

# Historie astronomie II.

Vladimír Štefl

Ústav teoretické fyziky a astrofyziky

# Astronomie v starověku

počátky - 4 tis. př. n. l.

proč? určování času, orientace

zemědělská říční civilizace, plánování

průběh Měsíce, Slunce, každ → časové jednotky

den, synodický měsíc, tropický rok

↓  
29,53 d

↓  
365,2422 d

Mezopotámie, Čína, Egypt, západní Evropa

kalendář - souhrn pravidel pro průběh dní v roce;

rovně dlouhé periody - kalendář lunární, solární,

lunisolární - prostřední délka roku

význam astronomických pozorování - periodické jevy - <sup>periodické jevy -</sup> <sup>→ letovní</sup>

- zikkuraty - chaldejská civilizace, synodické období

dobry plavit, délka synodického měsíce,

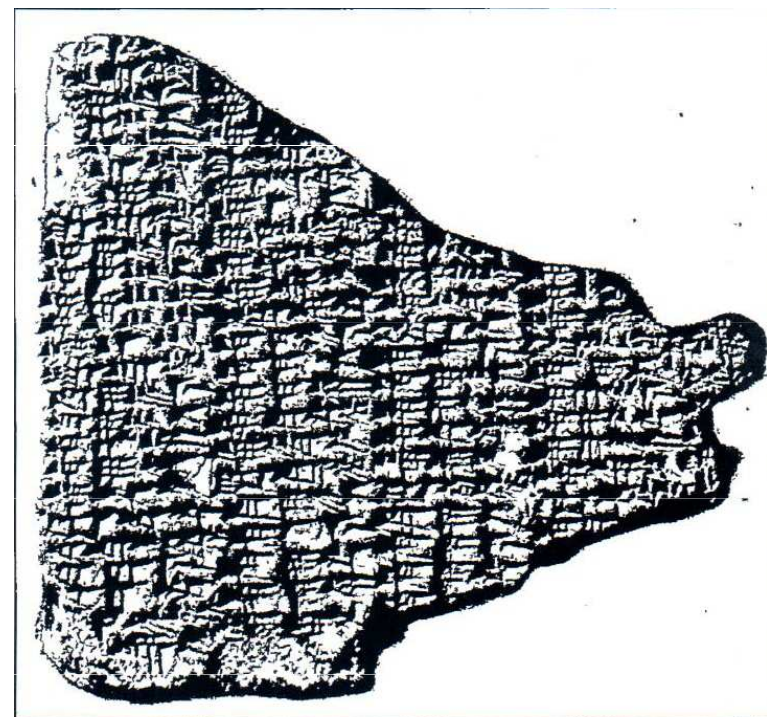
klínopisný zápis o úplném zatmění Slunce

15. 6. 763 př. n. l.



# Astronomie v starověku

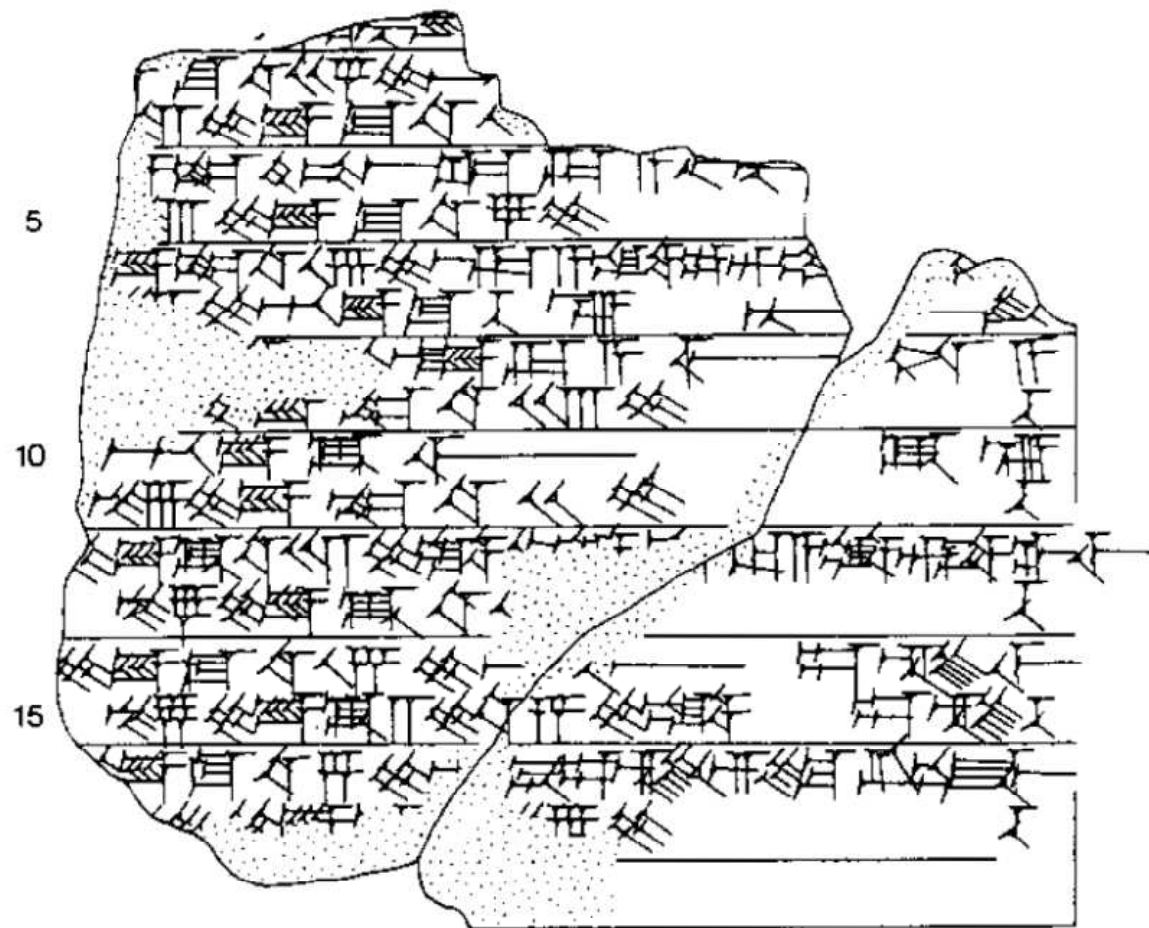
## Říční civilizace



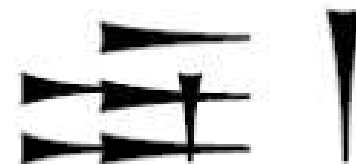
▲ Obr. 1 - Nejstarší známý klínopisný záznam o slunečním zatmění s přesným datem (15. června 763 před Kristem).

# Pozorování planet v Babylónii

Starověký Babylón: pozorování nerovnoměrností - anomálií v pohybu planet, záznamy \* (652 – 60) př. n. l.



Saturn: GENNA = TUR + DIŠ → *malá*



\* Sachs, A.J., Hunger, H.: *Astronomical Diaries and Related Texts from Babylonia*. Verlag der Osterreichischen Akademie der Wissenschaften. Wien 1988.



# Pozorování Saturnu v Babylónii



\* Steele, J. M.: A Saturn ephemeris calculated using system a from Babylon. *JHA* **33** (2002), p. 261 – 264.

# Saturn - pozorování, dráhové parametry

- Saturn: nejlépe **pozorovatelný při opozici**,  $180^\circ$  od Slunce, nejbliže Zemi, sledovatelný celou noc
- zeměpisná šířka místa pozorování  $\varphi$ ,  $\delta$  deklinace planety, výška nad horizontem při horní kulminaci  $h = 90^\circ - \varphi + \delta$ , největší výšky **v zimních opozicích**
- **nejvzdálenější tehdy známá planeta, ale dobře sledovatelná, pozorovaná hvězdná velikost (1,4 - 0,4) mag**
- pohybuje se z planet nejpomaleji (III. Keplerův zákon)

## Dráhové parametry:

úhel mezi dráhovými rovinami Země a Saturnu	$i = 2,4845^\circ$
velikost velké poloosy dráhy Země	$a_Z = 1,0000 \text{ au}$
velikost velké poloosy dráhy Saturnu	$a_S = 9,5370 \text{ au}$
excentricita dráhy Země	$e_Z = 0,0167$
excentricita dráhy Saturnu	$e_S = 0,0541.$



# Pozorování Saturnu v Babylónii

Pozorovány dvě anomálie (nerovnosti) pohybu Saturnu podél ekliptiky

- tzv. **zodiakální anomálie**, nerovnoměrný pohyb Saturnu po keplerovské elipse - podél ekliptiky: za stejné časové intervaly rozdílné úseky  
→ sledována **změna rychlosti** středního pohybu planety v závislosti na ekliptikální délce.
- nápadnější druhou anomálií tzv. **sluneční anomálií** Saturnu byly **pozorované - zdánlivé zpětné smyčky** při pohybu podél ekliptiky proti základnímu přímému pohybu východním směrem → důsledek ročního pohybu Země
- **objasnění anomálií** → **klíč k osvojení planetárních pohybů \***

**Anomálie** vyloženy v Almagestu v rámci geocentrické soustavy.

\* Walker, C.B.F.: Babylonian observations of Saturn during the reign of Kandalanu. Ancient Astronomy and Celestial Divination, London 1999.

# Pozorování Saturnu - Almagest

**Teorie pohybu planet v délce je v deváté až dvanácté knize, pohyb Saturnu:**

11.5. Určování excentricity a polohy apogea Saturnu

11.6. Určování velikosti epicyklu Saturnu

11.7. Oprava periodických pohybů Saturnu

11.8. O době periodických pohybů Saturnu

12.2. Určování zpětných pohybů Saturnu.

**Stanovení dráhových parametrů Saturnu** - druhá polovina jedenácté knihy. Ptolemaios používá **stejnou metodu jako při výkladu pohybu Marsu** v sedmé kapitole desáté knihy **a Jupitera** v první kapitole jedenácté knihy. **Určuje velikost excentricity a délku apogea deferentu, po kterém se přemísťuje střed epicyklu.** Kružnice určena třemi body, Ptolemaios použil tři pozorovací údaje ekliptikálních délek planet a časové intervaly mezi jednotlivými pozorováními. Z tabulek středních pohybů planet našel odpovídající přírůstky ekliptikálních délek.



# Model pohybu Saturnu

**Model pohybu planet** - představa, pohyb v délce zachycen prostřednictvím pohybu středu epicyklu po deferentu, pohyb v anomálii - pohyb po epicyklu.

**Vyjádření modelu** vhodné numerické hodnoty parametrů, co nejpřesnějšímu zachycení pozorovacích údajů u Saturna.

**K určení úhlové rychlosti pohybu Saturnu po epicyklu a pohybu středů epicyklů (středních planet) po deferentu Ptolemaios** využil pozorovací údaje následně uvedené.

**Výsledek: vztah mezi počtem synodických oběžných dob Saturnu a počtem úplných period přesunu planety na pozadí hvězd, tj. počtem siderických oběžných dob:**

**57 synodických oběžných dob = 59 roků + 1 3/4 dne = dvě siderické oběžné doby + 1 ° 43'.**

Při zanedbání menších hodnot **synodická oběžná doba  $S = 59/57$  roků, tedy 378,06 dne → střední denní rychlost pohybu planety 0,952 °.**

# Pozorování Saturnu v Almagestu

Zmiňováno pět pozorování Saturnu, první čtyři Ptolemaios, páté neznámý babylónský pozorovatel

Pozorování	Místo	Ekliptikální délka	Datum
P1	Alexandrie	181 ° 13'	* 26. března 127 n. l.
P2	Alexandrie	249 ° 40'	* 3. června 133 n. l.
P3	Alexandrie	284 ° 14'	* 8. července 136 n. l.
P4	Alexandrie	309 ° 4'	22. prosince 138 n. l.
P5	Mezopotámie	159 ° 30'	1. března 229 př. n. l.,

**První tři pozorování** - poloha v **opozici planety**, úvodní z nich je noční. Dvě další P2, P3 odpovídají denní době, ekliptikální délky **Ptolemaiose**m odvozeny interpolací mezi předcházejícím a následujícím nočním pozorováním. Čtvrté pozorování P 4 je opět noční.

\* použity později Koperníkem v Oběžích

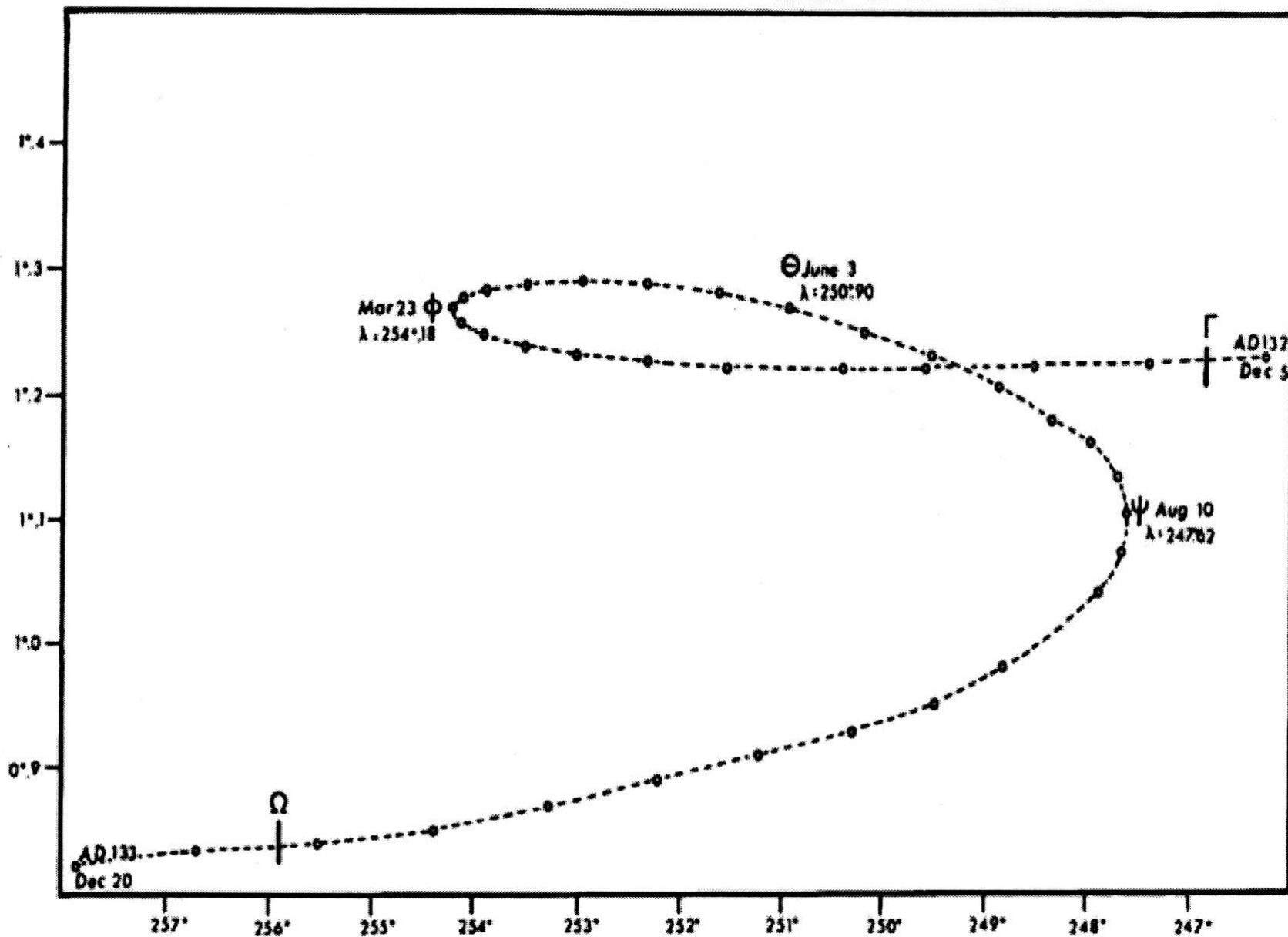


# Pozorovaná smyčka Saturnu v červnu 133 n.l.

P2 Alexandrie

249 ° 40'

\* 3. června 133 n. l.



# Pohyb Saturnu v Almagestu

Sedmá kapitola jedenácté knihy, je tzv. **korekční**, využívá popsané páté pozorování, časově velmi vzdálené

Shrnuto **model pohybu Saturnu a jeho dráhy v Almagestu vycházel ze čtyř pozorování**, pokrývajících pouze 35 % z celkové oběžné doby, tedy asi 10,5 roku.

Je pravděpodobné, že **Ptolemaios** měl k dispozici více pozorovacích údajů, ale vybral pouze **čtyři**, které byly **nejvhodnější k výpočtu dráhových parametrů**.

# Tabulky poloh Saturnu v Almagestu – 9. stol.

vpravo překlad levé části

Tables of mean motions in longitude and anomaly of the five stars								Anomaly at epoch: 34° 2'							
Saturn: Eighteen-year periods								Apogee at epoch: Scorpion 14° 10'							
Longitude at epoch: Goat 26° 43'															
18's	Degrees of Longitude							Degrees of Anomaly							
18	220	1	10	57	9	4	30	135	36	14	39	11	30	0	
36	80	2	21	54	18	9	0	271	12	29	18	23	0	0	
54	300	3	32	51	27	13	30	46	48	43	57	34	30	0	
72	160	4	43	48	36	18	0	182	24	58	36	46	0	0	
90	20	5	54	45	45	22	30	318	1	13	15	57	30	0	
108	240	7	5	42	54	27	0	93	37	27	55	9	0	0	

$$220^{\circ} 01' 10'' 57''' 9^{\text{IV}} 04^{\text{V}} 30^{\text{VI}}$$

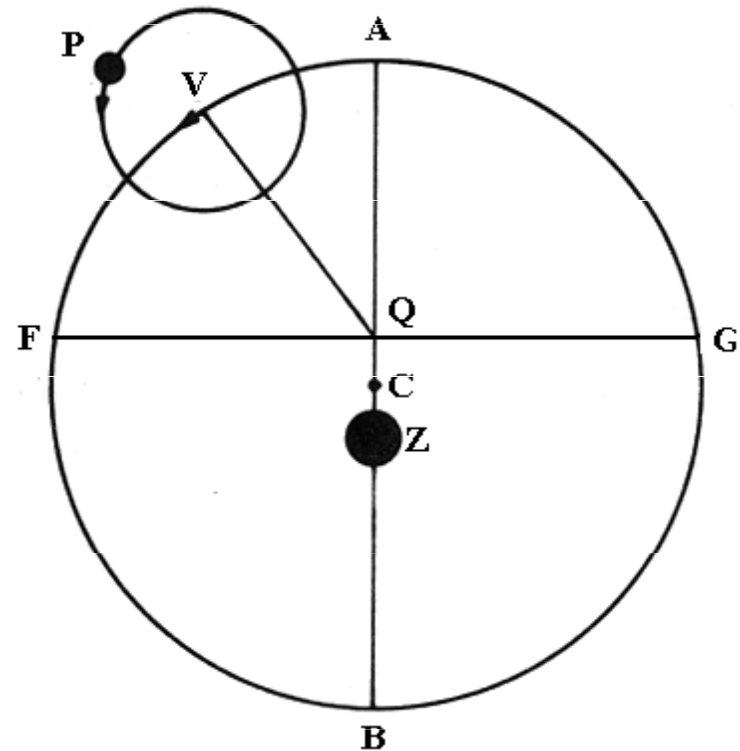
střední pohyb Saturnu v délce (pohyb středu epicyklu po deferentu)  
 v anomálii (pohyb planet po epicyklu)  
 pohyby zachyceny v čase 18 egypt. roků

# Pohyb Saturnu podle Almagestu

Poměr velikostí poloměrů epicyklu a deferentu pro Saturn 0,103

nerovnoměrnost pohybu = deferent, epicykl + **ekvant**

pro vnější planetu **Saturn**  
je deferent její vlastní drahou,  
epicykl odráží dráhu Země  
oběžné doby:  
deferent - 30 roků  
epicykl - 1 rok



**ekvant:** hyp. pozorovatel v Q - pohyb  
středu epicyklu V stálou úhlovou rychlostí

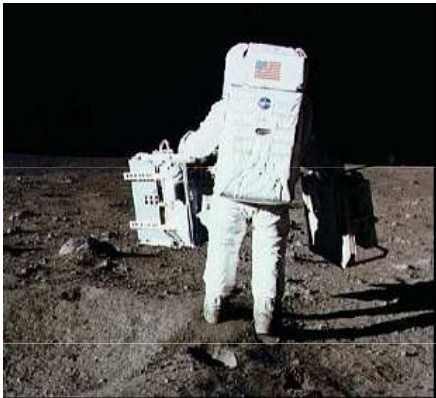
# Vzdalování Měsíce od Země

vzdaluje se o 37 mm.rok<sup>-1</sup>

rychlost -  $1 \cdot 10^{-9}$  m.s<sup>-1</sup>

zvětšování doby rotace Země

laserové odražeče



Apollo 14





# Zpomalování zemské rotace – historická zatmění

babylónská kronika: úplné zatmění Slunce 15. dubna 136

př.n.l. V 8 hod. 45 minut – **Babylon**

vypočtený pás totality měl ležet nad Mallorkou, rozdíl zeměpisné délky  $3 \frac{1}{4}$  hod.

