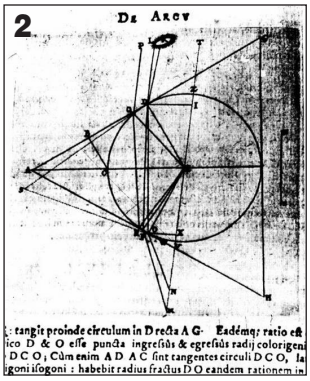

23

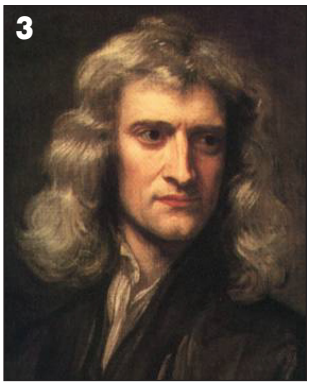

20

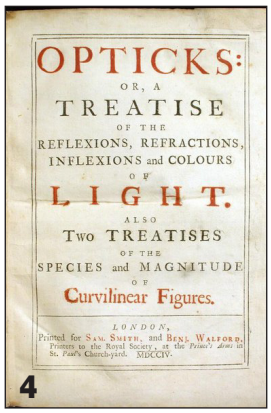


22

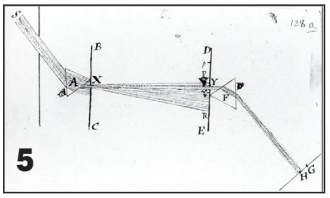
1


2

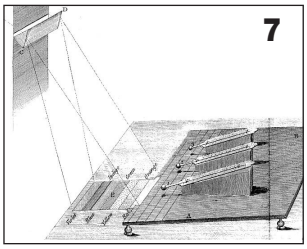

3



4


5

6


7

Výzkum slunečního spektra

1648 Jan Marek Marci **(1)** vydal knihu *Thaumantias, liber de arcu coelesti* o barvách duhy, v níž popisuje své pokusy s rozkladem slunečního světla na barvy pomocí různých skleněných hranolů **(2)**. Neznal ještě zákon lomu a uvádí proto tabulky měřených úhlů mezi dopadajícím paprskem a barevnými paprsky lomenými. Tytéž pokusy provedl o dvacet let později Isaac Newton.

1704 Isaac Newton **(3)** vydává monografii **(4)** o optice *Opticks*, v níž mj. popisuje rozklad bílého světla hranolem na barvy a jejich opětovné složení na bílé světlo **(5)**. První pokusy prováděl již v r. 1672.

1800 William Herschel **(6)** objevil neviditelné infračervené záření, když měřil teplotu různých barev ve spektru **(7)**

1801 Johann Wilhelm Ritter **(8)** objevil dne 22. 2. ultrafialové záření v podobném uspořádání štěrbiny a hranolu jako měl Herschel, za modrou barvu položil prou-

žek papíru namočený do roztoku chloridu stříbrného, který působením neviditelného záření zčernal

1802 William Hyde Wollaston **(9)** nahradil Newtonovu dírku úzkou štěrbinou rovnoběžnou s hranami hranolu a zjistil ve spektru přítomnost tmavých čar **(10)**

1814 Josef Fraunhofer **(11)** zkoumal optické vlastnosti různých druhů skla pro výrobu achromatických objektivů. Brousil z nich hranoly a zaznamenával sluneční spektrum, v němž rozlišil a označil řadu tmavých čar **(12)**. U některých se dodnes udrželo Fraunhoferovo značení – např. sodíkový dublet či fialové čáry K a H vápníku. Teodolitem proměřil polohy 324 čar. Svým spektroskopem připojeným k dalekohledu našel podobné čáry u jasných hvězd Capella, Betelgeuse, Prokyon, Pollux a dalších. Zjistil též, že plamen laboratorního kahanu způsobuje jasnou čáru právě u té vlnové délky, kde je u Slunce čára D, a že tato čára se jeví při lepším rozlišení jako dvojitá.

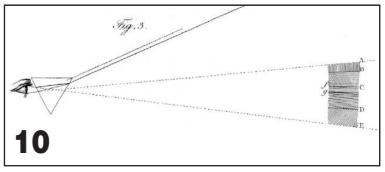
1825 Auguste Comte, francouzský pozitivistický filosof, uvedl chemické složení hvězd jako příklad skutečnosti, která nám pro nedosažitelnost hvězd zůstane navždy utajena.

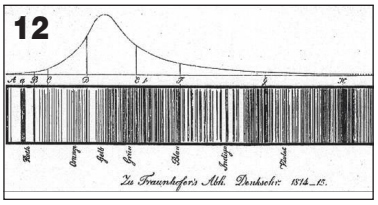
1826 Joseph Nicéphore Niépce získal patrně první daguerotypii Slunce, další snímky pořizovali v Paříži společně s Louisem Daguerrem

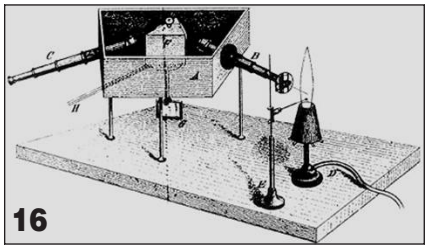
1835 David Brewster, skotský fyzik, zjistil zesílení některých tmavých čar slunečního spektra při západu Slunce a vysvětlil to tím, že je způsobuje zemská atmosféra (telurické čáry)

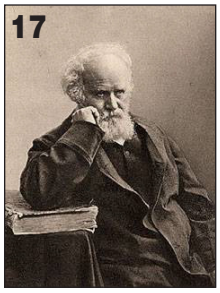
1842 Christian Doppler **(13)** dne 25. května přednesl v pražském Karolinu pro 6 posluchačů z Královské české společnosti nauk příspěvek o barevném světle dvojhvězd (*Über das farbige Licht der Doppelsterne*). Předložil v něm vzorec změny frekvence pozorovaného záření, pokud se vzdálenost mezi zdrojem a pozorovatelem mění. Zápis ze zasedání pořídil František Palacký, jeden z posluchačů byl oční chirurg, syn Jana Jakuba Ryby. Text vyšel pak v *Abhandlungen* (*Pojednáních KČSN*). Dopplerův jev se stal základem spektrální analýzy všech kosmických objektů.