**důvod – tehdy větší úhlová rychlost rotace Země, postupně se zpomalovala, den se průměrně prodlužuje o 0,0016 s za století**

Podrobnější rozbor:

F. R. Stephenson: *Historical Eclipses and Earth's Rotation*.  
Cambridge University Press, Cambridge 1997.

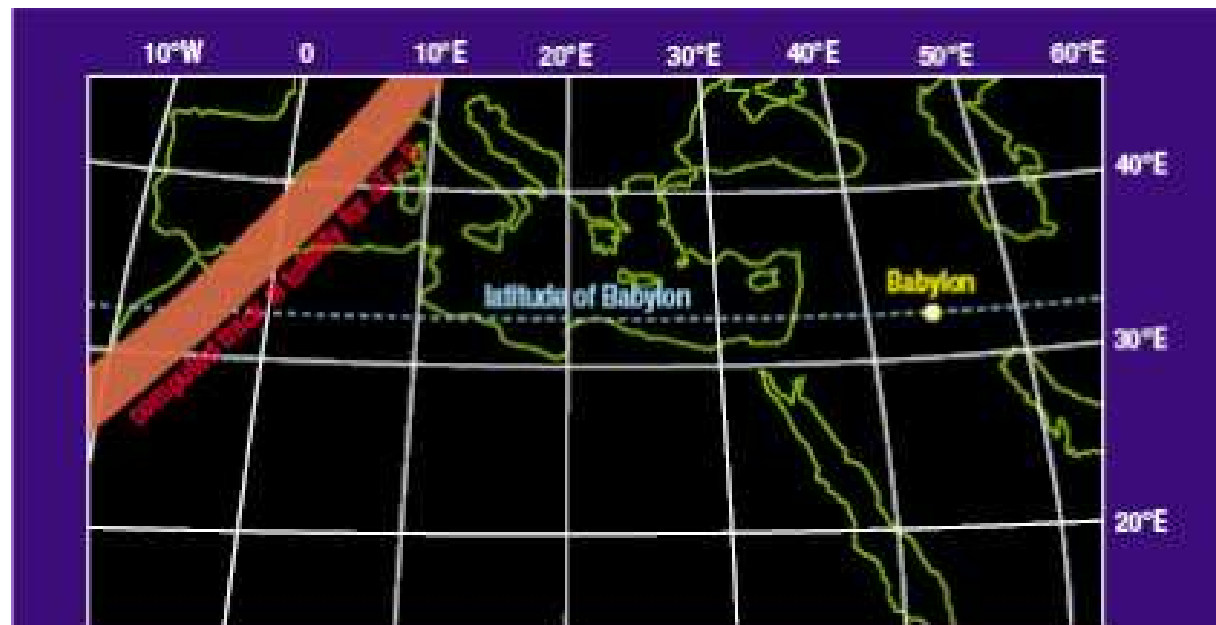
# Zpomalování zemské rotace – historická zatmění

za 100 roků by se hodiny jdou rovnoměrně předběhly  
oproti zemské rotaci o  $\Delta t \times 36525 = 29 \text{ s}$

za 2 000 roků rozdíl činí 3 hod 15 m ... 40°



3: Late Babylonian astronomical tablet containing a record of the total solar eclipse of 15 April in 136 BC. See text for translation. (Courtesy: British Museum)



4: Computed track of totality for the eclipse of 15 April in 136 BC, assuming a fixed length of day ( $\Delta T = 0$ ). This track lies more than 50° to the west of Babylon, where totality was actually observed.

# Astronomie v starověku

- izabonový vývoj v Číně - mapa oblohy - souhvězdí;  
zřetelný o zetařívole slunce např. 2137 př.n.l.  
o periodní komet či supernovy r. 1054 n.l.
- předek zápleo Nilu, heliakický výhled Siria  
"Sotis", 36 souhvězdí... roční kalendář 2. tisíc. př.n.l.  
Alexandrie - splynutí egyptské a řecké astronomie
- Stonehenge, Woodhenge atd... orientace v čase  
2 tisíc. př.n.l.

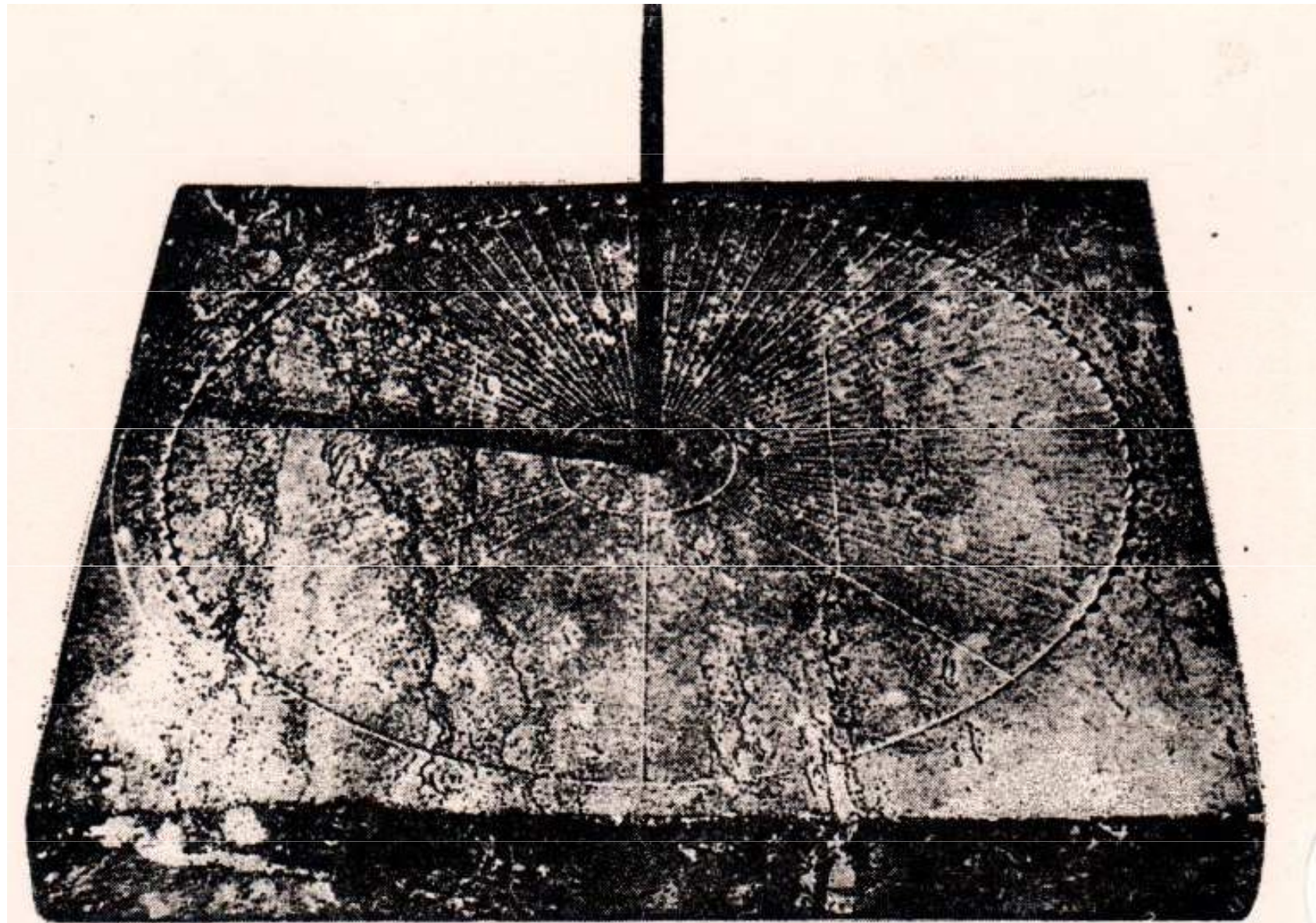
# Astronomie v starověku - Čína

Důkazy o astronomických pozorováních doložené na území dnešní Číny se datují již do dynastie Šang (商朝; šang čcháo, od 1554 – 1046 p.n.l.). U dnešního města Anjang (安阳) v bývalém hlavním městě Šangov – Jin (殷) sa v královské hrobce vládce Wu-Tinga (武丁; 14.-13. stor. p.n.l.) našly tzv. vešdecké kosti, na kterých byly napsaná jména hvězd. Přibližně z tohoto období pochází první dělení oblohy na „dómy“ (宿; siou) nebo „zastavení“ Měsíce. V dané oblasti už tehdy používali měsíční kalendář, tzv. čtyřech období, který rozděloval rok na 12 měsíců po 30 dní.

Pohyb Měsíce, východy hvězd v průběhu roku měly v Číně důležitý význam pro zemědělství. S postupem vývoje čínské přírodní filozofie a kosmologie se obloha začala popisovat pomocí pozemských objektů a osob. Vznikly starověké asterizmy - „hvězdní úředníci“ (星官; sing kuan), což se v tradici zachovalo do dnešních dnů. Vedle toho se v Číně používají i moderní souhvězdí IAU.



# Astronomie v Číně



Slnčné hodiny z epochy Han pochádzajú z doby na prelome letopočtov. Číňania na nich dokázali odčítať svoj čas s neuveriteľnou presnosťou.



# Astronomie v Číně

*„Znalost vychází od stínu a stín pochází od gnomonu“.... čínské přísloví*

Údaje kroniky *Zhoubi* uvádějí pozorování Slunce čínských astronomů prostřednictvím gnomonu o výšce 8 chi (jde o délkovou jednotku 1 chi = 10 cun, 1 cun  $\cong$  2,44 cm). Při letním slunovratu činila délka jeho stínu 1,60 chi, zatímco při zimním slunovratu 13,50 chi. Určete z těchto údajů zeměpisnou šířku místa pozorování a tehdejší sklon ekliptiky. Budeme zanedbávat korekce spojené s atmosférickou refrakcí a poloměrem Slunce. Pro výšku Slunce používáme vztah  $h = 90^\circ + \varepsilon - \varphi$  při letním slunovratu, zatímco při zimním platí

$h = 90^\circ - \varepsilon - \varphi$ . Úpravou obdržíme

$$\varphi = 90^\circ - \frac{h_{\max} + h_{\min}}{2} \quad \text{a} \quad \varepsilon = \frac{h_{\max} - h_{\min}}{2}. \quad \text{Na}$$

obrázku je typický gnómon o výšce 1,95 m zhotovený z bronzu.

Řešení: Platí vztah  $\operatorname{tgh} = \frac{L}{l}$ , kde  $L$  je výška gnómonu a  $l$  délka stínu. Odtud vypočítáme



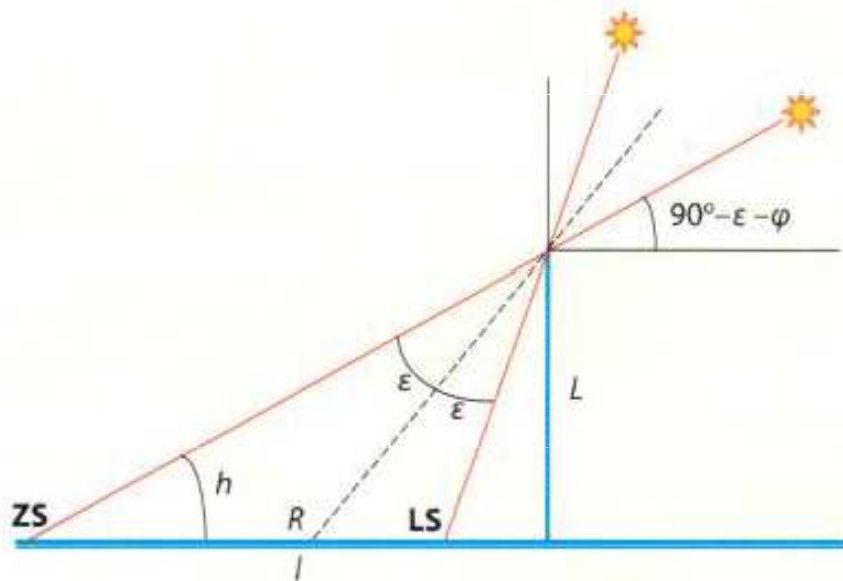
# Astronomie v Číně

začneme starověkem.

## Znalost pochází od stínu a stín od gnómonu

(Chou-pei Suan-king, 1100 př. n. l.)

V záznamech kroniky Zhoubi jsou zachyceny údaje o pozorování Slunce čínskými astronomy v období před naším letopočtem za použití gnómonu o výšce osmi chi (jde o délkovou jednotku 1 chi = 10 cun, 1 cun  $\equiv$  2,44 cm). Při letním slunovratu činila délka jeho stínu 1,70 chi, zatímco při zimním slunovratu 13,60 chi.



Obr. 1 Schéma gnómonu.

## Uloha

Stanovte z výše uvedených údajů zeměpisnou šířku místa pozorování a tehdejší sklon ekliptiky.

## Řešení

Korekce spojené s atmosférickou refrakcí a poloměrem Slunce budeme zanedbávat. Pro výšku Slunce používáme vztah  $h_{\max} = 90^\circ + \varepsilon - \varphi$  při letním slunovratu (LS), zatímco při zimním (ZS) platí  $h_{\min} = 90^\circ - \varepsilon - \varphi$ , viz obr. 1. Úpravou obdržíme  $\varphi = 90^\circ - \frac{h_{\max} + h_{\min}}{2}$  a  $\varepsilon = \frac{h_{\max} - h_{\min}}{2}$ . Na obr. 2 je zachycen čínský gnómon z bronzu o výšce 8 chi, tj. 1,95 m.

Pomocí dnes používané trigonometrické funkce tangens můžeme zapsat vztah  $\text{tg } h = \frac{L}{l}$ , kde  $L$  je výška gnómonu a  $l$  délka jeho stínu. Dosazením určíme výšku Slunce při zimním slunovratu  $h_{\min} = 30^\circ 27' 36''$  a letním slunovratu  $h_{\max} = 78^\circ 00' 13''$ ,  $\varphi = 90^\circ - \frac{h_{\max} + h_{\min}}{2} = 35^\circ 46' 18''$ . Podle analýzy v [1] bylo pravděpodobným místem pozorování severní okolí nynějšího velkoměsta Luoyang, ležícího na zeměpisné šířce  $\varphi = 34^\circ 40' 11''$ . Hodnota určeného sklonu ekliptiky činila  $\varepsilon = \frac{h_{\max} - h_{\min}}{2} = 23^\circ 47' 18''$ .

V roce 1976 schválila Mezinárodní astronomická unie (IAU) empirický vztah pro výpočet sklonu ekliptiky  $\varepsilon =$

# Astronomie v Číně

$23^{\circ}26'21,488'' - 46,8150'' T - 0,00059'' T^2 + 0,001813'' T^3$ ,  
kde  $T$  je juliánské století od roku 2000. Dosazením  
5. stol. př. n. l. obdržíme  $\varepsilon = 23^{\circ}45'24''$ , což je v re-  
lativně dobrém souladu hodnotou  $\varepsilon$  určenou pomocí  
gnómonu. Rozbor čínských pozorování Slunce a jejich  
přesnosti nalezneme v české publikaci [2].

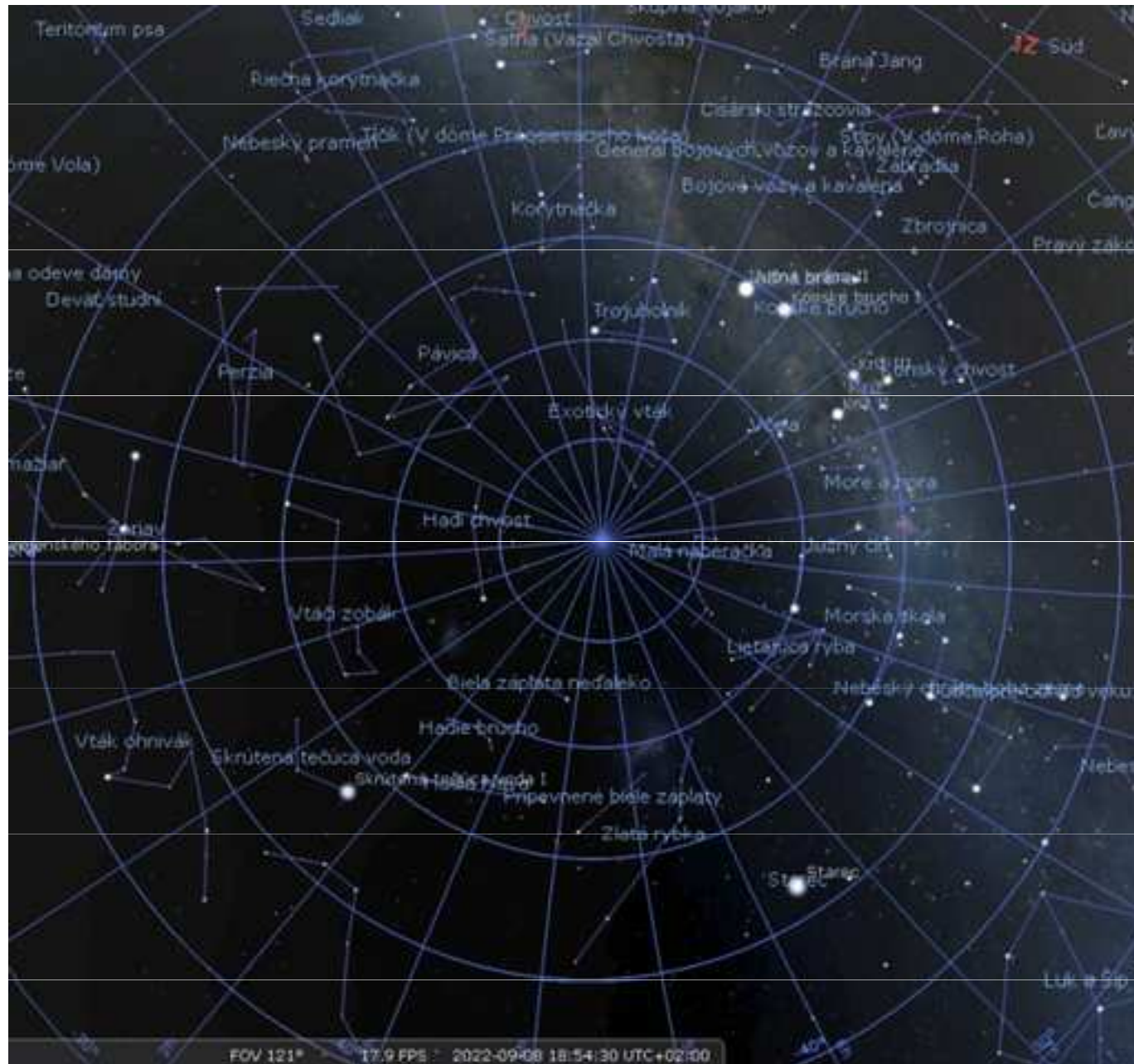
počátky čínské astronomie 3. tisíciletí př. n. l. existence záznamů  
slunečních zatmění 2 697 př. n. l., z období 2 315 - 2 287 př. n. l.  
záznamy pozorování komet, státní letopisy, kroniky

tvorba kalendáře, 12 měsíců po 29,5 dnech – délka roku 354 dnů,  
přechod k celoročnímu zemědělství, závislost na monzunech, délka  
roku zpřesněna na 365,25 dne.

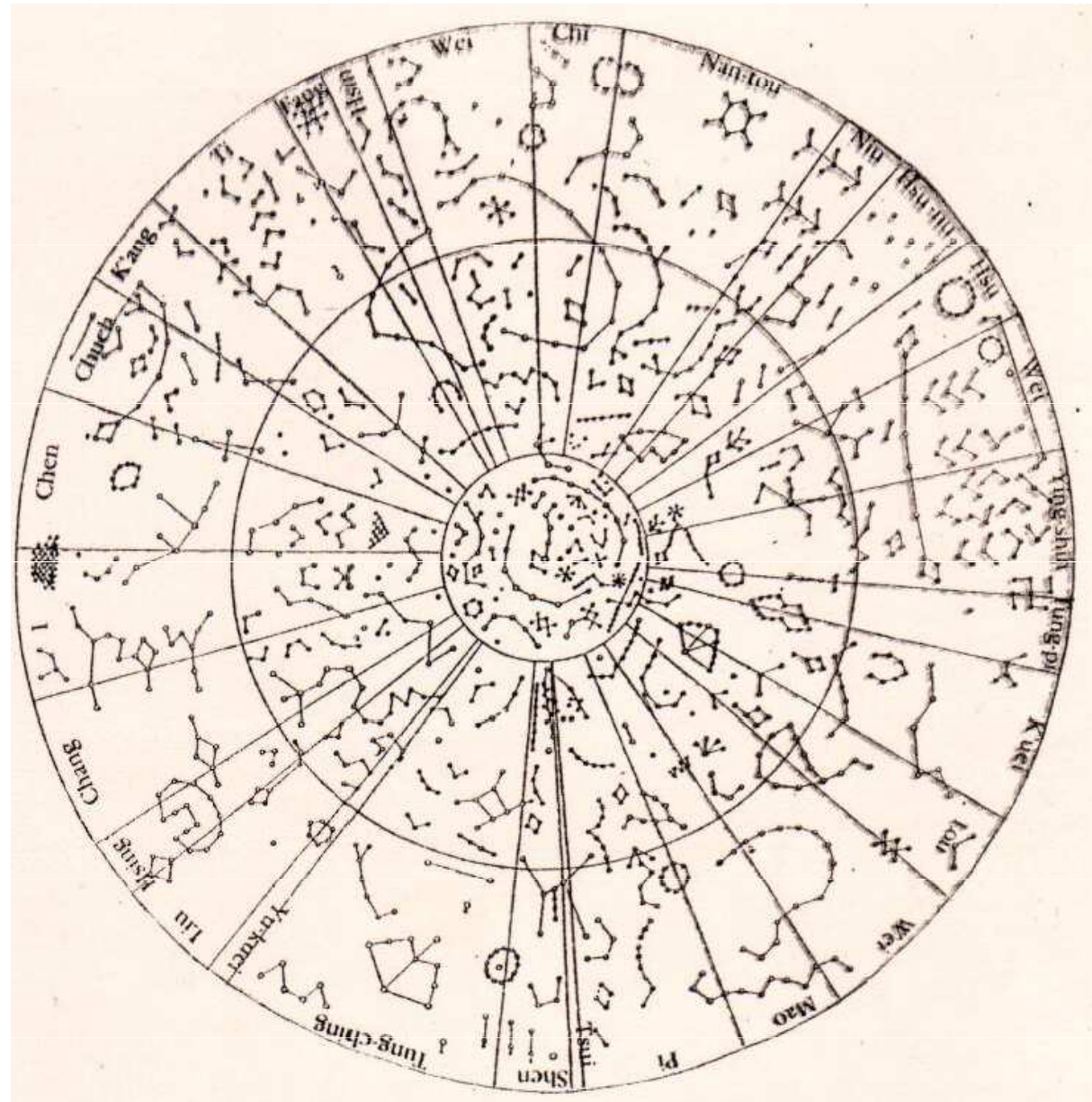
•



# Astronomie v Číně



# Astronomie v Číně





# Krabí mlhovina – historie, Čína

**M 1**

**NGC 1952**

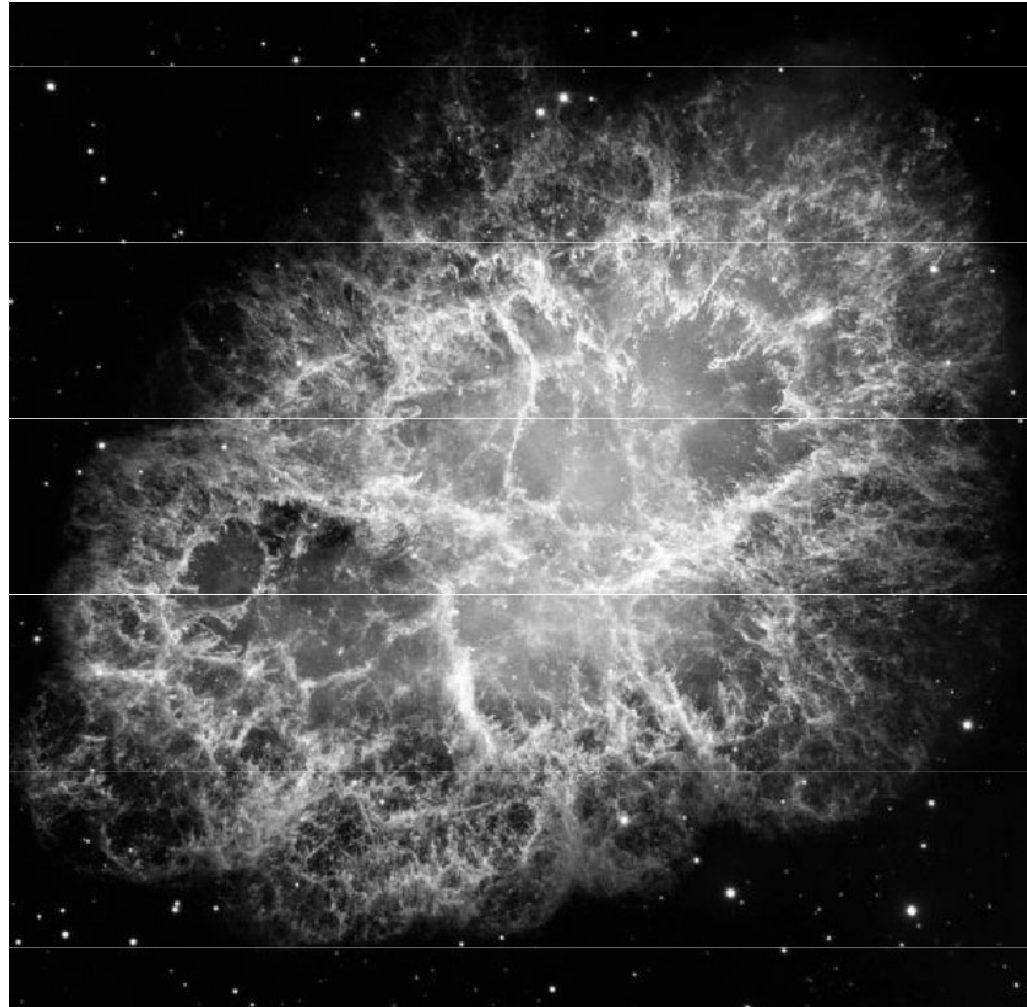
**1,8 kpc**

**8,4 mag**

**180 pc od gal. roviny**

**11 kpc od gal. středu**

**vlastní pohyb 0,037“rok<sup>-1</sup>**



Proč a **kdy** mlhovina vznikla?

# Historické záznamy pozorování exploze supernovy r.1054

凡十一日没三年三月乙巳出東南方大中祥符四  
 年正月丁丑見南斗魁前天禧五年四月丙辰出軒轅  
 前星西北大如桃速行經軒轅太星入太微垣掩右執  
 法犯次將歷屏星西北凡七十五日入濁没明道元  
 年六月乙巳出東北方近濁有芒彗至丁巳凡十三  
 日没至和元年五月己丑出天關東南可數寸歲餘  
 稍没熙寧二年六月丙辰出箕度中至七月丁卯犯  
 箕乃散三年十一月丁未出天囷元祐六年十一月  
 辛亥出參度中犯掩側星壬子犯九游星十二月癸  
 酉入奎至七年三月辛亥乃散紹興八年五月守婁

漢書卷之九十四  
 卷之九十四  
 漢書卷之九十四  
 漢書卷之九十四

٢٤٣

انباء المصريين وحدث بين ابن بطران وابن رشوان وفائع كثيرة في ذلك الوقت وتوارد  
 نظر بين تلامذتهم فائدة وقد تضمن كثيرا من هذه الاشياء كتاب الله ابن بطران بعد  
 خروجهم من دار مصر واجتماعه ابن رشوان ولابن رشوان كتاب في الرد عليه وكان ابن  
 بطران أعذب الفاظا وأكثر نظرا وأميز في الادب وما يتهنئه وما يدل على ذلك ما ذكره  
 في رسالته التي وجهها بدعوة الاطباء وكان ابن رشوان ألب وأعلم بالعلوم الحكيمية وما  
 يتعلق بها وكان ابن رشوان أسود اللون ولم يكن بالجبل الصورة ولم يخاله في ذلك يومها  
 على من غيره، ومع الخلق وقد بين فيهم ابراهيم أن الطبيب القائل لا يجب أن يكون وجهه  
 جيلا وكان ابن بطران أكثر ما يقع في علي بن رشوان من هذا القبيل وأشبهاه ولذلك يقول  
 فيه في الرسالة التي وجهها بدعوة الاطباء (الطويل)

فلما ابتدئ للقول بوجهه \* تكلم على أعقابهم من الندم  
 وقولنا ونحن الكلام تسترنا \* الا ليتنا كنا نركاه في الرحم  
 وكان يلقبه بتمساح الجبل وسافر ابن بطران من دار مصر الى القسطنطينية وأقام بها سنة  
 وعشر في زمنه أو بآء كثيرة (وقالت) من خطبه فيما ذكره من ذلك ما هذا ما قاله  
 ومن مشاهد الاوباء في زماننا الذي عرض عند طلوع الكوكب الاثري في الجزء من  
 سنة ست وأربعين وأربعمائة فان في تلك السنة دفن في كنيسة لوقا بعد أن امتلأ جميع  
 الدفن التي في القسطنطينية أربعة عشر ألف نسمة في الخريف فلما توسط الصيف  
 في سنة سبع وأربعين لبوف النيل غمات في القسطنطينية والشام أكثر أهلها وجميع القرى  
 الامن شاء الله وانتقل الوباء الى العراق فأتى على أكثر أهلها واستولى عليه الطراب  
 بطرق العساكر المتعادية واتصل ذلك بها الى سنة أربع وخمسين وأربعمائة وعرض  
 للناس في أكثر البلاد فروع سوداوية وأورام الطحال وتفسير ترتيب نواب الحصان  
 واضطرب نظام البصرين باختلاف علم القضاء في تقدمه المعرفة وقال أيضا بعد ذلك  
 ولان هذا الكوكب الاثري طلع في برج الجوزاء وهو مطلع مصر وأتم الوباء في القسطنطينية  
 بتحصان النيل في وقت ظهوره في سنة خمس وأربعين وأربعمائة ومع انذار طليطوس  
 القائل انزل الوباء من مصر اذا طلع أحد ذوات الذوائب وانضم في الجوزاء وانزل  
 زحل برج السرطان تكامل خراب العراق والموصل والجزيرة واختلت ديار بكر وروسة  
 ومصر وقارص وكرمان وبلاد القرب واليمن والقسطنطينية والشام واضطربت أحوال  
 ملوك الارض وكثرت الحروب والنسلا والوباء ومع حكم بطلميوس في قوله ان زحل  
 والمرجى في اقتران السرطان زلزال العالم (وقالت) أيضا من خط ابن بطران فيما ذكره  
 من الاوباء العظيمة العارضة للعالم بتقدم العلماء في زمانه قال ما عرض في مدة بضع عشرة  
 سنة ببقاة الاجل المرتضى والشج أبي الحسن البصري والقمييه أبي الحسن القديري  
 وأقضى القضاة الساموردي وابن الطبيب الطبري على جماعتهم رشوان الله ومن اصحاب  
 علوم الله سماه أبو علي بن الهيثم وأبو سعيد البعالي وأبو علي بن السمع وساعد الطبيب

Iba Yasuaki



# Čínský historický záznam pozorování supernovy r. 1054

Tchuo – Tchuo: „*V prvním roce éry Č'-che (1054), v pátém měsíci, v den ti-čchou (4. července), se (hvězda – host) objevila několik palců jihovýchodně od Tchien-kuan (Dzeta Tauri).*“

**Biot Édouarde 1843**

**Connaisance des Temps**

**Historický rozbor textu Duyvendak,**

**J. J. L r. 1942, PASP, 54, 91.**

凡十一日没三年三月乙巳出東南方大中祥符四年正月丁丑見南斗魁前天禧五年四月丙辰出軒轅前星西北大如桃速行經軒轅太星入太微垣掩右執法犯次將歷屏星西北凡七十五日入濁没明道元年六月乙巳出東北方近濁有芒彗至丁巳凡十三日没至和元年五月己丑出天關東南可數寸歲餘稍没熙寧二年六月丙辰出箕度中至七月丁卯犯箕乃散三年十一月丁未出天囷元祐六年十一月辛亥出參度中犯掩側星壬子犯九游星十二月癸酉入奎至七年三月辛亥乃散紹興八年五月守婁

# Pozorování supernovy r. 1054

pozorována 3 týdny ve dne  
téměř dva roky v noci

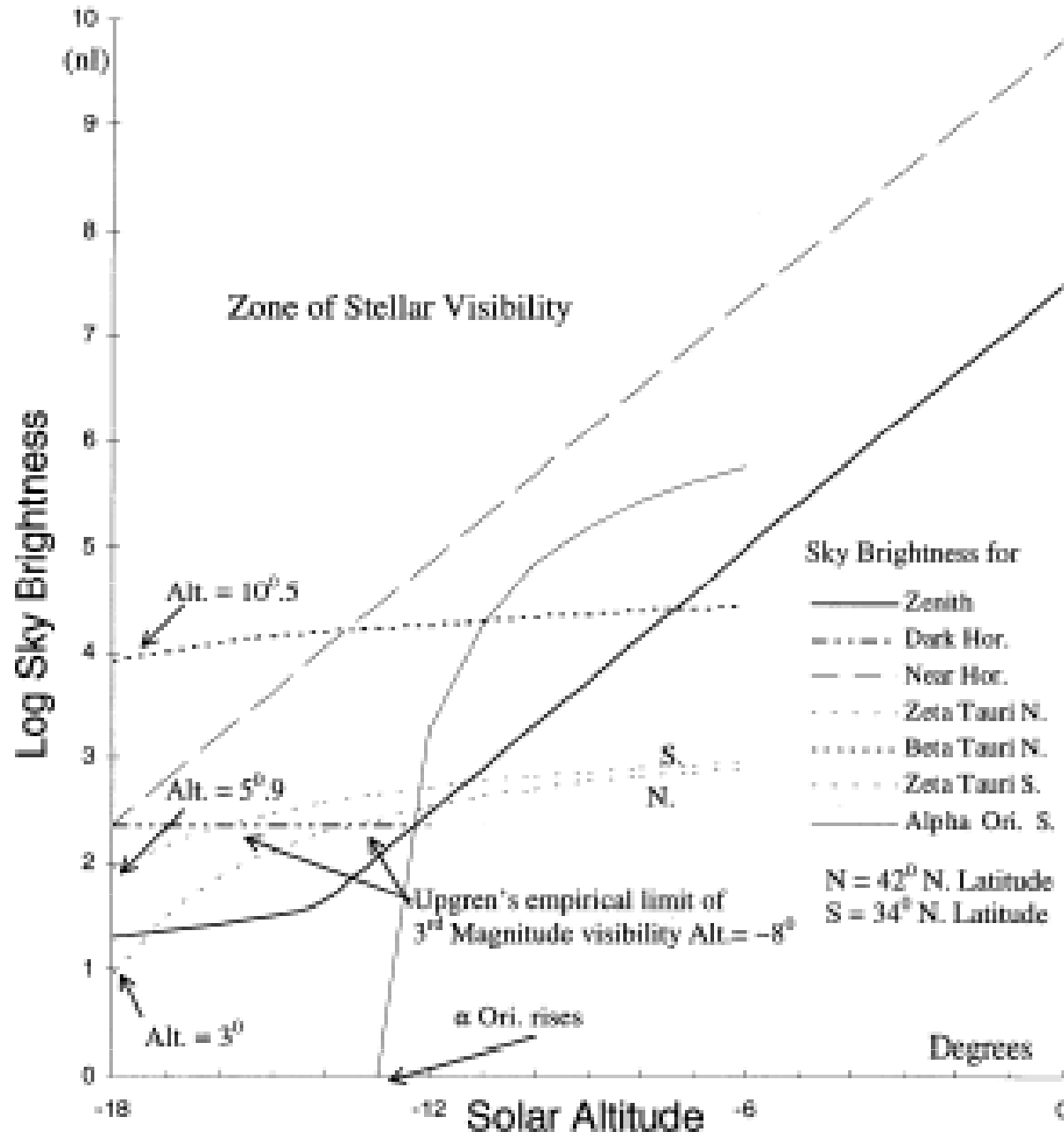
*Aldebaran*

*Pleiades*

rekonstrukce světelné křivky supernovy  
odhadované údaje: 27. července  $m_v - 3.5 \text{ mag}$   
615 dnů  $m_v (6.0 \pm 0.5) \text{ mag}$   
atypická supernova

# Identifikace hvězdy ζ Tauri

## Stellar Visibility



**hledání správné hvězdy**

**ranní soumrak - úsvit**

**minimální výška 6°**

**pozorovatelnost v  
severní a centrální Číně -  
dynastie Sung**

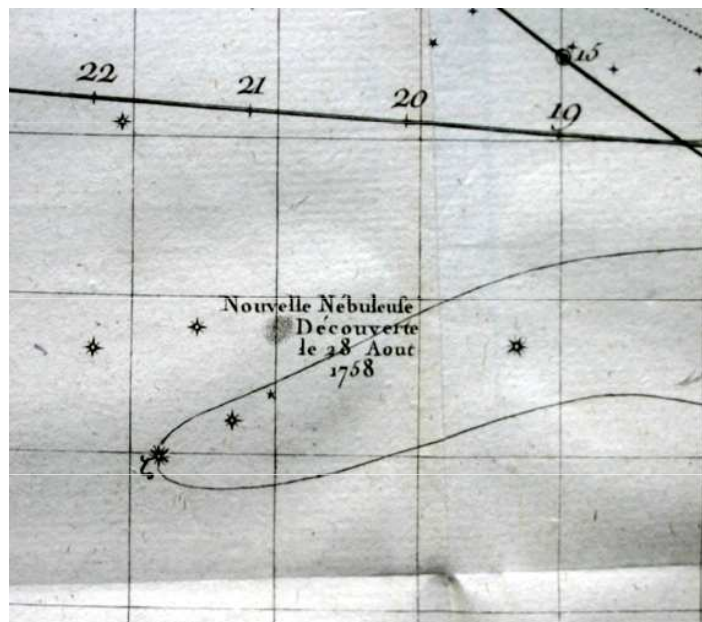
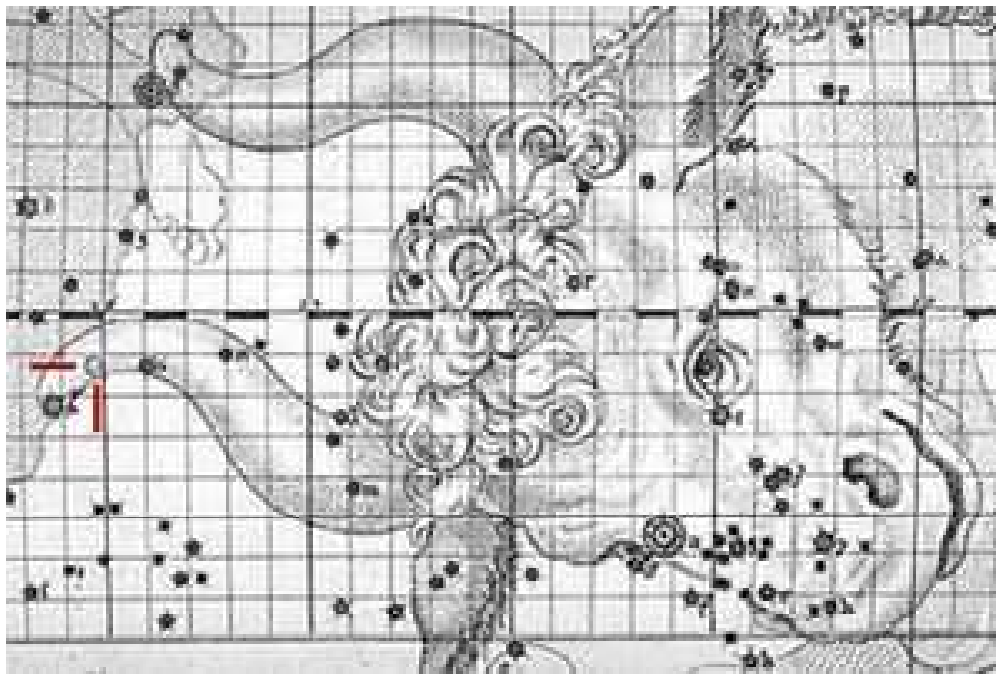
**pozice M 1 nyní 1°  
severozápadně**



# Objevení Krabí mlhoviny v novověku

John Bevis r. 1731

Charles Messier r. 1758



Nebuleuses. 238

DATE des OBSERVATIONS.	Nombres des Nebuleuses	ASCENSION DROITE.		DECLINAISON.	Hauteur en degres & min.
		En Temps.	En Degres.		
		H. M. S.	D. M. S.	D. M. S.	
1738. Sept. 12	1.	5. 20. 2	80. 0. 33	21. 45. 27 B	
1760. Sept. 11	2.	21. 21. 8	320. 17. 0	1. 47. 0 A	0. 4
1764. Mai. 3	3.	13. 31. 25	202. 51. 19	29. 32. 57 B	0. 3
	8.	16. 9. 8	242. 16. 56	25. 55. 40 A	0. 2
	23	5. 15. 6. 36	226. 39. 4	2. 57. 16 B	0. 3

239 1787.