1848 Louis Hyppolite Fizeau dospěl nezávisle ke stejnému vzorci jako Doppler a aplikoval jej na změnu vlnových délek spektrálních čar. Ukázal, že tak lze měřit radiální rychlosti bez ohledu na vzdálenost zdroje.









1851 Busch v Královci pořídil snímek sluneční koróny

1859 Gustav Kirchhof **(14)** a Robert Bunsen **(15)** provedli na univerzitě v Heidelbergu řadu pokusů, při nichž pouštěli sluneční paprsky do spektroskopu přes plamen Bunsenova kahanu zabarvený různými chemikáliemi vnesenými do plamene na platinovém drátku **(16)**. Zjistili nejprve pro sodík a pak pro Fe, Mg, Ca, Cr a další prvky, že v samotném plameni kahanu způsobují světlé emisní čáry charakteristické pro daný prvek, a že ve slunečním spektru jsou na vlnových délkách těchto čar čáry tmavé, absorpční. Každý prvek tedy pohlcuje světlo těch vlnových délek, které vysílá. Tyto čáry však vydávaly prvky pouze v plynném stavu, nikoli v kapalném nebo pevném. Zjistili též závislost na teplotě – proti teplejšímu pozadí se čáry chladnějšího plynu jeví jako tmavé, takže povrch Slunce musí být teplejší než plyn nad ním a ten je zase teplejší než plamen Bunsenova hořáku. Atmosféra Slunce musí být velmi horká, když obsahuje železo v plynném stavu.

1859 Richard Christopher Carrington pozoroval 1.9. v bílém světle mohutnou erupci ve skupině skvrn, jejíž „*jasnost se vyrovnala celému slunečnímu disku*“. Už od

28. srpna do 4. září zuřila magnetická bouře tak silná, že v noci a následujícím dni po erupci chaoticky točila střelkami kompasů a magnetických inklinatorií.

1860 Při úplném zatmění 18.7. byl prvně pozorován výron hmoty v koróně

1864 William Huggins ve spektrech hvězd Aldebaran a Betelgeuse našel čáry Fe, Na, Ca, Mg, Bi a H; ve spektru Siria H, Na, Fe, Mg

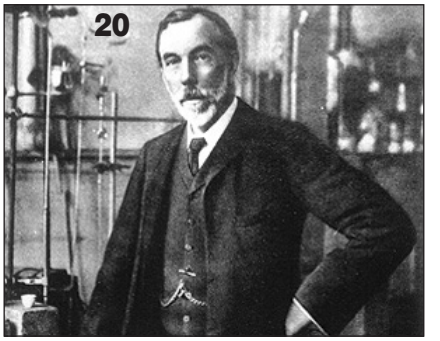
1868 Pierre Janssen **(17)**, pařížský astronom, nalezl způsob spektroskopického pozorování protuberancí i mimo zatmnění. Úplné zatmění dne 18.8. v Indii pozoroval spektroskopem a objevil chromosféru. Protuberanční spektroskop si zhotovil nezávisle anglický astronom Norman Lockyer. Ten rovněž experimentoval s laboratorními spektry elektrických výbojů v různých plynech a porovnával je se slunečním spektrem.

1868 Angelo Secchi zveřejňuje katalog 4000 hvězdných spekter nízké disperze, proměřených vizuálně. Předkládá první pokus o klasifikaci spekter. Dodnes se však používá klasifikace harvardská (OBAFGKM), jejíž základy položili Edward C. Pickering **(18)** a paní Annie J. Cannon **(19)** zhruba o 30 let později. Slunce připadlo do třídy G.

1886 Henry Augustus Rowland v USA začal práce na atlasu Fraunhoferových čar ve slunečním spektru, kterých našel a identifikoval na 14 000. Atlas dokončil 1895.

1895 William Ramsay **(20)**, skotský chemik, objevil v emanaci z minerálů obsahujících uran nový prvek – hélium – s čarami identickými s těmi, které byly známy ve slunečním spektru již roku 1868. Předtím objevil ve vzdušném dusíku argon. Roku 1904 dostal Nobelovu cenu za chemii.

1905 Milan Rastislav Štefánik, slovenský astronom, pozoroval podle instrukcí Janssena Slunce z observatoře na ledovci Mont Blancu (do roku 1908 na 6 expedicích) ■



Astrofyzika Slunce ve 20. století

1907 George Ellery Hale vybudoval na hvězdárně Mt. Wilson sluneční věž. Se spolupracovníky měřil velikost Zeemanova rozštěpení čar citlivých na magnetické pole a jejich polarizaci. Dokázali, že ve skvrnách roste magnetické pole až na 3000 gaussů, a že toto je důvodem chladnějšího plazmatu ve skvrnách. Hale později navrhl a nechal vyrobit zařízení na fotografické zachycení monochromatických obrazů celého povrchu Slunce, např. v jednom z křídel čáry H_β.

1919 Hale se 3 spoluautory publikují v časopisu *Astrophysical Journal*, svazek 49, str. 153–178, významný článek o střídavém přepólování magnetických polí ve skvrnách při postupu od jednoho 11letého cyklu skvrn k dalšímu. 22letý cyklus dostal Haleovo jméno.

1931 Značný pokrok byl spojen s vynálezem koronografu, který dovoluje pozorovat korónu i mimo úplné zatmění. Rušivé silné záření fotosféry je v dalekohledu odstíněno terčem simulujícím úlohu Měsíce při úplném zatmění Slunce. Konstruktérem koronografu a monochromatických úzkopásmových polarizačních filtrů byl francouzský sluneční fyzik Bernard Lyot. Podobné, ale levněji vyráběné filtry vynalezl později v Turnově Ivan Šolc.

1942 Švéd Bengt Edlen vyvodil ze studia koróny její extrémně vysokou teplotu

1951 Ludwig Biermann v Německu objevil sluneční vítr, proud částic s elektrickým nábojem, vysílaný Sluncem do všech stran. Objev učinil při studiu chování plynných ohonů komet, které jsou na sluneční vítr citlivé.

1952 Leo Goldberg v USA našel v infračerveném spektru Slunce pásy molekuly CO

1958 Eugen Parker v USA předložil teorii slunečního větru a vzniku expandující koróny

1971 Ve slunečním větru prokázány Alfvénovy vlny, předložena teorie ohřívání koróny energií z rozpadu akustických vln vystupujících z nitra Slunce.