N.° des Nebul.

Détails des Nebuleuses & des amas d'Étoiles.  
Les positions sont rapportées ci-contre.

1. Nebuleuse au-dessus de la croupe méridionale de Taurus, ne contient aucune étoile; c'est une lumière blanche, allongée en forme de la lumière d'une bougie, découverte en observant la Comète de 1738. Voyez la Carte de cette Comète. *Mém. Acad. année 1759, page 188*; observée par le Docteur Bévis vers 1731. Elle est rapportée sur l'Atlas de l'Ételle anglois.
2. Nebuleuse sans étoile dans la tête du Verseau, le centre en est brillant, & la lumière qui l'environne est ronde; elle ressemble à la belle Nebuleuse qui se trouve entre la tête & l'arc du Sagittaire, elle se voit très-bien avec une lunette de deux pieds, placée sur le parallèle de  $\alpha$  du Verseau. M. Messier a rapporté cette nebuleuse sur la Carte de la route de la Comète observée en 1759. *Mém. Acad. année 1760, page 464*. M. Maraldi avoit vu cette nebuleuse en 1746, en observant la Comète qui parut cette année.
3. Nebuleuse découverte entre le Bouvier & un des Chiens de Chasse d'Hévélius; elle ne contient aucune étoile, le centre en est brillant & sa lumière se perd insensiblement, elle est ronde; par un beau ciel on peut la voir avec une lunette d'un pied; elle est rapportée sur la Carte de la Comète observée en 1779. *Mémoires de l'Académie de la même année. Revue le 29 Mars 1781*, toujours très-belle.
4. Amas d'étoiles très-petites; avec une faible lunette on le voit sous la forme d'une nebuleuse; cet amas d'étoiles est placé près d'Antaris & sur son parallèle. Observé par M. de la Caille, & rapporté dans son Catalogue. Revu le 30 Janvier & le 22 Mars 1781.
5. Belle Nebuleuse découverte entre la Balance & le Serpent, près de l'étoile du Serpent, de sixième grandeur, la cinquième suivant le Catalogue de Flamsteed: elle ne contient aucune étoile; elle est ronde, & on la voit

# Mlhovina nebo hvězdokupa?

**pozorování dalekohledem**

William Herschel r. 1784

mlhovina bez hvězd

William Parsons -

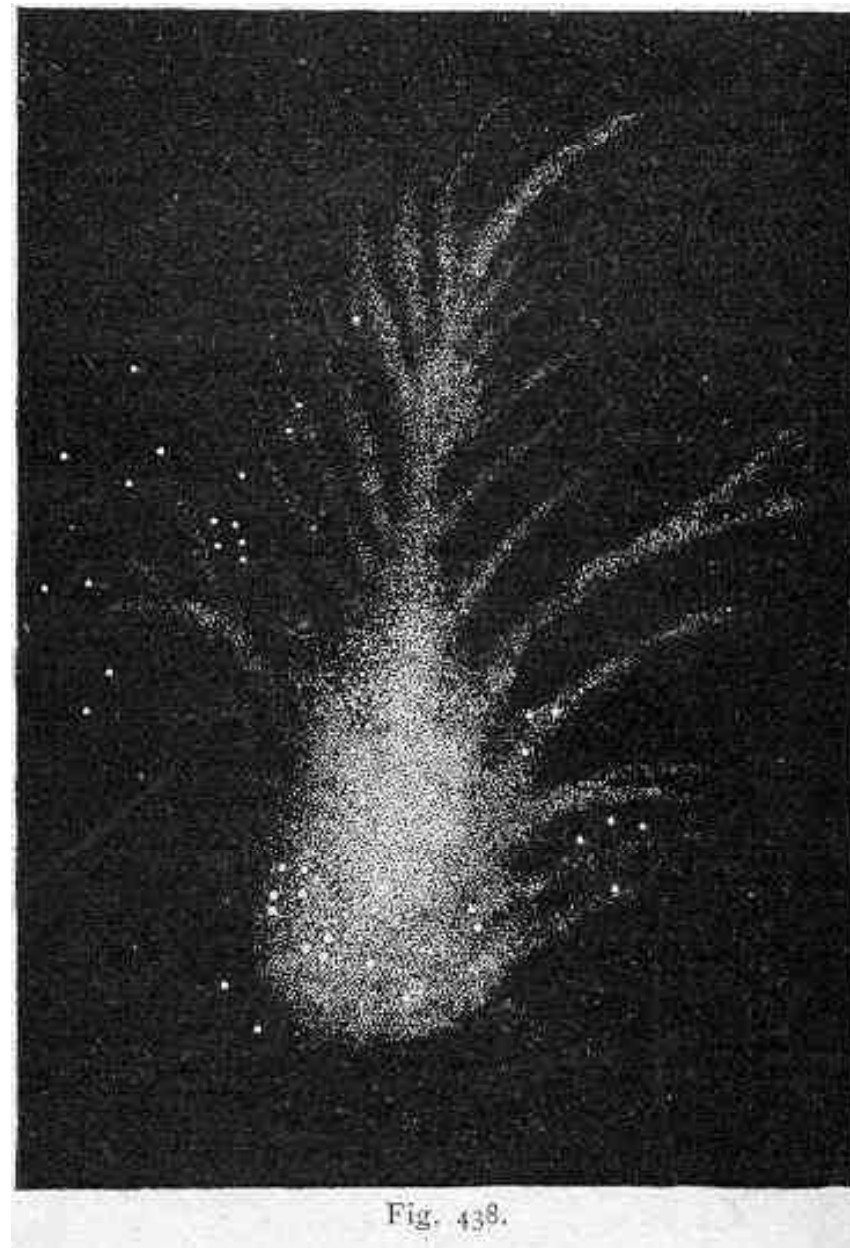
Rosse r. 1844

mlhoviny, její název

William Lassell r. 1852

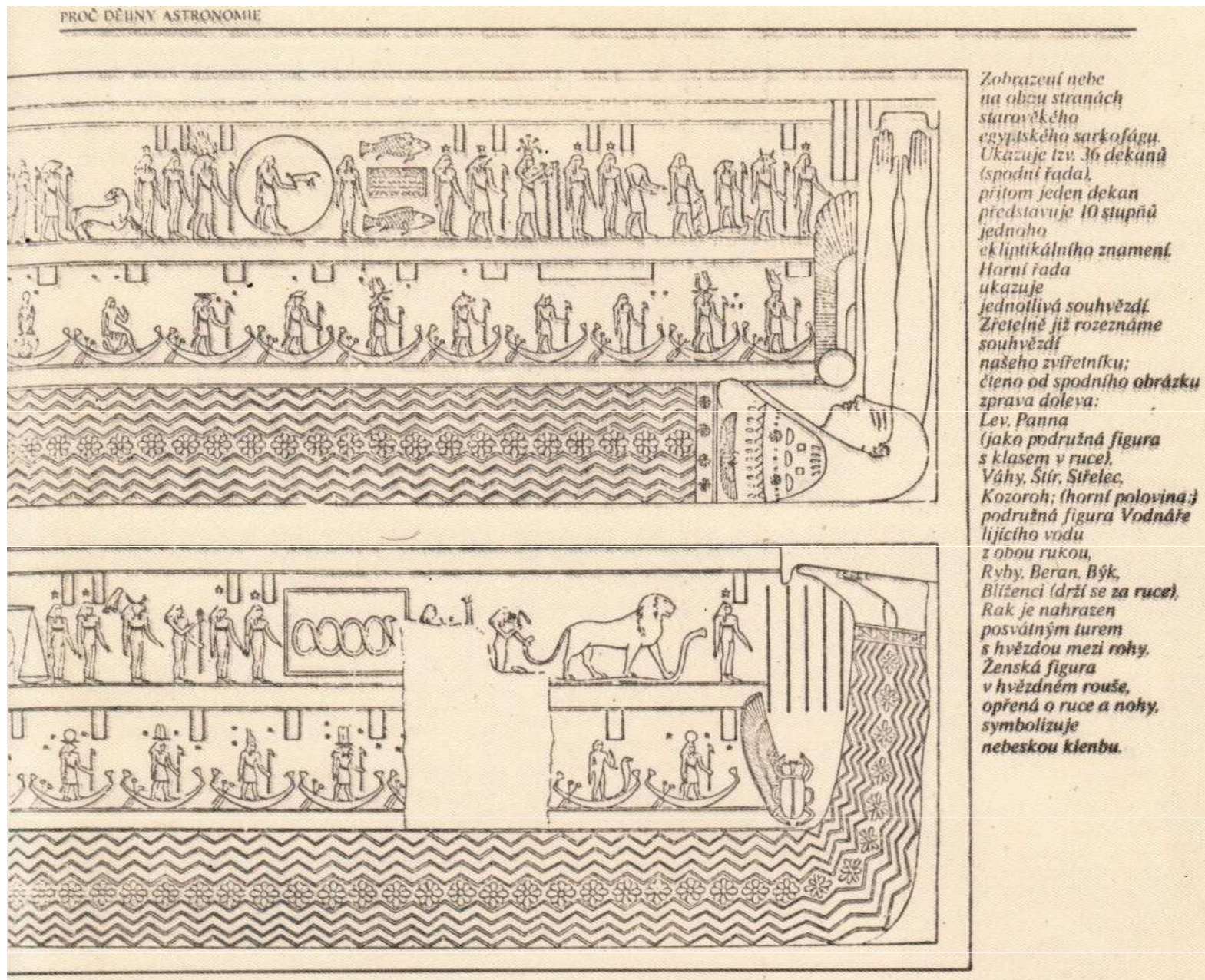
jasná mlhovina

resp. třemi hvězdami





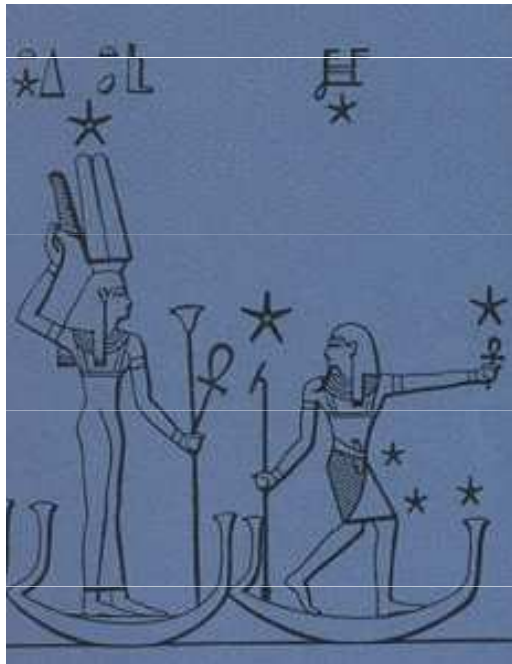
# Astronomie v starověku - Egypt



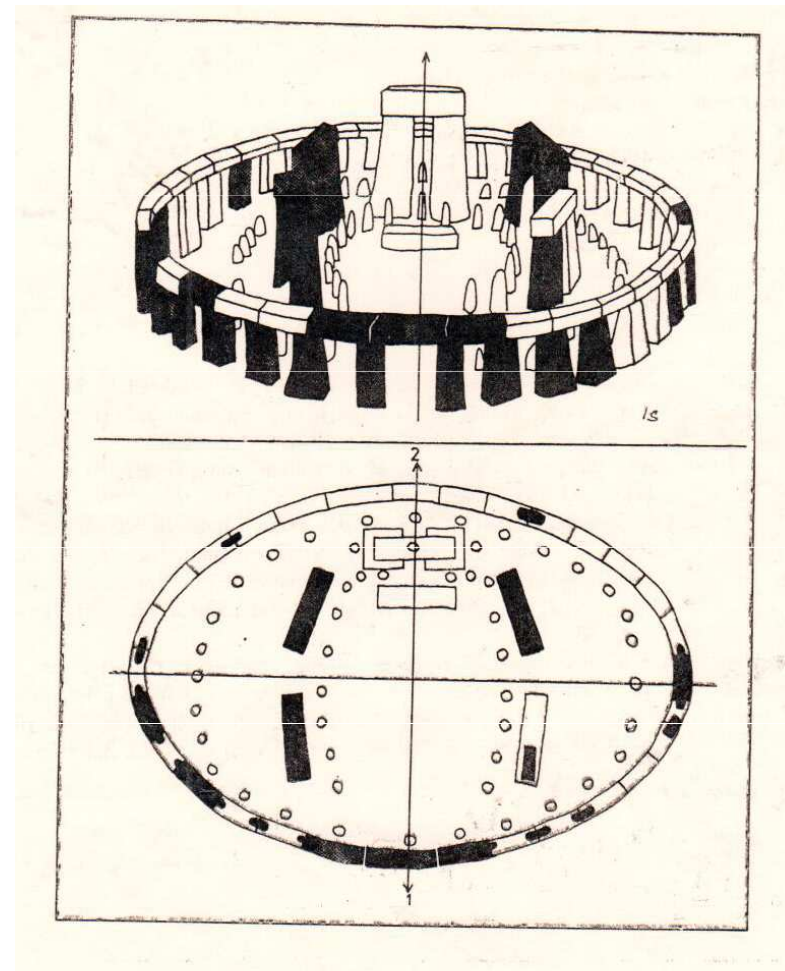


# Astronomie v starověku - Egypt

heliakický východ Síria – příchod záplav na Nilu,  
bůh Slunce Re - Ra, orientace os pyramid



# Astronomie v starověku - Stonehenge

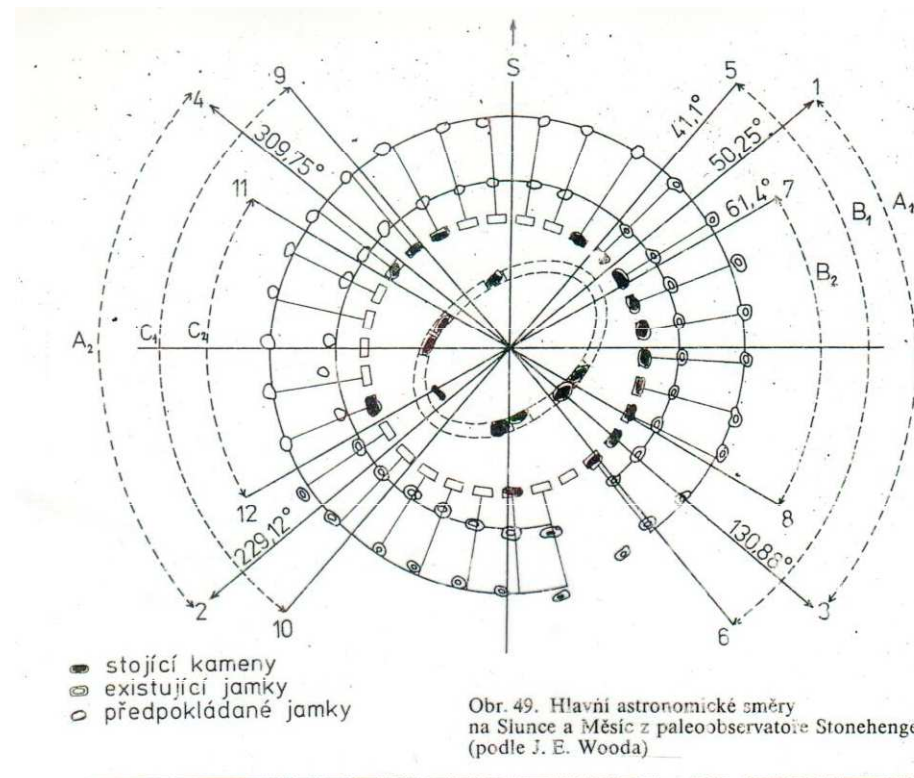


nové nálezy v okolí, zdroj kamenů, velký kruh, větší počet jam s velkým průměrem, sídliště lidí - 2 500 př.n.l.

kameny - sursery z West Wood, velký kruh Durrington Walls, průměr 500 m, neolitické struktury



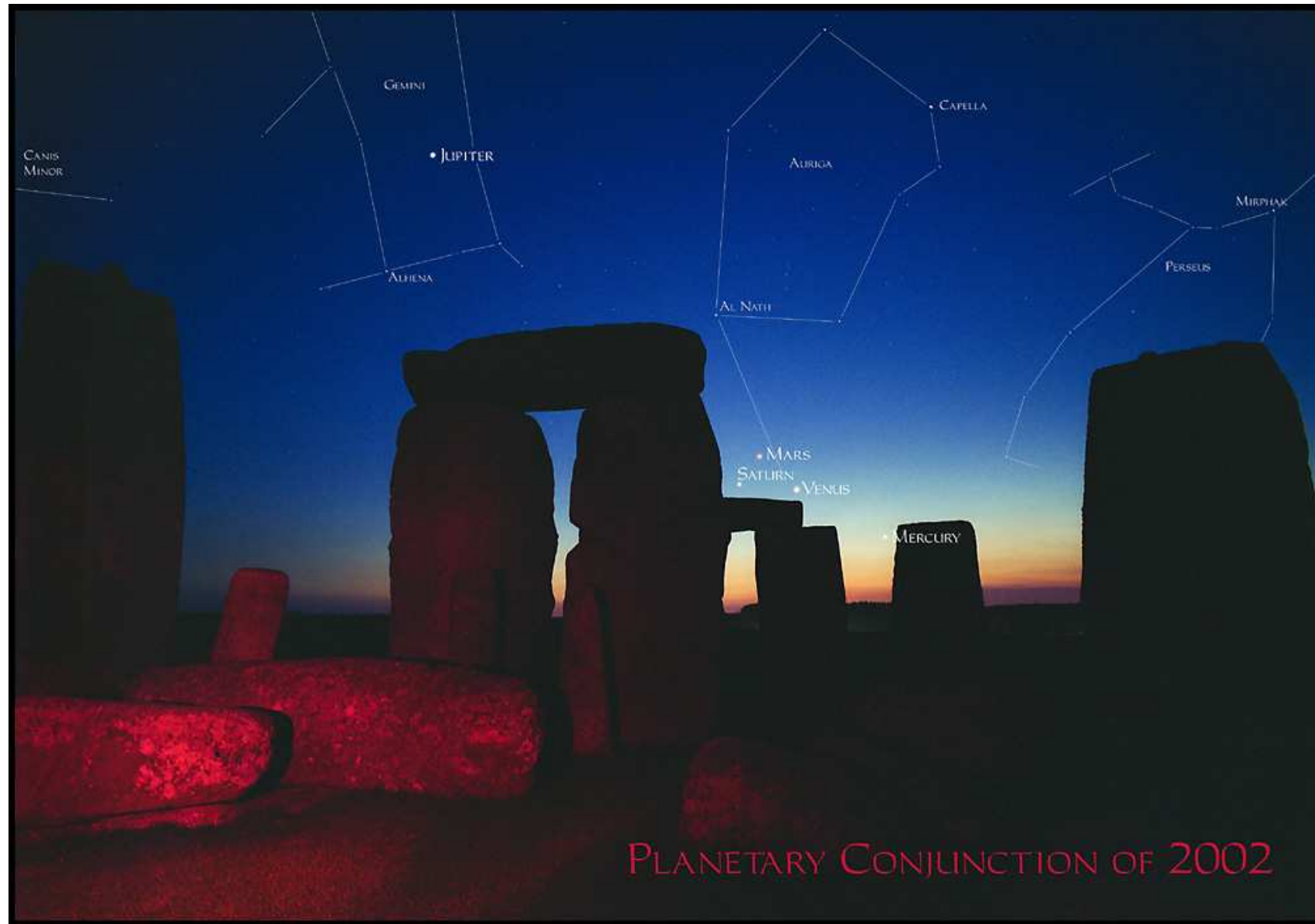
# Astronomie v starověku - Stonehenge



Stonehenge zachycuje východy a západy Slunce ve dnech slunovratů

N. J. Lockyer: Stonehenge and other British Stone Monuments.  
Astronomically Considered. Macmillan, London 1906.

# Astronomie v starověku - Stonehenge



Stonehenge - konjunkce planet 4. května 2002

# Astronomie v starověku - Stonehenge

neolitické zemědělská revoluce, asi před 7 tisíci léty, vznik megalitických staveb různých funkcí, kultovní, astronomické, nejznámější **Stonehenge**, **Woodhenge**, seskupení menhirů do řad, kruhů, kombinace, stavitelé – znalosti geometrie, matematiky, astronomie, stavební techniky, dopravy

**Stonehenge** – kultovní svatyně, paleoastronomická observatoř, budována postupně po etapách

I. etapa  $\approx$  2 600 roků

II. etapa  $\approx$  2 200 - 2 100 roků

III. etapa  $\approx$  1 800 - 1 500 roků

vytyčení kamenů, průhledy - úhломěrné zařízení, zachycení potřebných směrů na Slunce, Měsíc, různé hvězdy,

východy a západy Slunce při letním a zimním slunovratu

# Astronomie v starověku - Stonehenge

## Stáří Stonehenge

vypočítat pomocí výšky bodů východu a západu slunce  
můžeme zástř semipicam úhlu Stonehenge, výšku  
slunce nad horizontem, matem. horizontem v dané šířce  
východu nad horizontem

$A$ ... azimuth,  $h$ ... výška slunce,  $\varphi$ ... zeměpisná šířka,  
 $\delta$ ... sklon slunce

$$\cos A = \frac{\sin \delta - \sin \varphi \sin h}{\cos \varphi \cos h}$$

ti nezádné -  $\varphi, \delta, h$

$\varphi$ ... určuje 3 měry, nutná přesnost  $0,01^\circ$

$\delta$ ... sklon slunce v dané šířce letu/letu slunce



# Astronomie v starověku - Stonehenge

sklon ekliptiky  $\epsilon$

$rok$	$\epsilon^\circ$	$\sin \epsilon$
4 000	24,11	0,4085
3 500	24,07	0,4079
3 000	24,03	0,4072
2 500	23,98	0,40564
2 000	23,93	0,4056
1 500	23,87	0,4047
1 000	23,81	0,4037

velké změny sklonu ekliptiky  $\rightarrow$  mění stav!