1979 V USA a Kanadě začínají pokusy pozorovat sluneční infračervené spektrum z balónů

1981 Eric Becklin, Charles Lindsey a další spolupracovníci založili program pravidelného snímání infračervených spekter z balónů, trvající do 1988

1987 Eugene Parker v USA navrhuje mechanismus ohřevu koróny nepřetržitým přeskupováním a rekonexemi magnetických siločar

1991 Pás totality zatmění dne 11.7. prochází přes vysoko položené hvězdárny na Havaji, což dovoluje mimořádně podrobně měřit velkými přístroji a dále konat rádiová a infračervená pozorování chromosféry a koróny ■

Zdroj sluneční zářivé energie – jaderné reakce

Zdroje energie známé v 19. století nemohly vysvětlit záření Slunce – hoření chemického paliva hmotnosti Slunce by stačilo krýt zářivý výkon Slunce po několik tisíc let, dopad meteorického materiálu o hmotnosti srovnatelné s planetami a meziplanetární hmotou by vystačil jen asi milion let. Tehdejší geologie však měla důkazy, že Země je stará minimálně 10, ale spíše 100 milionů let. Uvolňování energie smršťováním Slunce – Helmholtzova-Kelvinova kontrakce – by v případě úplného kolapsu kryla zářivý výkon Slunce po 20 milionů let, tedy ve srovnání s tehdejší představou o stáří Země opět jen krátce. V roce 1920 Eddington navrhl, že dosti energie na dlouhodobé záření poskytne jen termojaderná fúze vodíku na hélium.

1854 Hermann von Helmholtz **(1)**, německý fyzik a fyziolog na univerzitách v Heidelbergu a Berlíně, navrhuje zdroj energie pro záření Slunce – uvolňování potenciální energie jeho pomalým smršťováním

1861 William Thomson, 1. baron Kelvin **(2)**, anglický fyzik, nezávisle na Helmholtzovi navrhuje pro Slunce tentýž mechanismus uvolňování energie smršťováním

1864 John Herschel, anglický astronom, syn Williama Herschela, spojil nedávno objevené meteorické roje a otázku zdroje sluneční energie – Slunce kryje vyzářenou energii uvolněním tepla při dopadu trvalého meteorického deště do jeho atmosféry

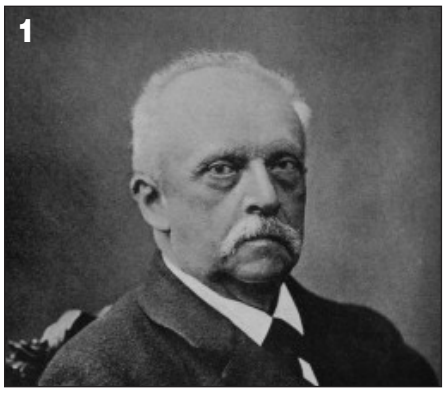
1907 Robert Emden, švýcarský fyzik působící v Mnichově, vydal monografii o termodynamice hvězd pod názvem *Gaskugeln* – Plynné koule. Obával se napsat přímo hvězdy, protože mnoho astronomů bylo tehdy ještě přesvědčeno o tekutém, nikoli plynném stavu hvězdné látky.

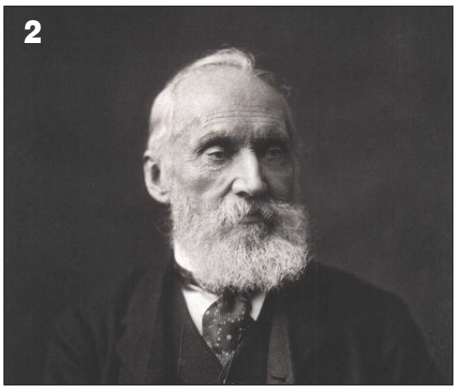
1920 Arthur Stanley Eddington **(3)**, dne 24.8. v nástupním prezidentském projevu pro British Association v Cardiffu „*… jestliže jen 5% hmoty hvězdy původně tvořené vodíkem se přemění ve složitější prvky, pak celkové uvolněné teplo bude více než stačit našim požadavkům a už nemusíme hledat jiný zdroj energie hvězd*.“ (*Observatory No. 557, 1920*)

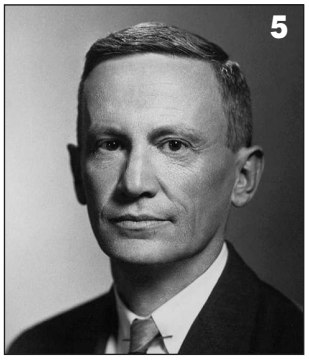
1926 Eddington vydal významnou teoretickou monografii *The Internal Constitution of the Stars*

1934 Hans Bethe **(4)** objevil deuterium

1938 Hans Bethe a Charles L. Critchfield navrhují řetězec jaderných reakcí vedoucích







od vodíku k jádru hélia, známý jako proton--protonový řetězec. Tento řetězec by měl probíhat v nitru Slunce a hvězd a vyrovnávat jejich vyzářenou energii. V některých reakcích řetězce se uvolňují neutrina.

1938 Carl von Weizsäcker a Hans Bethe navrhují cyklus jaderných reakcí zvaný CNO, který též vede od vodíku k jádru hélia, probíhá ve Slunci a hvězdách za poněkud vyšších teplot než p-p řetězec a je rovněž zdrojem neutrin

1957 Geoffrey Burbidge, Margaret Burbidge, Fred Hoyle a William Fowler publikovali zásadní článek o jaderných reakcích ve Slunci a hvězdách, který byl pak označován *B2FH*

1958 Martin Schwarzschild **(5)**, syn Karla Schwarzschilda, vydal monografii o vnitřní stavbě hvězd. Sestavil první numerické modely vnitřní stavby Slunce a hvězd, spočtené na digitálním počítači.

■

Neutrina ze Slunce

1899 Ernest Rutherford dokázal, že radioaktivita prvku rádia má dvě složky, které nazval alfa a beta

1902 Marie a Pierre Curieovi zjistili, že záření beta je proud elektronů

1914 James Chadwick změřil, že elektrony vyletující ze zářiče beta nemají stejné energie

1930 Wolfgang Pauli během workshopu na univerzitě Tübingen oznámil řešení problému rozpadu beta – má-li se dodržet zákon zachování energie, musí ze zářiče vyletět zároveň s elektronem ještě lehká částice bez elektrického náboje

1932 James Chadwick v Cavendish Laboratory v Cambridge dne 17. 2. dokázal existenci neutronu, kterou předpokládal již lord Rutherford. Nobelovu cenu dostal

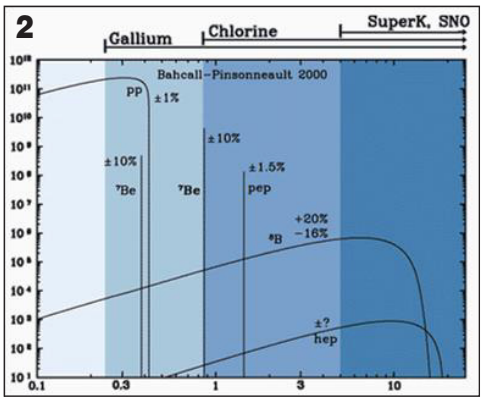
již za 3 roky po objevu. Neutron však má hmotnost přibližně stejnou jako proton a tak to nemohla být Pauliho neutrální částice.

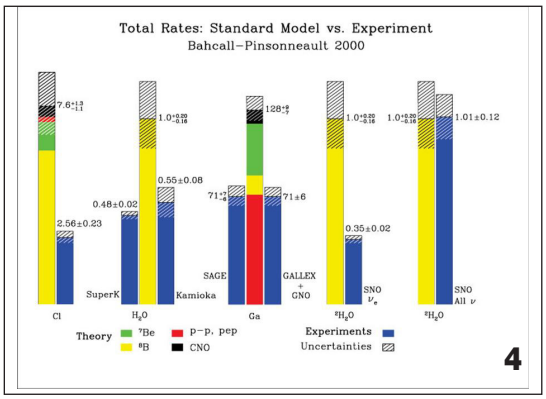
1933 Enrico Fermi, po objevu pozitronu (Carl D. Anderson) a zářičů beta-plus vysílajících pozitrony místo elektronů (Fréderic Joliot-Curie), buduje teorii rozpadu beta s použitím lehké neutrální Pauliho částice, která dostala jméno neutrino

1934 Hans Bethe a Rudolf Peierls ukázali, že účinný průřez neutrina pro interakci s hmotou je mizivě malý, skoro všechna neutrina procházejí skrz Zemi, aniž by se zachytila

1938 Hans Bethe a Charles L. Critchfield navrhují řetězec jaderných reakcí vedoucích od vodíku k jádru hélia, známý jako proton-protonový řetězec. Tento řetězec by měl probíhat v nitru Slunce a hvězd a vyrovnávat jejich vyzářenou energii. V některých reakcích řetězce se uvolňují neutrina.

1938 Carl von Weizsäcker a Hans Bethe navrhují cyklus jaderných reakcí zvaný CNO, který též vede od vodíku k jádru hélia, probíhá ve Slunci a hvězdách za





poněkud vyšších teplot než p-p řetězec a je rovněž zdrojem neutrin

1956 Neutrino je experimentálně prokázáno detektorem umístěným u jaderné elektrárny v Savannah River, v Jižní Karolině (Frederick Reines, Clyde Cowan, Nobelova cena 1995). Enrico Fermi dostal Nobelovu cenu 1938, Wolfgang Pauli 1945 a Hans Bethe 1967.

1964 Raymond Davis a John N. Bahcall publikují návrh detektoru vysokoenergetických slunečních neutrin ve formě velké nádrže perchloretylenu, kde pohlcením neutrina se atom chloru ^{37}Cl změní na atom argonu ^{37}Ar. Bez finančních problémů nakupují levnou chemikálii používanou jinak v čistírnách (za 600 000 USD) a během tří let budují detektor v opuštěném zlatém dole v Homestake, Jižní Dakota, v hloubce 1500 m **(1)**.

1967 Davisův experiment poskytl prvá data, slunečních neutrin je však jen třetina očekávaného množství. Chlorový experiment je citlivý jen na nejvíce energetická neutrina z rozpadu jádra boru ^{8}B na jádro berylia ^{8}Be, pozitron a elektronové neutrino. Na obrázku **(2)** jsou vyznačeny prahové energie neutrin i pro jiné prvky než chlor, použitelné v detektorech.

1967 Bruno Pontecorvo **(3)**, emigrant do Sovětského svazu, navrhuje řešení problému chybějících slunečních neutrin – oscilace stavů neutrina mezi elektronovým, mionovým a tau neutrinem

1980 V začínajícím desetiletí již běží anebo jsou budovány další detektory neutrin: SAGE na Kavkazu, BOREXINO, GALLEX, GNO v tunelu pod Gran Sasso v Itálii, Kamiokande a SuperKamiokande v Japonsku

1987 Kamiokande po ukončení úpravy, aby mohl detekovat i sluneční neutrina, zachytil neutrina od výbuchu supernovy 1987A ve Velkém Magellanově oblaku

2001 SNO, *Sudbury Neutrino Observatory*, poskytla prvá data a rok nato nová spolehlivější data, prokazující reálnost oscilací neutrin. Podle výsledků prochází za sekundu kolmo postavenou ploškou o velikosti 1 cm^2 na Zemi asi miliarda slunečních neutrin. Detektor obsahuje tisíc tun těžké vody a je umístěn ve starém dole 2 km hluboko. Výsledky ze SuperKamiokande (50 000 tun čisté vody) se s nimi shodují **(4)**. Naměřené výsledky už nejsou v rozporu s teorií vnitřní stavby Slunce, potvrzenou i helioseismologickým výzkumem. Problém nedostatku slunečních neutrin skončil. ■

Slunce z kosmu

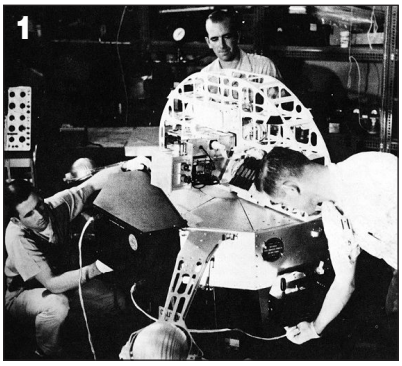
1962 Družice *Orbiting Solar Observatory* – OSO – určené pro výzkum Slunce, byly vypouštěny celých dalších deset let. Na snímku **(1)** je OSO1.