# Astronomie v starověku - Stonehenge

stanovíme azimut slunce v letním slunovratu  
předpokládáme, že viditelný horizont splývá se  
skutečným,  $h = 0^\circ$ ,  $\sin 0^\circ = 0$ ,  $\cos 0^\circ = 1$

$$\cos A = \frac{\sin \delta}{\cos \varphi}$$

zem. šířka Stonehenge  $51,178^\circ \Rightarrow \cos \varphi = 0,6269$

v roce 2000 př. u. l.  $\epsilon = 23,93^\circ$   $\sin \delta = 0,4056$

$$\cos A = \frac{0,4065}{0,6269} = 0,6470 \Rightarrow A = 49,68^\circ$$

obdobný výpočet pro rok 1500 př. u. l., obdržíme

$$A = 49,79^\circ.$$

# Astronomie v starověku - Stonehenge

azimut  $A$  se změnil za 1000 letů o  $0,1^\circ$ , tedy  $0,02^\circ$  / století

Lockyer měl datum výstavby Stonehenge

zmeřenou azimutu hlavní osy a srovnáním s výpočty  
nyní azimuty.

nutné dvě kroky:

1. reflexe měřidel paprsků

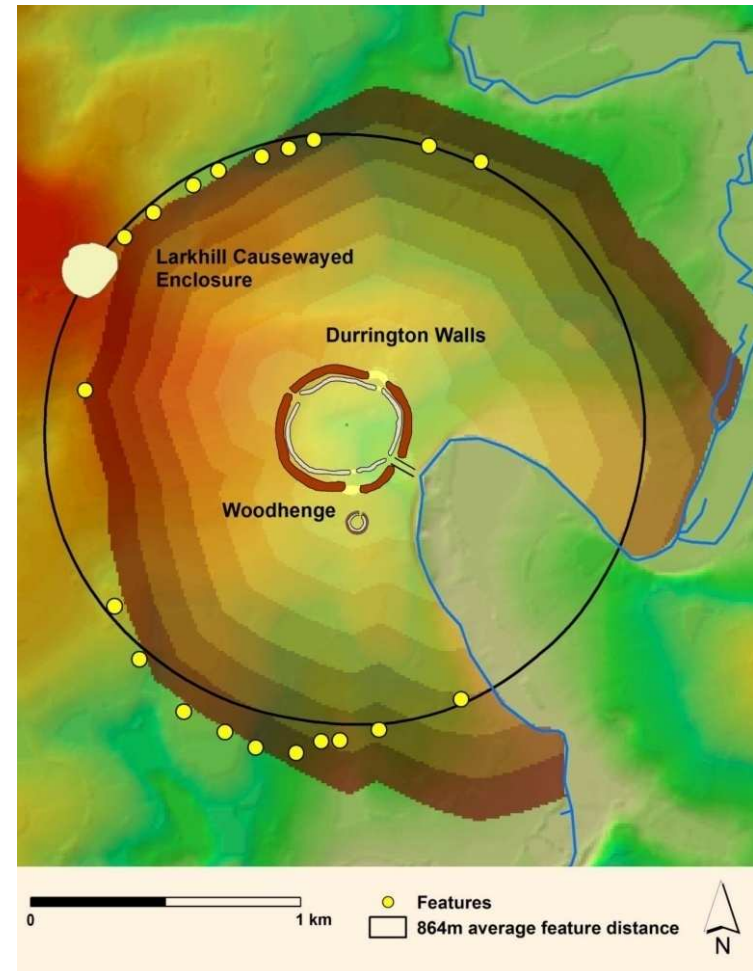
2. paralaktická operace; asti úklon jsou vzhledem  
ke středu Země, pozoritel je však na povrchu  $\Rightarrow$

kroky

celkově  $h = (\text{výška horizontu}) - (\text{operace na naklonění Země})$   
 $+ (\text{paralaktické kroky}) - (\text{operace na reflexi})$



# Astronomie v starověku - Stonehenge



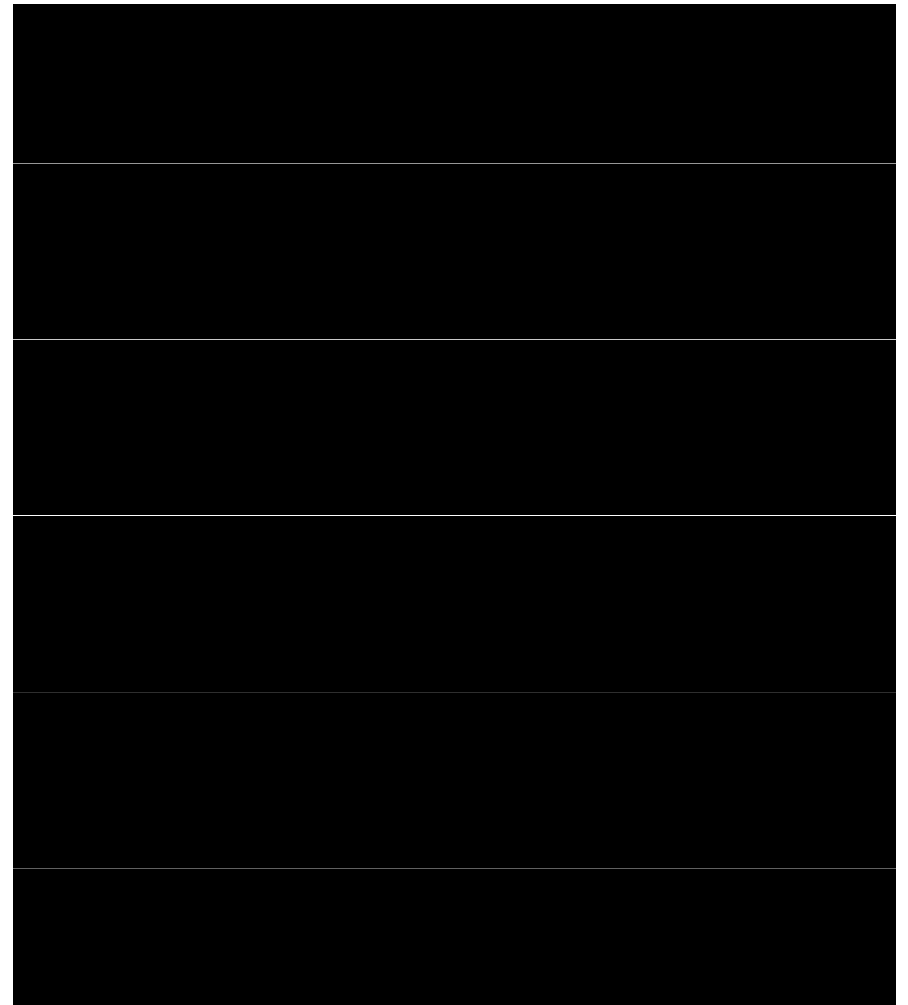
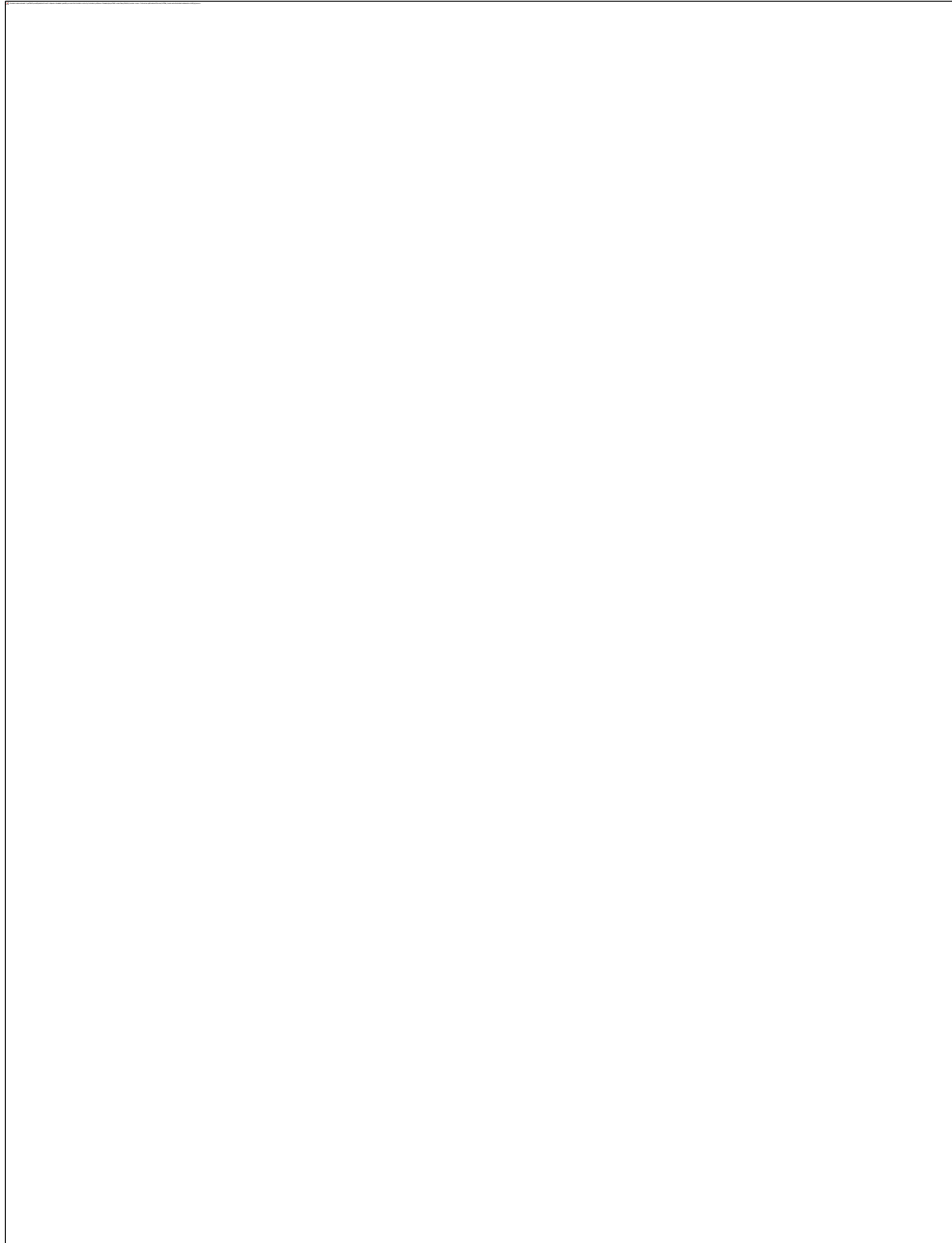
J. E. Wood: Sun, Moon and Standing Stones. Oxford University Press, Oxford 1978.



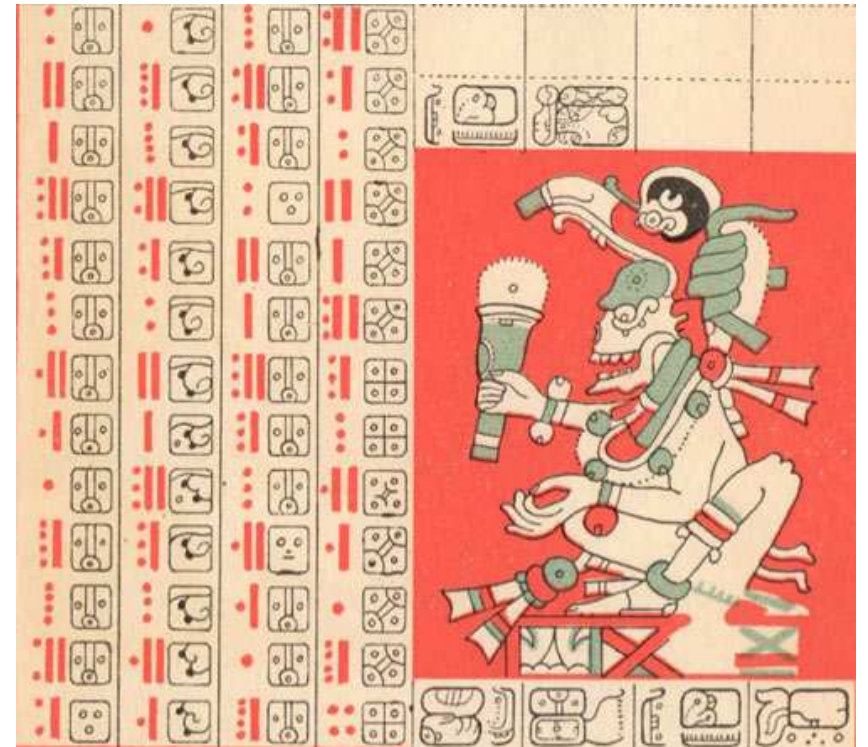
# Astronomie - Mayové

Yucatánský poloostrov, rozsáhlé observatoře, civilizace 2. - 9. stol. n. l. měli propracovanou chronologii, zachycovali chod času pomocí čísel, cyklů, kalendář Mayů podrobně rozpracován, používali dva cykly po 260 dnech a 365 dnech, knihy hieroglyfů, **Drážďanský kodex** – znali výpočet zatmění, tabulka předpovědí – 1 034 zatmění, na období 206 - 647 n. l.

# Astronomie - Mayové



# Astronomie - Mayové





# Astronomie - Inkové

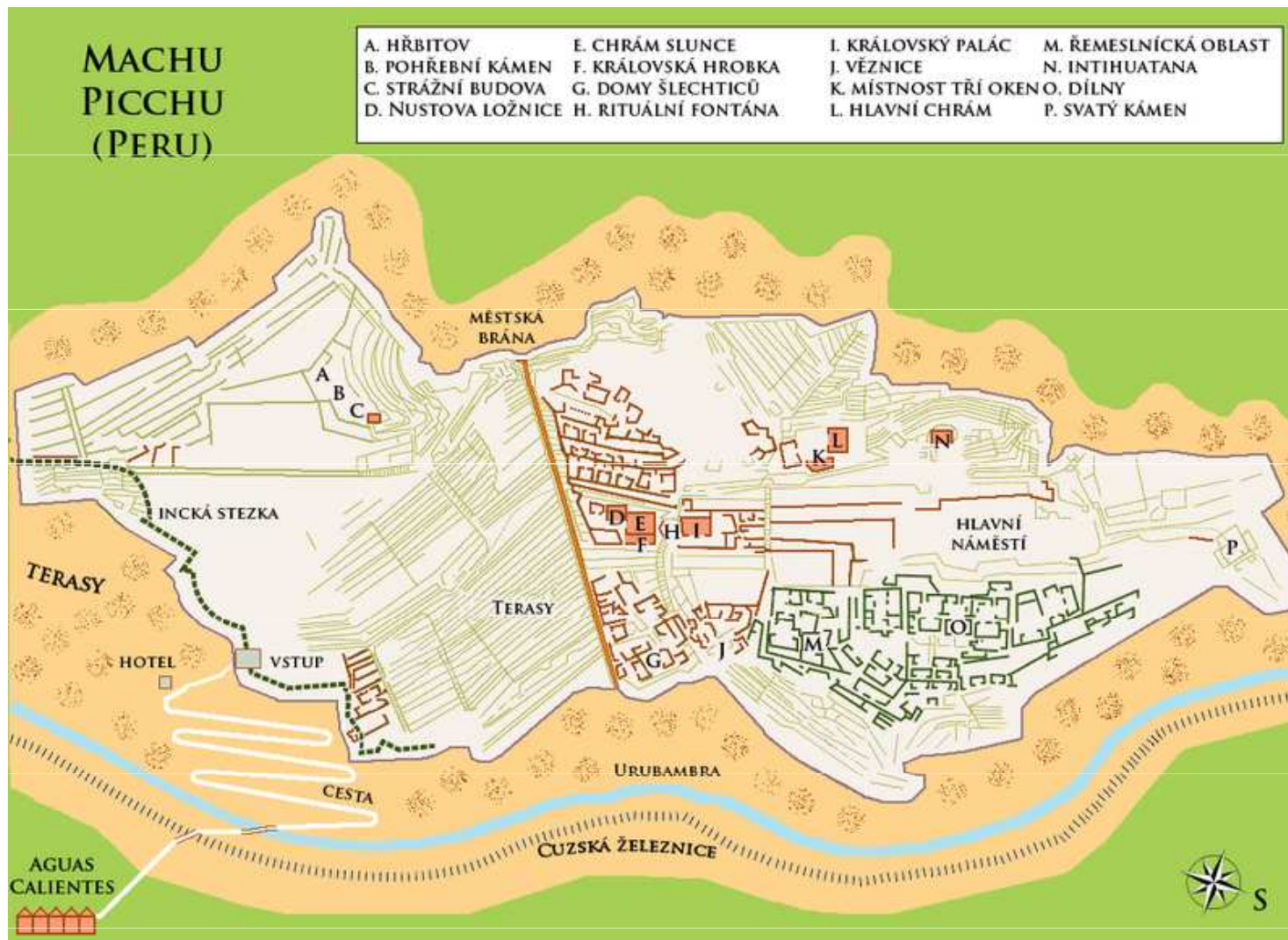
kultura Inků na vrcholu v 15. - 16. století, kulturní místo, kamenné město  
Machu Picchu 2 430 m.n.m.