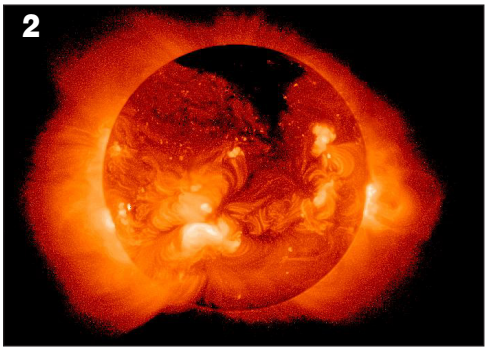
1964 Výškové rakety pořizují první rentgenové snímky Slunce

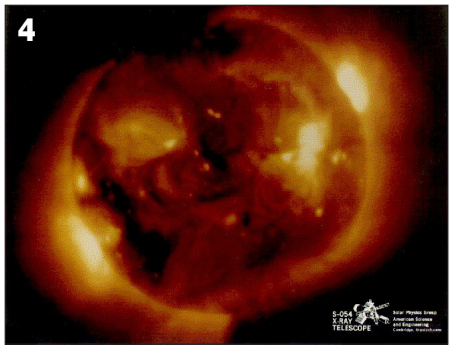
1972 OSO 4 objevuje koronální díry, hlavní zdroj slunečního větru. Snímek koronální díry **(2)** je však z družice Yohkoh.

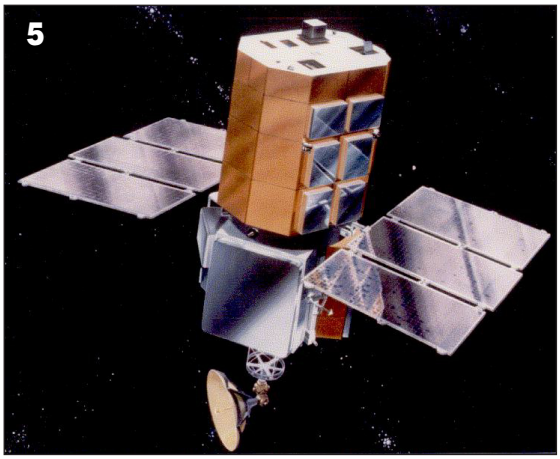
1973 Kosmická stanice Skylab (NASA) vypuštěna 14. 5., pracovala se třemi posádkami celkem po 9 měsíců, v atmosféře zanikla 1979 **(3)**. Vybavena byla rentgenovým dalekohledem S-054 **(4)**, X a EUV kamerou S-020, UV spektroheliometrem S-055, UV spektroheliografem S-082 A,B, koronografem S-052 a dvěma teleskopy na snímání v čáře H_α.

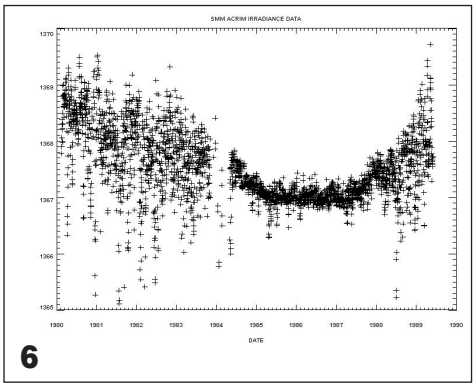
1980 SMM – Solar Maximum Mission **(5)** – byla vypuštěna 14.2. a opravena z ra-

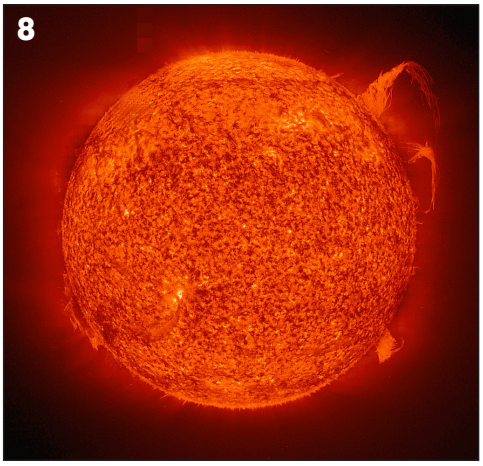


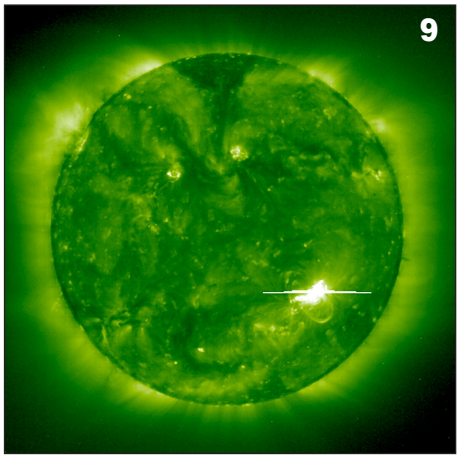


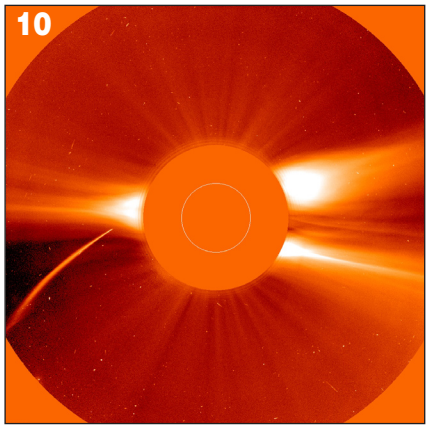












ketoplánu Challenger v r. 1984, čímž její aktivita obsáhla celý sluneční cyklus. Do atmosféry byla navedena a zanikla 2. 12. 1989. Nesla UV spektrometr a polarimetr UVSP, *Active Cavity Irradiance Monitor* ACRIM, *Gamma-Ray Spectrometer* GRS, *Hard X-Ray Burst Spectrometer* HXRBS, *Soft X-Ray Polychromator* XRP, *Hard X-Ray Imaging Spectrometer* HXIS a *Coronograph Polarimeter* CP. Pořídila první data závislosti zářivého výkonu Slunce – vyjádřeného sluneční konstantou, tedy množstvím zářivé energie prošlé za sekundu kolmo postavenou plochou o velikosti jednoho čtverečního metru ve vzdálenosti Země (iradiance) – na cyklu sluneční aktivity **(6)**.