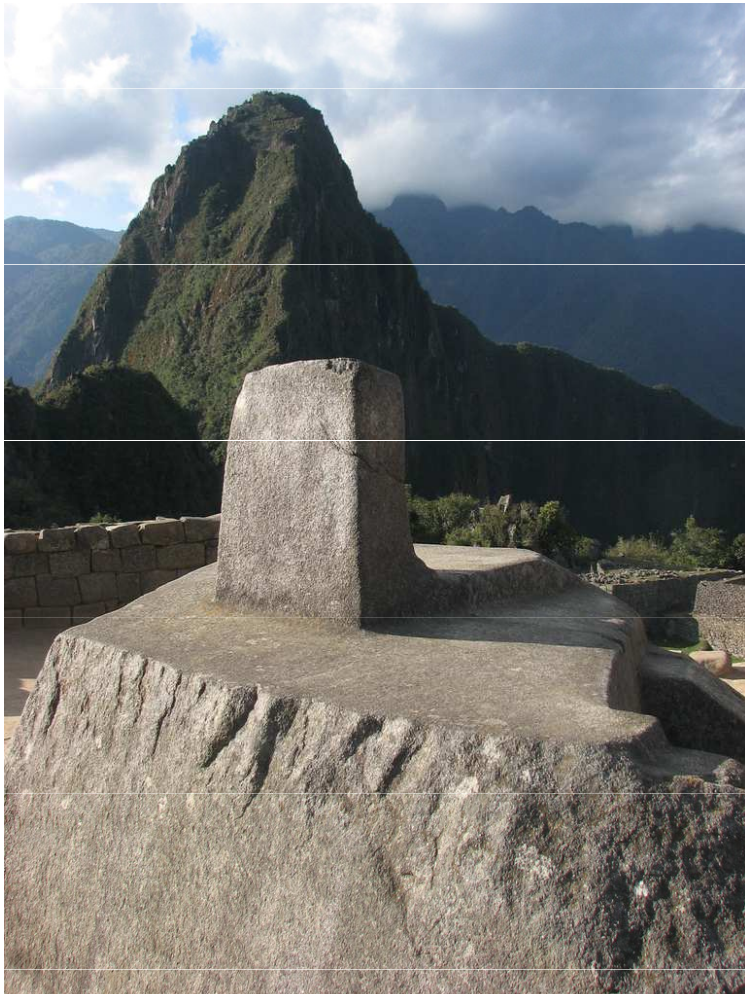
# Astronomie - Inkové

Machu Picchu plán města, 2 000 obyvatel



# Astronomie - Inkové

Machu Picchu, sluneční gnómon Intihuatana, chrám Slunce

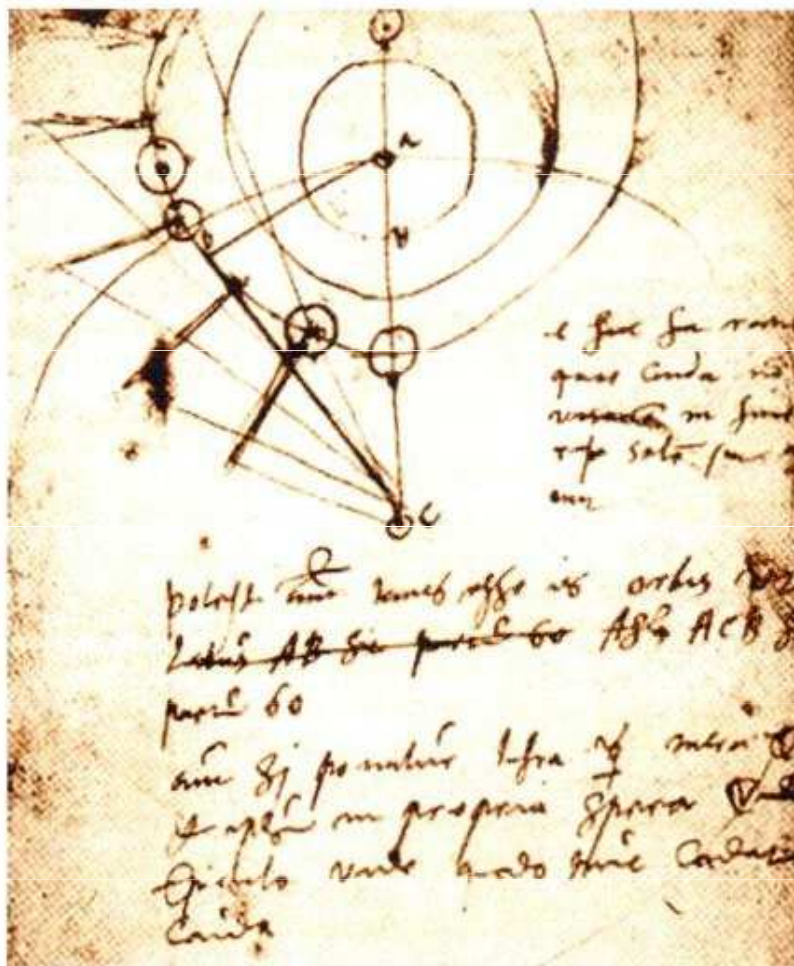


# Studium komet - renesance

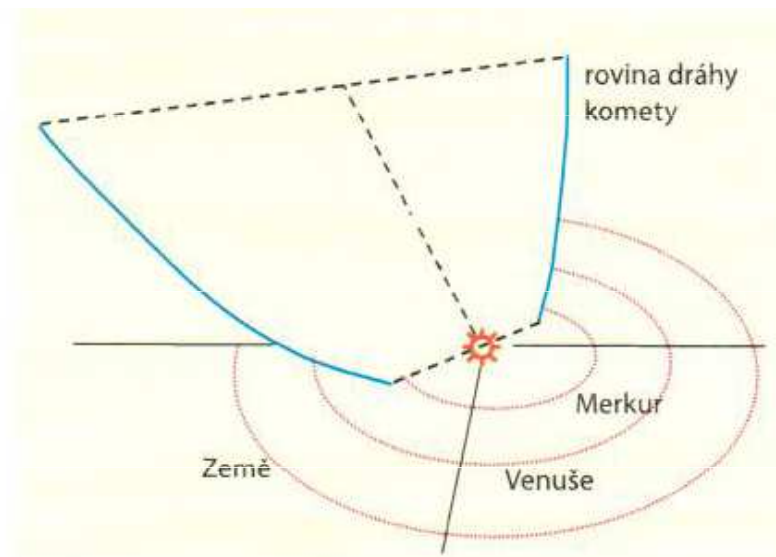
...  
*r. 1544*, určování polohy komety vzhledem ke dvěma blízkým hvězdám, trigonometrická metoda, minimalizovala chyby přístrojové, stanovovala úhlovou vzdálenost komety od hvězd, paralaxa komety dánský astronom **Tycho Brahe 1546 - 1601**, *Druhá kniha o nedávných jevech v éterickém světě, r.1588*, listopad 1577 - leden 1578 poziční pozorování komety, denní změna polohy v listopadu  $3^{\circ}$ , později pouze  $1\frac{1}{2}^{\circ}$ , k 14.11.1578 ohon s délkou  $22^{\circ}$ , na základě změřených paralax závěr – vzdálenost  $230R_Z$ , více než trojnásobná vzdálenost  
...



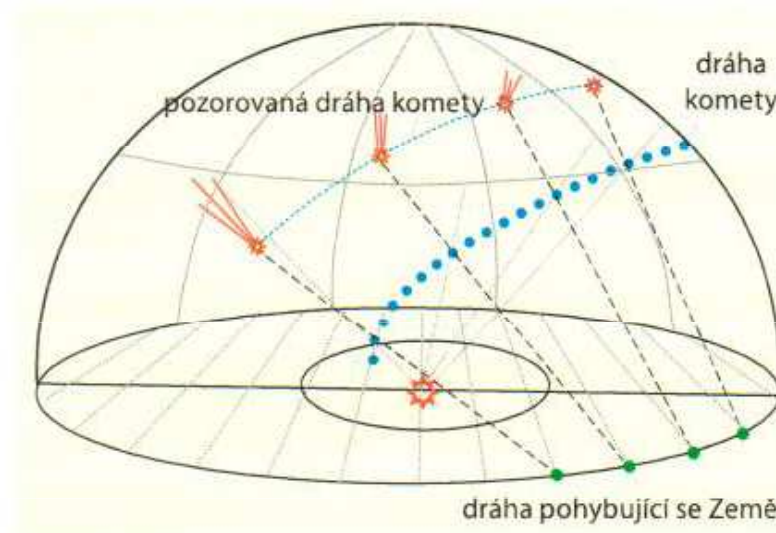
# Studium komet - renesance



Obr. 2 Náčrtek komety r. 1577 z Tychonova pozorovacího deníku.



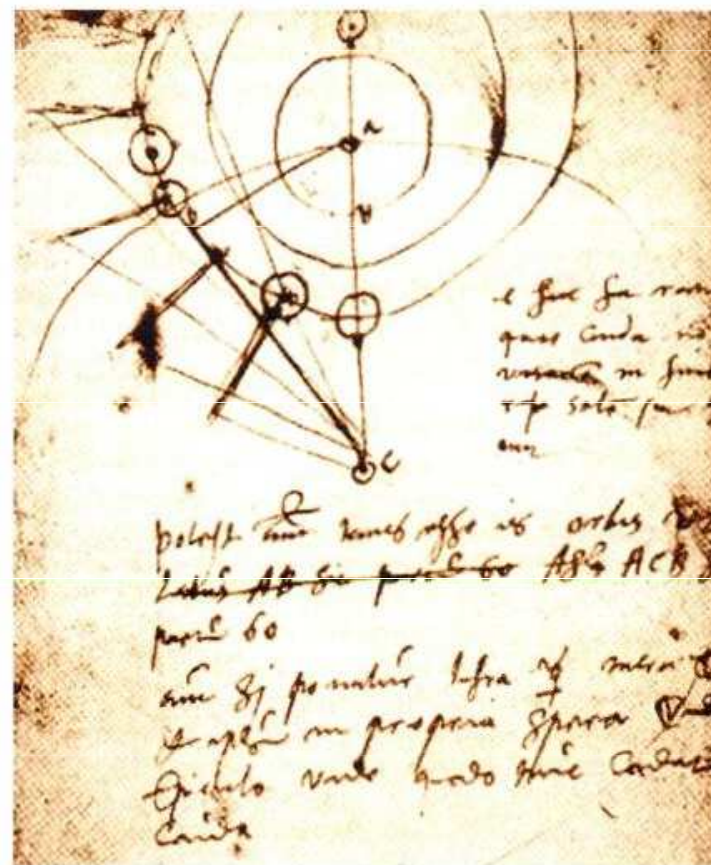
Obr. 5 Dráha komety s velkým sklonem.



Obr. 6 Pozorovaná a skutečná dráha komety v prostoru.

# Studium komet - renesance

hvězd. Byla důležitou součástí několika způsobů stanovení paralaxy komety, její význam vyzdvihl v úvodu šesté kapitoly spisu *De mundi aetherei recentioribus phaenomenis liber secundus*, česky Druhá kniha o nedávných jevech v éterickém světě [6], dánský astronom Tycho Brahe (1546–1601), jedna z klíčových osobností pro posouzení principiální otázky postavení komet ve vesmíru. V období měsíců listopad roku 1577 až leden 1578 prováděl přesná poziční měření komety C/1577 V1, viz obr. 2 z jeho pozorovacího deníku. Zjistil příkladně její každodenní změny polohy, v polovině listopadu činila průměrně  $3^\circ$ , později poklesla na  $1\frac{1}{2}^\circ$ . K 14. listopadu měl ohon při šířce  $2\frac{1}{2}^\circ$  délku  $22^\circ$ . Tycho rovněž provedl srovnání dosažitelných pozorování i z jiných míst v Evropě, výsledkem bylo stanovení paralaxy, nebyla větší než  $15'$  [6]. Na základě porovnání naměřených paralax různými způsoby dospěl k závěru, že se nachází ve větší vzdálenosti od Země než Měsíc.



Obr. 2 Náčrtek komety r. 1577 z Tychonova pozorovacího deníku.

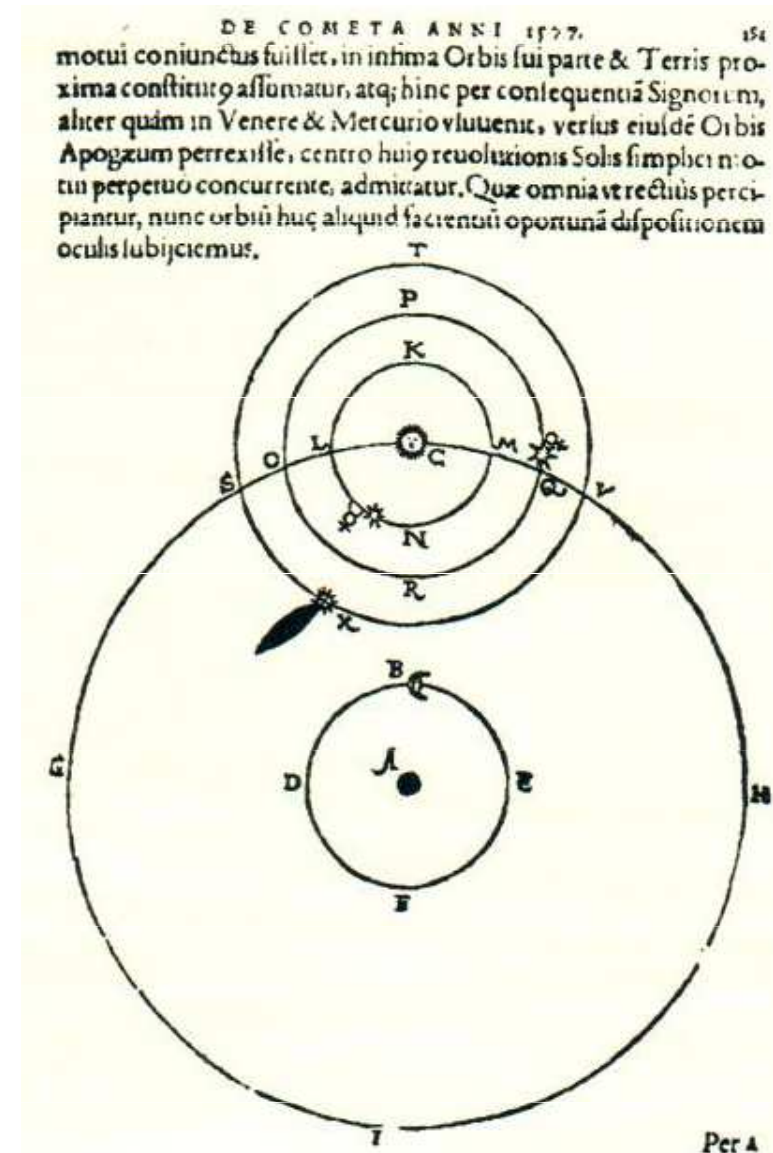


# Studium komet, poloh, vzdáleností renesance

V Tychonem vytvořeném geoheliocentrickém modelu, viz obr. 3, byl Měsíc nejvíce vzdálen od Země –  $68 R_Z$ . Z jeho numerických výpočtů polohy komety r. 1577, shrnutých v současnosti například v [7], vyplývala její minimální vzdálenost  $230 R_Z$ , 197 800 n. m., tudíž ji umístil do nejméně trojnásobné vzdálenosti než Měsíc. Pozorovaný průměr komety činil  $8'$ , což odpovídalo 465 n. m. Jinými slovy, průměr komety byl odhadován přibližně na čtvrtinu průměru Země – podle Tychona 1 720 n. m. Maximální velikost ohonu komety při úhlové velikosti  $22^\circ$  a uvedené průměrné vzdálenosti činila  $88,4 R_Z$ , zhruba 76 000 n. m. Stanovená šířka ohonu dosahovala  $2 \frac{1}{2}^\circ$ , tudíž její velikost byla  $5,8 R_Z$  – 5 000 n. m.

Měření velikosti a vzdálenosti komety Tychonem nebylo pouhou korekcí hodnot získaných předcházejícími astronomy. Výrazně zvětšil rozměry komety a jejího ohonu. Podstatné až řádové zvýšení přesnosti jeho pozorování vyvolalo radikální změny v prostorových představách o sluneční soustavě, v tehdejších chápání astronomického obrazu celého vesmíru.

Komety se v Tychonově modelu vyznačovaly podobnými pohyby jako planety, vyjma retrográdních. Nebyly tak dokonalými kosmickými tělesy jako planety, které vykonávaly podle tehdejších představ pouze rovnoměrný kruhový pohyb. Došlo tak k narušení antické kosmologie Aristotela.



Obr. 3 Schéma geoheliocentrické soustavy Tychona Brahe.



# Tycho Brahe 1546 - 1601

*životopis, výzkum pozůstatků*

**spisy**

**O nové hvězdě 1573**

**Druhá kniha o nedávných  
jevech v nebeském světě 1588**

**Přístroje obnovené astronomie 1598**

*„ne moc a bohatství, ale vědění vládne  
žezlem času“*

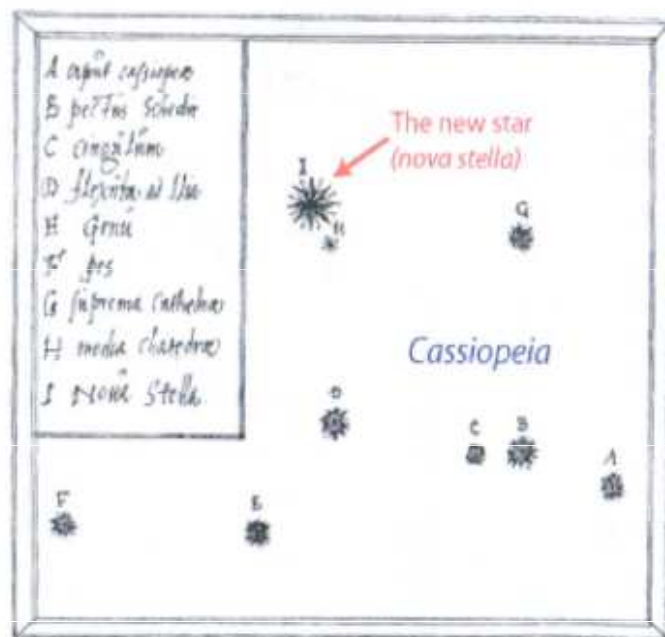


*Disce puer virtutem ex me  
Gurumq; Laborem,  
Fortiter & sortis iustissime  
victis.*

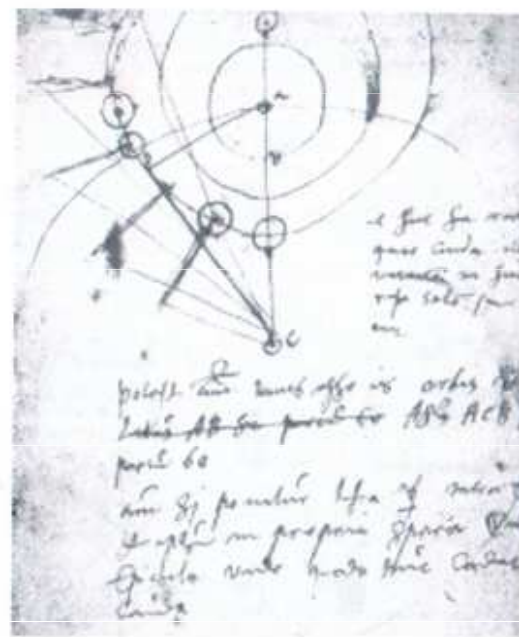
*Tycho Brahe  
Filio  
Tythoni primogenito  
Scripsit  
Anno 1599 Feb 28  
Witoberga.*

# Tycho Brahe

## Tycho Brahe - the Observer



Tycho Brahe's observation of a new star in Cassiopeia, published in *De stella nova*, 1573.



The Great Comet of 1577  
-from Brahe's notebooks

„kometa byla od nás tak daleko, že její největší paralaxa nemohla být větší než 15 stupňů. Odtud plyne, že by mohla být vzdálena přinejmenším 230 zemských poloměrů od Země. Z čehož pak dále vyplývá, že se nacházela mezi drahou Měsíce a Venuše.“ - rozbití teorie sfér

# Tycho Brahe

zední kvadrant - velmi  
přesný přístroj ...

čtyři osoby při pozorování

$$R = 2 \text{ m}, \Delta = 0,5 \text{ mm}$$

$$\operatorname{tg} \vartheta = \frac{\Delta}{R}$$

$$\vartheta \cong 68'' \cong 1'$$

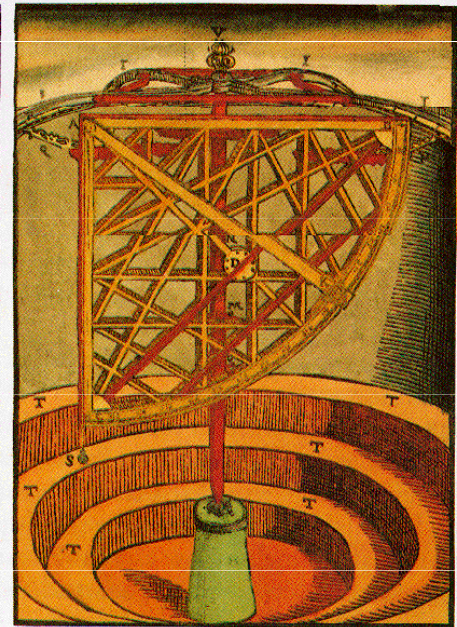
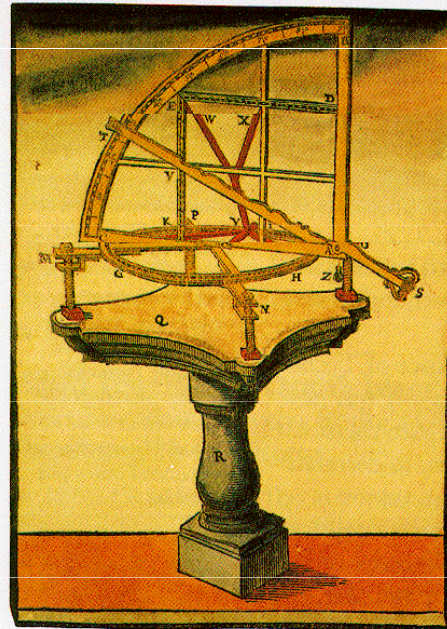
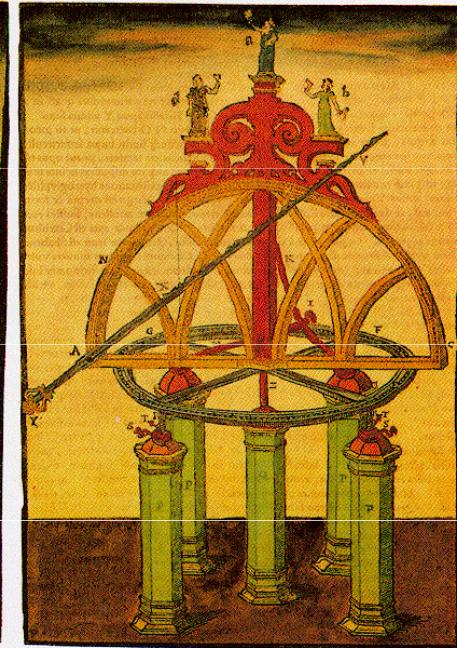
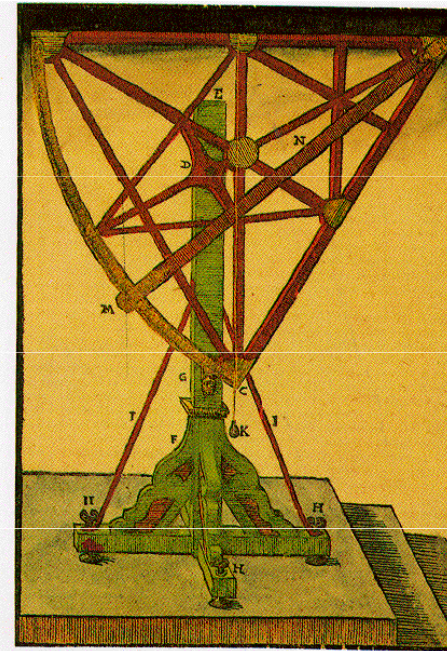




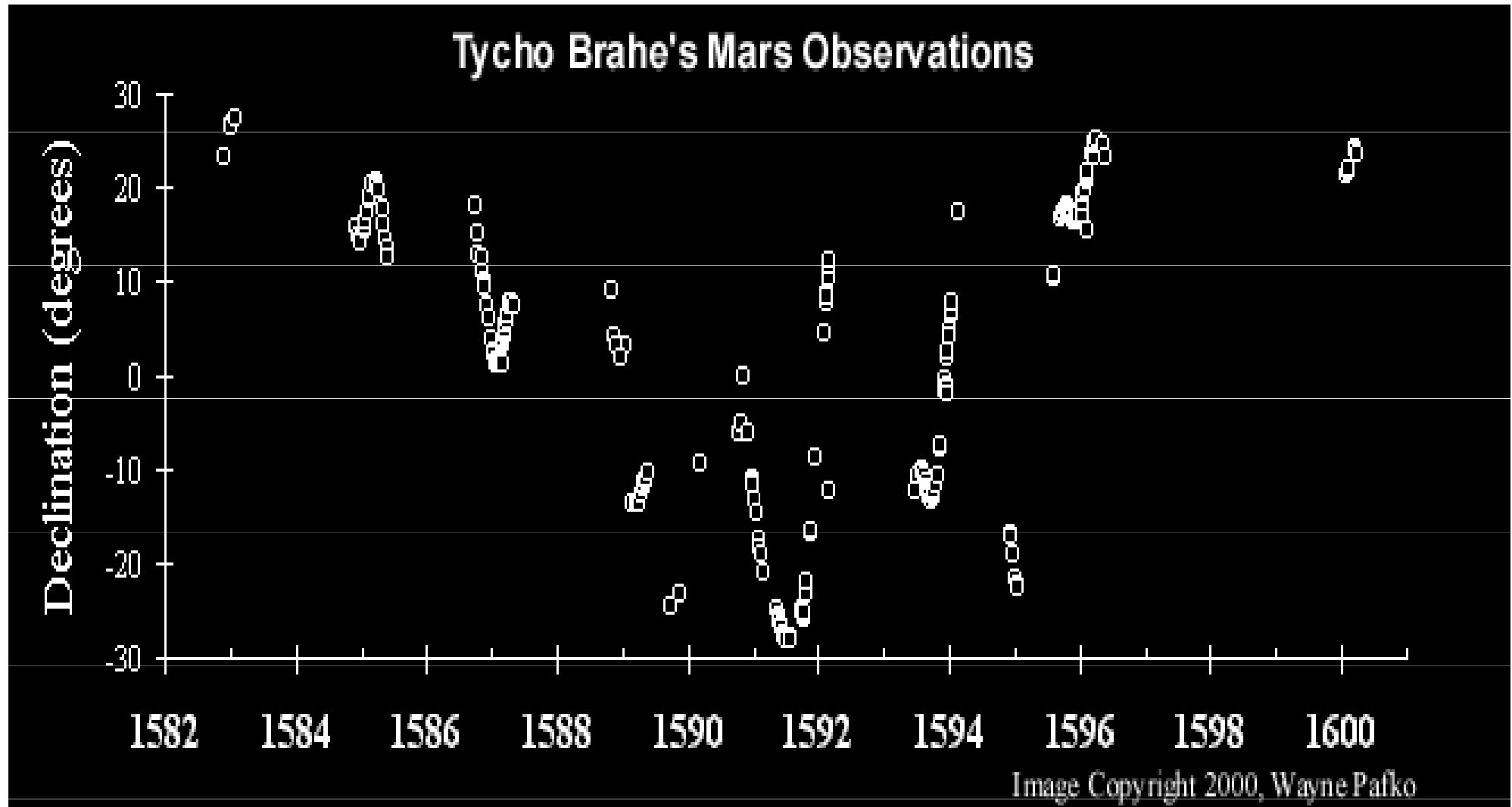
# Observatoř a přístroje Tychona Brahe

nejpřesnější pozorovatel  
před vynálezem  
dalekohledu

Uraniborg, Sterneborg



# Dlouhodobá přesná pozorování Marsu





# Poznámky Paula Witticha 1546 - 1586

## Tychonova geo-heliocentrická soustava

(Italy) Vatican City

107

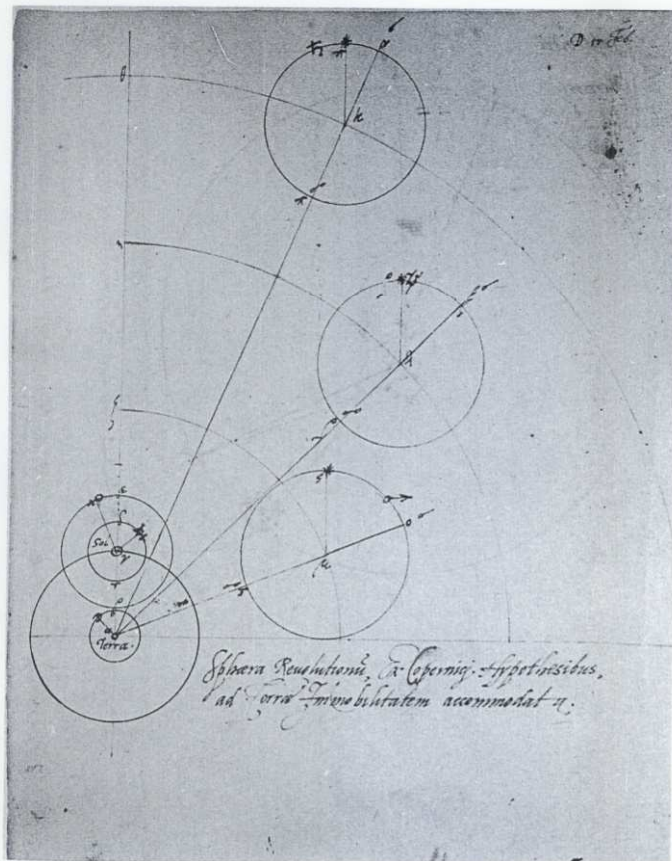
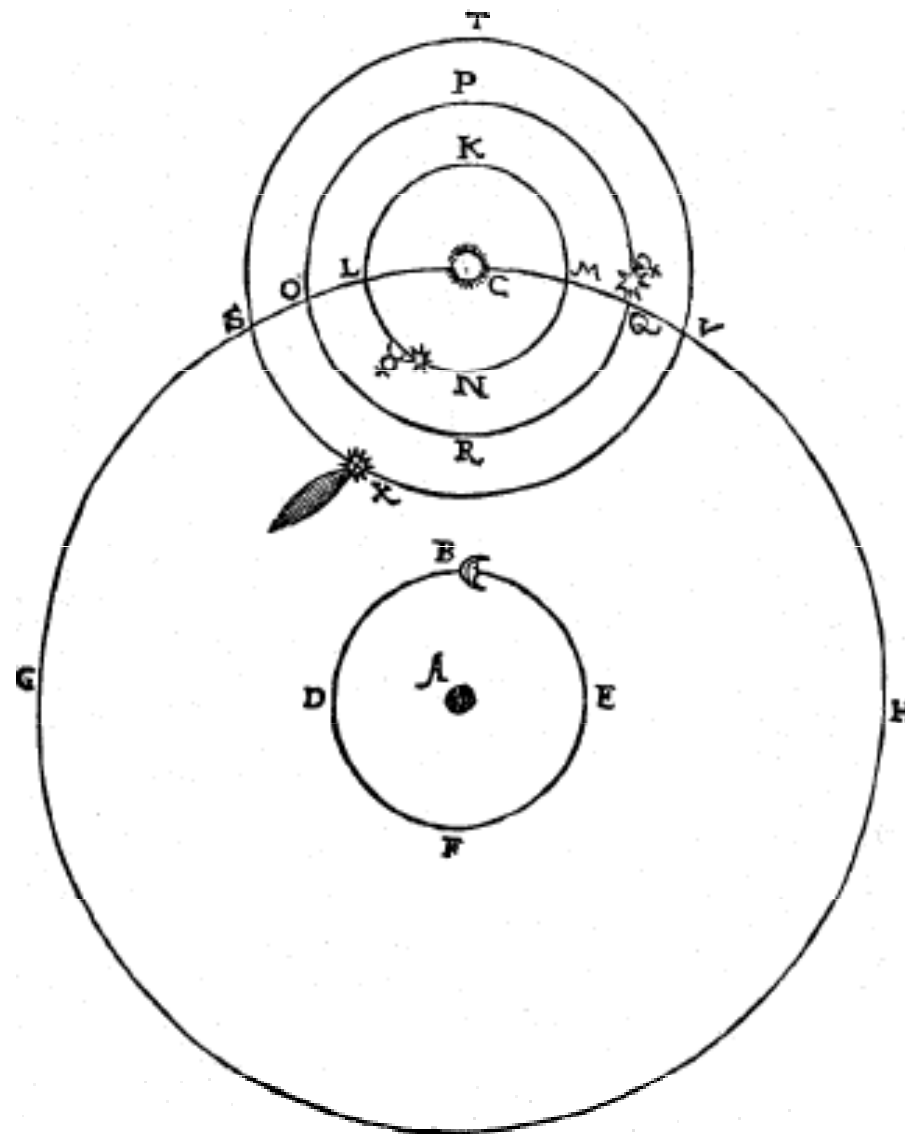


Figure 18. Paul Wittich's proto-Tychonic diagram, ending the series in Vatican 1, f. 210v.  
© Biblioteca Apostolica Vaticana.





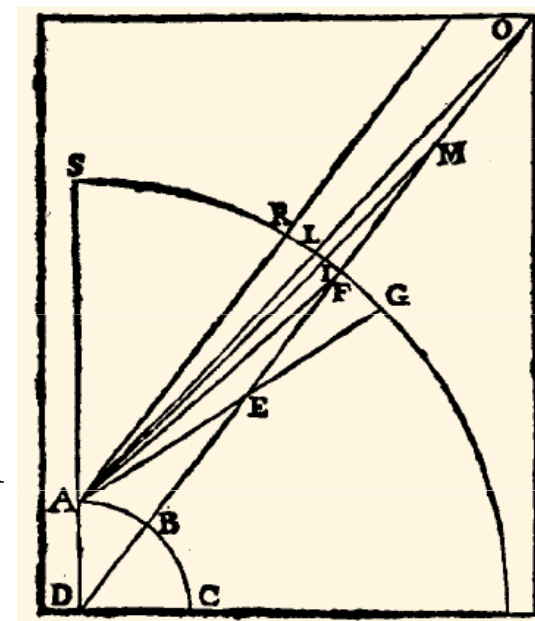
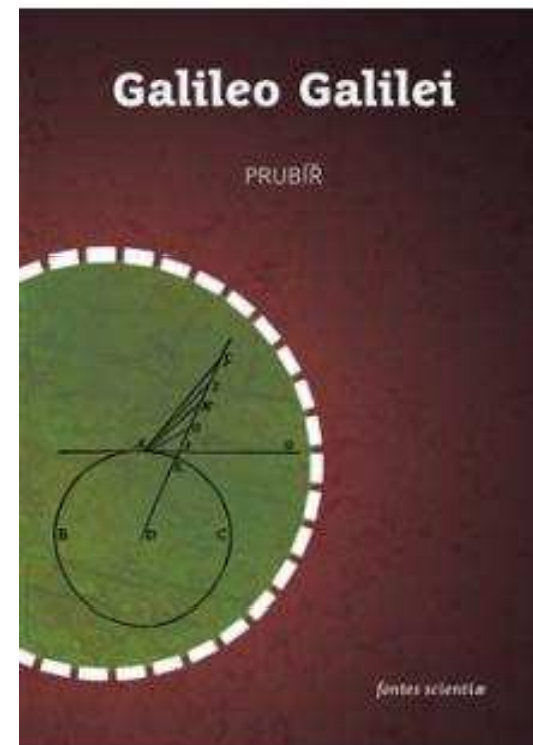
# Komety

r. 1623 *Prubíř*

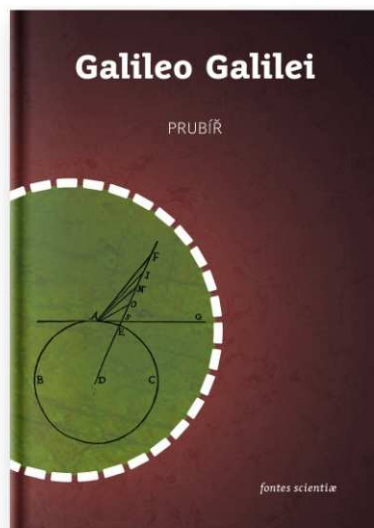
*obsahuje Galileovu optickou teorii komet*

komety - stoupající výpary a exhalace  
v zemské atmosféře, úhlové zpomalení  
výstupu přímková dráha komet směrem  
k zenitu, nepozorováno...

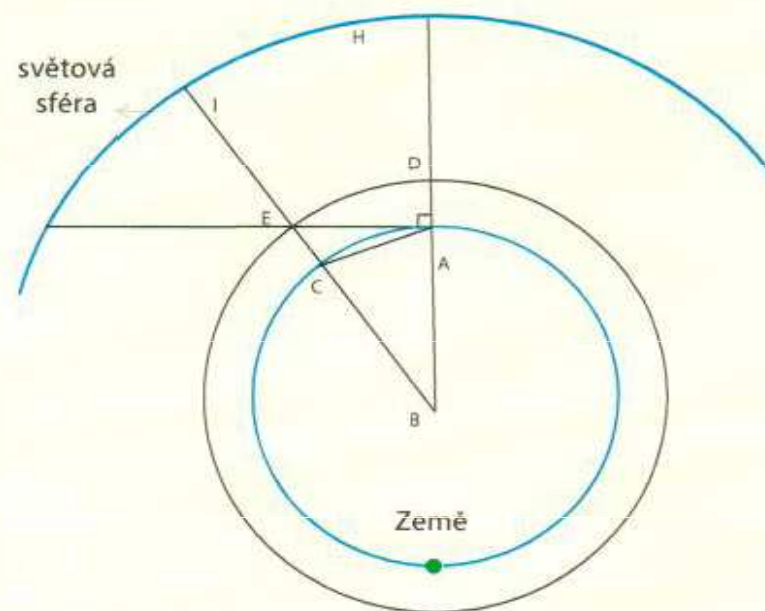
oponent **Grassi Orazio 1583-1654** ve spisu  
*Váha* uvedl, že těleso komety a ohon nejsou  
zdrojem světla, nýbrž lámou a odrážejí  
sluneční světlo, ohon (plazmový) míří vždy  
od Slunce, kometa se nachází v nadměsíčním  
světě



# Podstata komet



Orazio Grassi (1583–1654), italský astronom, matematik a jezuita, se zabýval kometami ve spisu *De tribus cometis anni MDCXVIII disputatio astronomica*, česky *Astronomická debata o třech kometách* [13], z roku 1618. Po kratším úvodu popsal polohu a pohyb komet, které pozoroval v období srpna až prosince roku 1618. Soustředil se zejména na poslední nejjasnější a nejvýraznější kometu, u které uvedl a zpracoval větší počet pozorovacích dat z celé Evropy. Podstatnou částí textu je interpretace paralaktických výpočtů a popisu vlastností komety. Příkladně Grassi v [13] porovnal dvě série pozorování, první z nich osobně provedl v Římě – C, druhou obdržel z Antverp – A v Belgii. Podle [7] na obr. 7 je paralaktický úhel pro kometu v bodě E minimální, jestliže je v místě A pozorována na horizontu. AE zachycuje horizont v Antverpách,  $\sphericalangle ABC = 12^\circ 48'$ ,  $AC = 798$  i. m.,  $\sphericalangle EAC = 6^\circ 24'$ ,  $\sphericalangle BAC = \sphericalangle BCA = 83^\circ 36'$ ,  $BA = BC = 3579 \frac{6}{11}$  i. m. Zde



**Obr. 7** Grassiho stanovení polohy komety.

používaná jednotka vzdálenosti i. m. je italská míle, přibližně rovná 1,5 km. Ze znalosti délky základny a lineární vzdálenosti mezi Římem a Antverpami vypočetl, že pokud se kometa nacházela ve vzdálenosti  $AD = 100$  i. m., minimální paralaxa, která situaci odpovídá ( $\sphericalangle AEC$ ), nemůže být menší než  $56^\circ 56'$ . Grassi předpokládal horní část atmosféry ve vzdálenosti 100 i. m., tudíž o 40 i. m. více, než bylo tehdy přijímáno. Další uvedená pozorování jsou z Innsbrucku, vzdáleného od Říma přibližně 400 i. m.. Dne 13. listopadu 1618 zde byla kometa úhlově vzdálena od Arkturu  $10^\circ 53'$ , zatímco v Římě ve stejném čase  $10^\circ 55'$ . Odtud vyvodil, že pokud by se kometa nacházela na hranici dráhy Měsíce, její paralaxa by měla být větší než  $2'$  pro pozorovatele vzdálené uvedených 400 i. m.



# Podstata komet

italský astronom, právník **Mario Guiducci 1585 - 1646**, *Rozprava o kometě, r. 1619*

italský fyzik, astronom **Galileo Galilei 1664 – 1642**, *Prubíř r. 1623*

DISCORSO  
DELLE COMETE  
DI MARIO GUIDUCCI  
FATTO DA LVI  
NELL'ACCADEMIA FIORENTINA  
NEL SUO MEDESIMO CONSOLATO.



IN FIRENZE

Nella Stamperia di Pietro Ceconcelli, Alle Stelle Medicee. 1619.

CON LICENZA DE' SUPERIORI.