1985 Kosmická stanice Spacelab2 (NASA), vypuštěná 29.7., nesla řadu přístrojů ke studiu fotosféry, chromosféry a přechodové oblasti: S*olar Optical Universal Polarimeter*, *Coronal Helium Abundance Spacelab Experiment*, *High Resolution Telescope and Spectrograph* a *Solar Ultraviolet Spectral Irradiance Monitor*.

1987 Experiment ATMOS na raketoplánu poskytuje podrobné infračervené sluneční spektrum mezi 2 a 16 mikrometry

1990 ULYSSES (ESA) – sonda vypuštěná 6.10. a navedená na dráhu kolmou k ekliptice je určena k výzkumu heliosféry a slunečního větru, pracuje již přes 15 let

1991 Raketa opakovaně vynášela stanici *Multi-Spectral Solar Telescope Array* do výšky 230 km, kde po asi 6 minut pořizovala snímky Slunce, chromosféry a koróny **(7)**

1991 Japonská družice Yohkoh s instrumenty *Soft X-ray telescope*, *Hard X-ray telescope*, *Bragg Crystal Spectrometer* a *Wide Band Spectrometer*, byla vypuštěna v srpnu. Při zatmění Slunce 14. 12. ztratila orientaci a nepodařilo se ji opravit.

1995 Sonda SOHO (NASA) – *Solar and Heliospheric Observatory* – byla vypuštěna 2.12. a zaparkována v Lagrangeově bodu L1 soustavy Slunce-Země. Nese 12 instrumentů k průběžnému monitorování Slunce (sohowww.nascom.nasa.gov):

- CDS (*Coronal Diagnostic Spectrometer*)
- CELIAS (*Charge, Element, and Isotope Analysis System*)
- COSTEP (*Comprehensive Suprathermal and Energetic Particle Analyzer*)
- EIT (*Extreme ultraviolet Imaging Telescope*) (**8** – EIT 304 angströmů, 11.1.1998) (**9** – EIT 195 angströmů, 2.5.1998)
- ERNE (*Energetic and Relativistic Nuclei and Electron experiment*)
- GOLF (*Global Oscillations at Low Frequencies*)
- LASCO (*Large Angle and Spectrometric Coronograph*) (**10**, LASCO C2 s kometou SOHO 6, Vánoce 1996)
- MDI/SOI (*Michelson Doppler Imager/ Solar Oscillations Investigation*)
- SUMER (*Solar* Ultraviolet *Measurements of Emitted Radiation*)
- SWAN (*Solar Wind Anisotropies*)
- UVCS (*Ultraviolet Coronagraph Spectrometer*)

- VIRGO (*Variability of Solar Irradiance and Gravity Oscillations*).

1998 TRACE (NASA) – 2 družice určené ke spolupráci se SOHO poskytující snímky Slunce s mnohem vyšším časovým a prostorovým rozlišením, byly vypuštěny v únoru. Určeny jsou pro studium 3D magnetického pole, pohybů plazmatu ve fotosféře, časové proměnnosti jemné struktury koróny a přechodové oblasti mezi chromosférou a korónou.

2001 Družice GOES 12 – *Geostationary Operational Enviromental Satellite* s zobrazujícím rentgenovým dalekohledem SXI byla vypuštěna dne 23.7.

2002 RHESSI (NASA) – dne 5. 2. byla vypuštěna družice určená pro současné zobrazování a spektroskopii slunečních erupcí v oboru rentgenového a gama záření od 3 keV do 17 MeV. Spektrální rozlišení se pohybuje od 1 keV do 100 keV u předního segmentu a od 3 keV – 1 MeV po 5 keV – 20 MeV u zadního segmentu; úhlové rozlišení jde od 2″ na 100 keV po 36″ na 1 MeV.

■

Nepokojné Slunce – oscilace, helioseismologie

1959 Robert Leighton, Robert Noyes a George Simon v USA objevili pětiminutové oscilace Slunce. To byl počátek helioseismologie a studia akustických vln ve Slunci. Na obrázku **(1)** pořízeném později jsou vzestupující oblasti vyznačeny modře a sestupující červeně – uprostřed disku je struktura jejich střídání nejzřetelnější, protože se pohybují k nám nebo od nás.

1962 Pětiminutové oscilace Slunce byly nezávisle objeveny též na Krymu

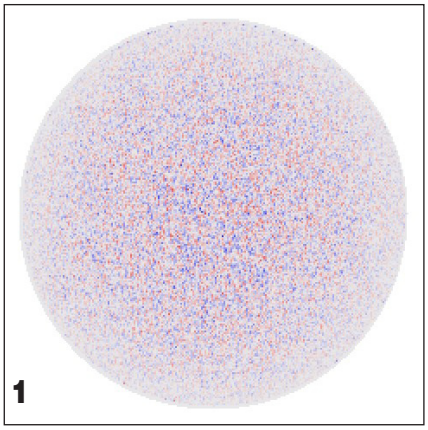
1970 Publikovány teorie vysvětlující oscilace

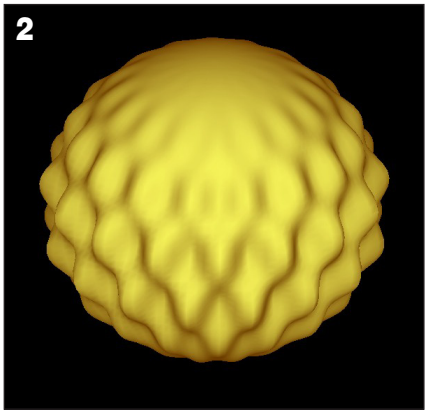
1975 Teorie potvrzeny pozorováním – jde o zvukové vlny v prostředí turbulentních proudů plazmatu pod povrchem Slunce, pod fotosférou, od níž se „odrážejí“ zpět do nitra, aby dosáhly povrchu znovu na jiném místě. Pod povrchem Slunce se tak šíří miliony různých modů těchto tlakových vibrací, p-modů. Obrázek **(2)** ukazuje jeden modus o relativně velké vlnové délce, s jeho kmitnami a sítí uzlových křivek.

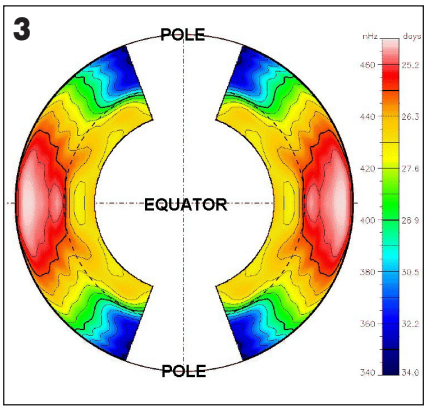
1990 V rozmezí několika let jsou teorie šíření zvukových vln a oscilace Slunce – helioseismologie – předmětem úspěšných teorií podpořených výsledky pozorování. Dopplerovské snímky Slunce a tyto teorie dovolují studovat stavbu nitra Slunce, v němž se vlny šíří. Obrázek **(3)** ukazuje rychlost rotace plazmatu v nitru Slunce a její závislost na poloze, červená barva znamená nejrychlejší rotaci a modrá nejpomalejší. Variace rotace ubývají s rostoucí hloubkou při přechodu do konvektivní zóny.

1995 Dokončena byla celosvětová síť pozorovacích stanic GONG – *Global Oscillation Network Group* – určená pro studium oscilací resp. pulsací Slunce, například oněch „pětiminutových“. Má na 130 členů ve 20 zemích. Jak se Země otáčí, jedna observatoř za druhou plynule navazují pozorování, takže se dosahuje prakticky nepřetržité monitorování Slunce. Každá stanice zaznamená denně na 200 MB dat. Na obrázku **(4)** jsou stanice uloženy vedle sebe kvůli jednotné kalibraci přístrojů před transportem na jejich místo určení.

■







Nemáte ještě předplacený Astropis? Předplaťte si jej!

Cena jednoho čísla pro předplatitele v ČR vyjde včetně poštovného na maximálně 59 Kč.

Předplatné pro ČR:

Astropis 5 čísel 295 Kč
Astropis 10 čísel 590 Kč

Zvýhodněné pro členy ČAS:

Astropis 5 čísel 275 Kč

Předplatné do zahraničí:

Astropis 5 čísel 545 Kč
Astropis 10 čísel 1090 Kč

Zvýhodněné pro SR:

Astropis 5 čísel 465 Sk
Astropis 10 čísel 930 Sk

Astropis si můžete objednat vyplněním objednávkového kuponu, e-mailem nebo prostřednictvím našich www stránek. Předplatné lze uhradit poštovní složenkou na adresu: Společnost Astropis, Štefánikova hvězdárna, Petřín 205, 118 46 Praha 1 nebo bankovním převodem na účet č. 1001112877/5500. V případě platby na náš účet nás prosím informujte o čísle Vašeho účtu nebo podrobnostech o platbě, abychom mohli Váš převod identifikovat.

Mount Wilson – místo zrodu moderní sluneční fyziky

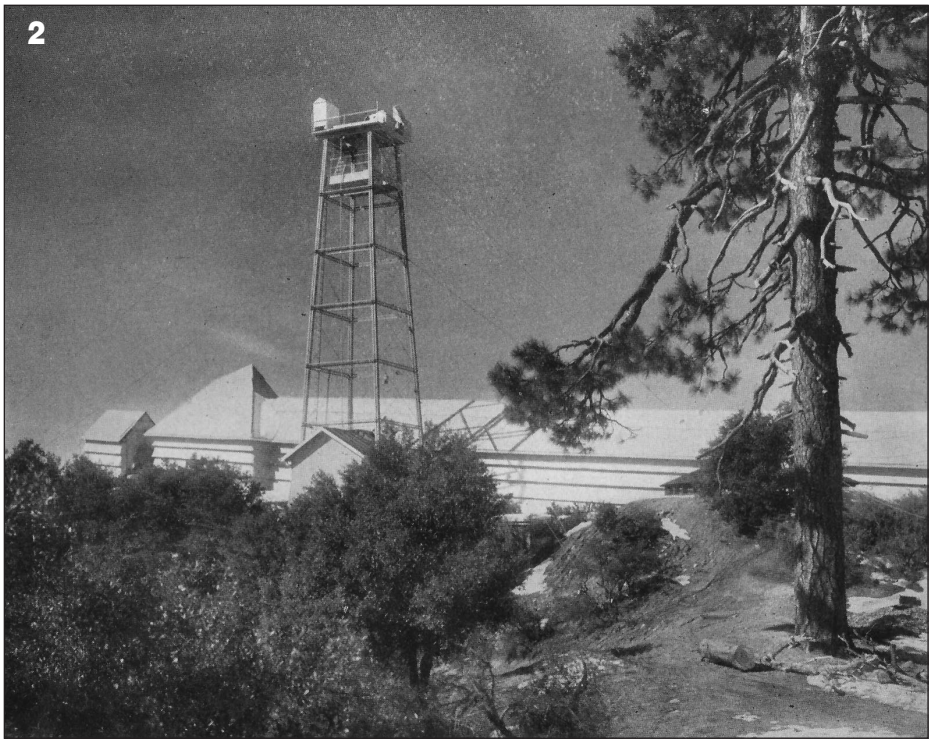
(**1**) Schéma horní části sluneční věže na hvězdárně Mt. Wilson. Heliostat ve výšce 22 m nad zemí se pohybuje po kolejích, obrazem Slunce je možno přejíždět přes štěrbinu spektrografu. Zrcadla byla zhotovena v dílně hvězdárny, práce vedl George W. Ritchey. Čočkový objektiv vyrobila firma Brashear, korigovaný je pro vizuální pozorování, má průměr 30,5 cm a ohniskovou vzdálenost 18,29 m.

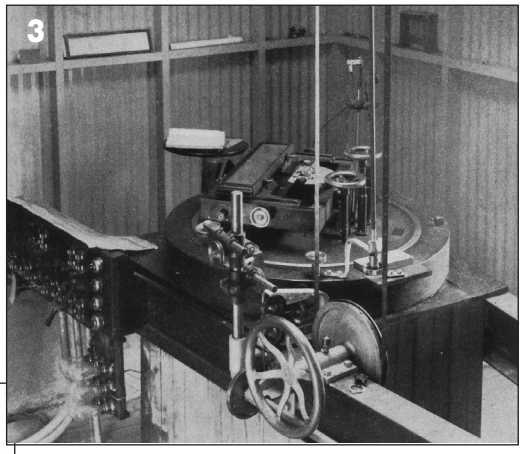
(**2**) Fotografie sluneční věže dokončené v roce 1908 na hvězdárně na Mt. Wilson. Kmity věže ve větru omezují úvazy 8 ocelových lan.

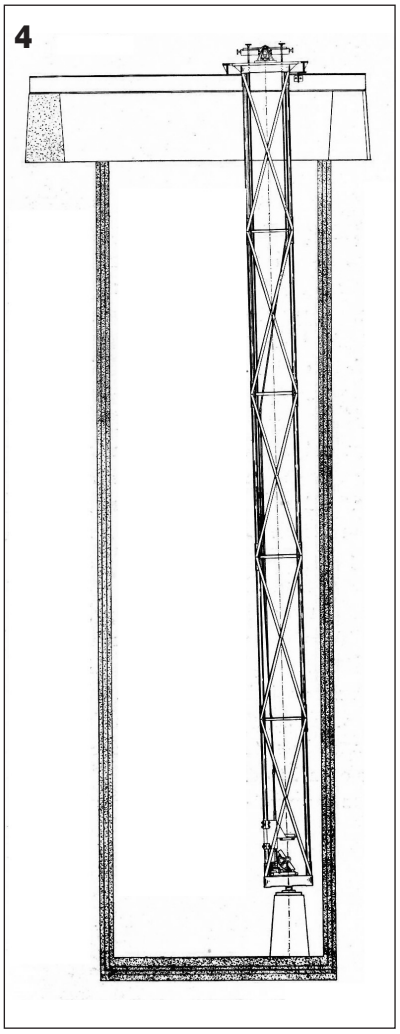
(**3**) Spektrograf Littrowova typu má Rowlandovu mřížku velikosti cca 10×10 cm, štěrbinu dlouhou 5,1 cm a spektrum se promítá na fotografickou desku dlouhou 43 cm.

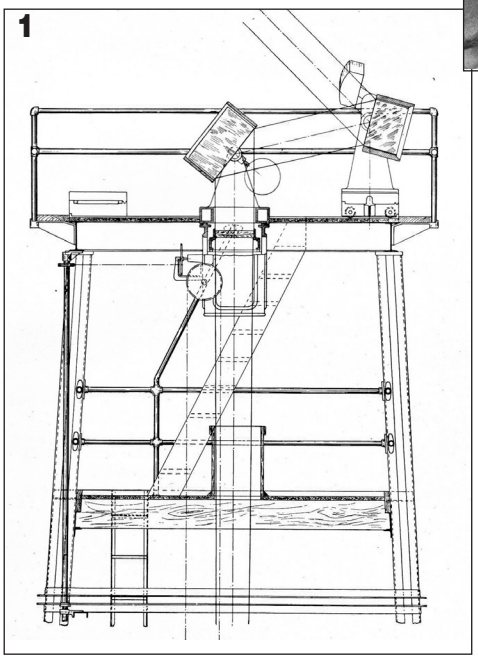
(**4**) Schéma podzemní části slunečního věžového teleskopu na hvězdárně na Mt. Wilson. (*Snímky 1–4 byly převzaty z článku: Hale G. E.: The tower telescope of the Mount Wilson solar observatory, Astrophysical Journal vol. 27, pp. 204–212, 1908*)

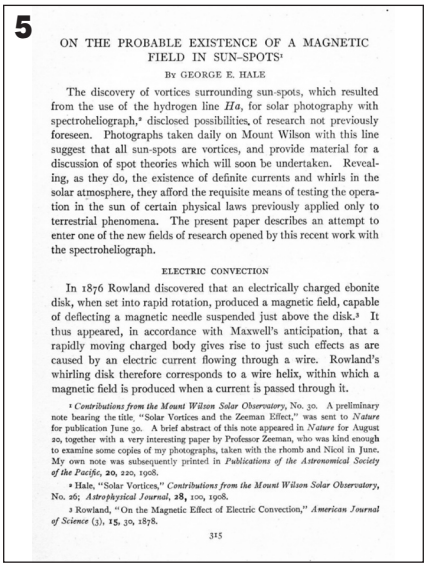
(**5**) Titulní stránka článku ze 7. 10. 1908, v němž George Ellery Hale oznamuje zjištění a charakter magnetických polí ve slunečních skvrnách. (*Astrophysical Journal vol. 28, pp. 315–343, 1908*) ■











ON THE PROBABLE EXISTENCE OF A MAGNETIC FIELD IN SUN-SPOTS[1]

By GEORGE E. HALE

The discovery of vortices surrounding sun-spots, which resulted from the use of the hydrogen line *Hα*, for solar photography with spectroheliograph,[2] disclosed possibilities, of research not previously foreseen. Photographs taken daily on Mount Wilson with this line suggest that all sun-spots are vortices, and provide material for a discussion of spot theories which will soon be undertaken. Revealing, as they do, the existence of definite currents and whirls in the solar atmosphere, they afford the requisite means of testing the operation in the sun of certain physical laws previously applied only to terrestrial phenomena. The present paper describes an attempt to enter one of the new fields of research opened by this recent work with the spectroheliograph.

ELECTRIC CONVECTION

In 1876 Rowland discovered that an electrically charged ebonite disk, when set into rapid rotation, produced a magnetic field, capable of deflecting a magnetic needle suspended just above the disk.[3] It thus appeared, in accordance with Maxwell's anticipation, that a rapidly moving charged body gives rise to just such effects as are caused by an electric current flowing through a wire. Rowland's whirling disk therefore corresponds to a wire helix, within which a magnetic field is produced when a current is passed through it.

[1] *Contributions from the Mount Wilson Solar Observatory*, No. 30. A preliminary note bearing the title, "Solar Vortices and the Zeeman Effect," was sent to *Nature* for publication June 30. A brief abstract of this note appeared in *Nature* for August 20, together with a very interesting paper by Professor Zeeman, who was kind enough to examine some copies of my photographs, taken with the rhomb and Nicol in June. My own note was subsequently printed in *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, **20**, 220, 1908.

[2] Hale, "Solar Vortices," *Contributions from the Mount Wilson Solar Observatory*, No. 26; *Astrophysical Journal*, **28**, 100, 1908.

[3] Rowland, "On the Magnetic Effect of Electric Convection," *American Journal of Science* (3), **15**, 30, 1878.

315