Sluncem, které se nacházely za drahou Měsíce. Podle Guiducciho existovaly dva typy. Některé byly reálné a skutečné, zatímco ostatní byly čirého vzhledu, odrážející světlo, což v návaznosti na pythagorejskou kometární teorii vyjádřil v [14] slovy: „... předpokládali, že komety nejsou reálnými objekty, ale čiré obrazy a jevy, viditelné některými lidmi, a ne ostatními podle toho, zda látka, ve které jsou obrazy vytvářeny byla nebo nebyla umístěna na vhodném místě pro odraz při lidském vidění k Slunci.“

Uvedme některé z dalších Guiducciho myšlenek: „Mnoho hvězd neviditelných pouhým okem jsou snadno pozorovatelné dalekohledem, tudíž jejich zvětšení by mělo být vyvoláno spíše nekonečností než neexistencí.“ Dále konstatuje: „... lidé, kteří si přejí určit polohu komety prostřednictvím paralaxy musí nejdříve prokázat, že kometa je stabilní skutečný objekt a nikoliv pouhý čirý zjev, paralaxa je očividně průkazná pro reálné předměty, ale nikoliv pro zdánlivé.“

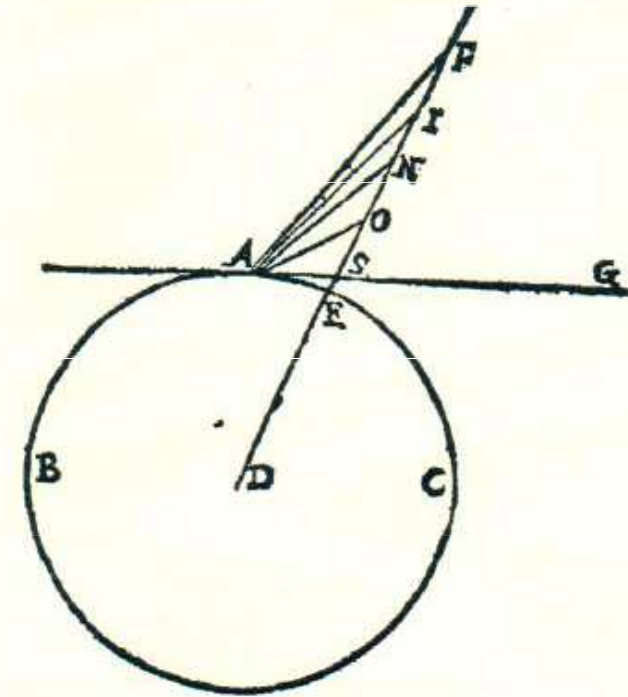


# Podstata komet

## Mario Guiducci 1585 - 1646

## Galileo Galilei 1564 - 1642

Kometární optická teorie byla Guiduccim interpretována prostřednictvím klíčového obr. 9 z [14], který částečně doplněný byl použit a rozebírán i ve spisech [16], [17]. Následující výklad vychází z textu v [14]. Nechť BAC je povrch zeměkoule, E je místo, odkud se zdvihají výpary a exhalace, s nimiž spojené optické jevy vytvářejí kometární zjev. A je místo pozorovatele, který z počátku „vidí“ kometu v místě S, jejíž poloha se promítá na oblohu do G. Výpary a exhalace se pohybující rovnoměrně podél přímky DF, jednotlivé úseky v horních vrstvách atmosféry SO, ON, NI a IF odpovídají stejným časům. Pozorovatel v A sleduje kometu pod postupně zmenšujícími se úhly. Tudíž se mu jevila neustále menší a v pohybu pomalejší, zatímco ve skutečnosti se přemísťovala rovnoměrně po přímočaré dráze. Později Galileo v Prubíři [17] studoval, v jakém poměru probíhá zmiňované úhlové zpomalení. V analogickém obr. 10 z [17] ABC označuje povrch zeměkoule. Galileo našel, že jestliže kometa prolétá postupně úseky EF, FM a MO, jeví se pozorována v bodech F, I a L, její pohyb se výrazně zpomaluje, neboť oblouk FI tvoří polovinu oblouku GF, oblouk IL polovinu oblouku FI atd. Pozorovaný pohyb komety se musí zmenšovat stejnou měrou.



*retta ascendente perpendicolarmente, verso 'l Cielo, secondo la quale si muova la materia della cometa, e sia quella la linea.*

Obr. 9 Výstup výparů a exhalací v atmosféře Země podle Rozpravy o kometě.

# Podstata komet

Vraťme se k obr. 9, ve kterém se Slunce nachází pod pozorovatelným horizontem vymezeným přímkou AG. Podle Galilea výpary a exhalace v bodě O odrážejí sluneční paprsky do místa pozorování komety A. Odražené paprsky procházejí zemskou atmosférou, která není čistá a tvořená pouze vzduchem, ale i nečistotami. Poněvadž zemská atmosféra je do určité výšky směsí výparů a exhalací, je hustší v nižších vrstvách a řidší ve větších výškách. Dochází tak k lomu odražených paprsků. Jestliže je pozorovatel v bodě A, bod dopadu a lom paprsků leží ve stejné rovině procházející délkou komety, ohon tak vidíme přímý – rovný. A naopak, pokud je oko pozorovatele mimo tuto rovinu, vidíme ohon zakřivený. V popsané teorii se Galileo pokusil vyložit pozorované úkazy u komet aplikací geometrických a optických úvah. Žádné detailní kvantitativní údaje o velikostech komet, jejich minimálních a maximálních vzdálenostech od Země, jakož i objemech a tvarech výparů a exhalací odpovědných za kometární jevy nepodal. Teorie tak byla spíše kva-

litativním popisem. Přestože autor žil v době úspěšného zdokonalování pozorování prostřednictvím dalekohledu, vyvíjení nových matematických metod, ve svých výzkumech je však zanedbával, respektive nepoužíval vůbec.

Výše zmiňované teoretické úvahy Galileo doplnil poznatky z pozorování, která prováděli jeho přátelé a žáci, neboť na podzim roku 1618 byl nemocí upoután na lůžko. Z analýzy pozorovacích údajů zjistil, že sledovaný pohyb komety se nezpomaloval v ukázaném poměru. V prvních dnech bylo zpomalení tak malé, že bylo obtížně pozorovatelné. Kometa se přemísťovala denně přibližně o  $3^\circ$  a v průběhu 20 dnů pokles rychlosti pozorovaného přesunu nebyl podstatný.

Podle Galileovy optické teorie se komety měly pohybovat po přímé dráze směrem k zenitu, čehož však mohly dosáhnout pouze u pozorovatelů, kteří se nacházeli přímo nad místem vzniku vznášejících se výparů a exhalací. Dalším důsledkem nutně byla rozdílná rychlost jejich výstupu pro pozorovatele na odlišných místech v Evropě, což Galileo předpokládal. Ze srovnání záznamů pozorování však vyplynulo, že velká kometa r. 1618 se pohybovala severním směrem. Uvedené rozpory potvrzovaly nedostatky Galileovy teorie.



# Galileo, příroda, matematika

Dále Galileo rozvíjel: „Nikdo a nikdy netvrdil, že zvětšení nehybných hvězd je nekonečně velké. Naopak otec Grassi napsal, že je nulové. Siňor Mario [Guiducci] podotkl, že to není pravda, protože velmi mnoho skutečně neviditelných hvězd se stane viditelnými [v dalekohledu], a dodal, že takové zvětšení by bylo lépe nazvat nekonečným než žádným.“

Následně vysvětlil: „Jinak řečeno, zobrazení neviditelných hvězd není menší než zobrazení viditelných hvězd rozložených ve vesmíru.“

Správně Galileo předpokládal, že velmi vzdálené hvězdy pozorujeme v zorném poli malého dalekohledu stále jako pouhé body. Jeho přístroj složený z objektivu čočky a okuláru rozptylky v nejlepším technickém provedení dosahoval zvětšení přibližně až 30násobné. Poskytoval tak relativně malé zvětšení úhlu, pod kterým byly objekty pozorovány. Podle Galilea dalekohled činí hvězdy viditelnými, zvětšuje jejich zobrazení a jasnost. Řečeno současnou optikou, zvětšuje pozorovací úhel, jakož i jasnost objektu, což je vyvoláno nárůstem počtu fotonů. Lze shrnout, že Galileo v polemice důsledně hájil jím používaný optický přístroj – dalekohled.

Hlavně však formuloval nový přístup ke zkoumání přírody. Galileo představil manifest nové vědy, podložený důkazy založenými na pozorováních, zkušenostech a přesných matematických výpočtech. Vyzdvihl vědecký přístup, otevření knihy přírody je podle něj dostupné pouze těm, kteří znají jazyk matematiky. Nastínil tak jasný plán zaměření přírodní filozofie – *philosophia naturalis*, jak se nazývala později.

Čtení knihy přírody podle Galilea nutně vyžaduje přesnou formulaci myšlenek. Proto v Prubíři vymezil vědecké zásady a význam matematiky, respektive geometrie známými slovy: „Vy, může být, se domníváte, [k Sarsimu], že filozofie je kniha, patřící obrazotvornosti, představivosti jednoho člověka, jako Ilias nebo Zúřivý Roland, knihy, v nichž je nejméně důležité to, zda je pravdivé, co je v nich napsáno. Nikoliv, siňore Sarsi, takto to není. Filozofie je napsána v té majestátní knize, která stále leží otevřena před námi, ale kterou nelze pochopit, pokud se předtím nenaučíme jejímu jazyku a poznání písmen, kterými je napsána. Jejím jazykem je matematika, jádro písmen tvoří trojúhelníky a druhé pouze geometrické obrazce, bez pomoci kterých není možné pochopit lidsky ani jedno slovo; bez nich můžeme kroužit zbytečně v temném labyrintu.“



# Galileo Galilei 1564 - 1642

*fyzika sestoupila z oblohy po nakloněné rovině*

*životopis*

zakladatel experimentální fyziky, r. 1589 jmenován profesorem na univerzitě v Pise r. 1590 ***O pohybu***, dialog Alexandera a Dominika, odmítnutí Aristotelových představ o pohybu, o *tělesech těžkých a lehkých*, o tom, že *rychlost padajících těles je závislá na jejich tíze*, experimenty na šikmé věži v Pise - ***rychlost padajících těles je stejná pro všechna tělesa***

r. 1592 profesor matematiky na univerzitě v Padově, přednášky vycházely z Elementů Euklida, Almagestu Ptolemaia, výsledky vlastních experimentů

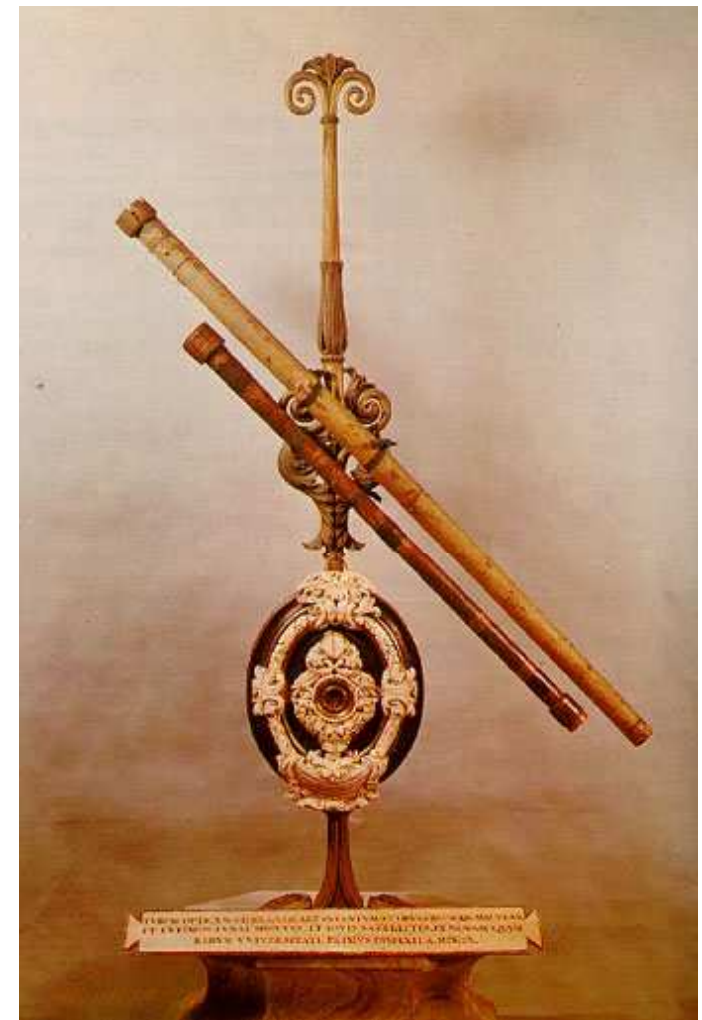
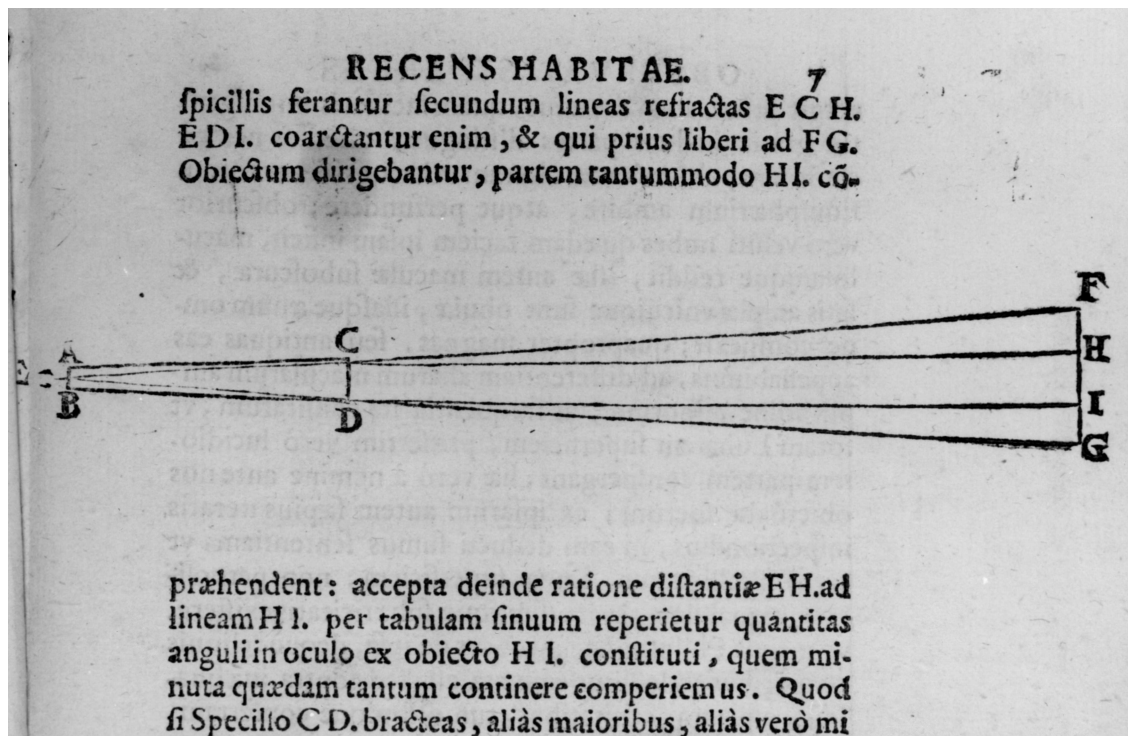
# Galileův dalekohled

Hans Lipperschey 1608

pozorování Galilea 1609

schema dalekohledu

objektiv spojka,  
okulár rozptylka  
 $Z \approx 10 - 30$



# Galileův dalekohled

Objev dalekohledu zásadním způsobem změnil astronomii. Pozorování s ním umožnilo získat zcela nové poznatky o nebeských tělesech a jevech s nimi spojených. Přístroj měl rovněž pomoci řešit výše zmiňovaný spor o podstatě a poloze komet. Konstrukce dalekohledu byla poprvé popsána ve spisku *Hvězdný posel* (*Sidereus Nuncius*, 1610), který vyšel v březnu. Obsahově pojednával o novém revolučním přístroji – dalekohledu a prvních pozorováních objektů na obloze s ním konaných. Souběžně s Galileem provádělo pozorování s dalekohledem více astronomů, např. Thomas Harriot (1560–1621), Simon Marius (1573–1624), Christoph Scheiner (1573–1650), jak přehledně popsal J. North.<sup>35</sup> Italský astronom však byl první, který svá systematická pozorování publikoval. Mezi roky 1609–1611 byl přístroj nazýván *perspicillum*. Za autora termínu *telescopium*, který se objevil již kolem roku 1611, bývá považován Frederico Cesi (1585–1630).

posloupnost pozorování Měsíc, hvězdy, Jupiterovy měsíce, fáze Venuše, Saturn, sluneční skvrny



# Sidereus Nuncius - Hvězdny posel 1610


*Sec<sup>mo</sup> Principi.*

Galileo Galilei Humilis<sup>s</sup> Servus della Ser.<sup>ma</sup> V.<sup>ca</sup> inuigilana.  
 Io annuando et de ogni spinto se bene ho solam satisfare  
 aluorio che nome della Ser.<sup>ma</sup> di Mademati<sup>ca</sup> nella Ser.<sup>ma</sup>  
 Vio di Padova,

---

Inuero d'auere determinato di presentare al Sec<sup>mo</sup> Principe  
 l'ichiale et il p<sup>re</sup>ncipe di giuramento inestimabile se ogni  
 ragione et in inera marittima o terreste stimo di tenere qual  
 che nuovo artificio ne l' maggior segreto et solam a disposizione  
 di u<sup>ost</sup>ra Ser.<sup>ma</sup> l'ichiale sanato dalle piu u<sup>ost</sup>re speculazioni di  
 prospetua in l' uantaggio di scoprire Legni et Vele dell' inimia  
 p<sup>re</sup>ue hire et piu di tempo prima di esse suspra noi et distinguendo  
 il numero et la qualita de i Vasselli giudicare se piu forte  
 palloirsi alla uicia al combattimento o alla fuga, o pure uero  
 nella battaglia aperta u<sup>ost</sup>re et particolarly distinguere ogni sus  
 to et propriamento.

*Feb 7. di Gennaio*  
 Giove si uide u<sup>ost</sup>re \* \* \* uici: \* \* \*  
*Feb 8 uici* \* \* \*  
 \* \* \* ora d'uy diretto et no retrogrado  
*Feb 12. si uide in tale uisione* \* \* \*  
*Il 13 si uide uicini a Giove 4 stelle* \* \* \* \* \* Inglese uici  
*Feb 14 è anglo* \* \* \* \* \*  
*Il 15* \* \* \* \* \* la pres<sup>ta</sup> a 7<sup>o</sup> ora in mig<sup>o</sup> la 4<sup>ta</sup> ora di  
 stante dalla 3<sup>a</sup> l' appo uicini  
 Lo spazio delle 3 uicini ad ora  
 maggiore del diametro di 7<sup>o</sup> et e  
 uero in linea retta.



S I D E R E V S  
 N V N C I V S  
 MAGNA, LONGEQVE ADMIRABILIA  
 Spectacula pandens, suspiciendaque proponens  
 unicuique, praesertim uero  
 PHILOSOPHIS, et ASTRONOMIS, quae a  
 GALILEO GALILEO  
 PATRITIO FLORENTINO  
 Patuini Gymnasij Publico Mathematico  
 PERSPICILLI  
 Nuper a se reperti hucusque non observata in U<sup>ni</sup>uersis, FIXIS IN  
 KYMERIS, LACTEO CIRCVLO, STELLIS RESPICUIS,  
 et primum uero in  
 QVATVOR PLANETIS  
 Circa IOVIS Stellam disparibus inuolutis, atque periculis, certis  
 mirabilibus circumscriptis, quae, nemini in hunc usque  
 diem cognitis, nouissimè Astrus depen  
 densis primis, atque

M E D I C E A S I D E R A  
 NVNCVPANDOS DECREVIT.



VENETIIS, Apud Thomam Baglionum. M D C X.  
 Sapientiam per Magnam, et Primitiam.

# Galileova pozorování

Jupiterovy měsíce 7. ledna 1610

\* \* ○ \*

Occ.

medicejské hvězdy 13. ledna 1610

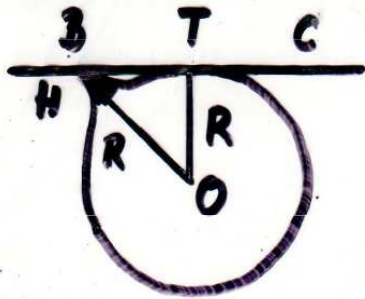
\* ○\*\*\*

Celkem Galileo v *Hvězdném poslu* popsal šedesát čtyři pozorování měsíců provedených do 2. března 1610. Zpětný výpočet poloh konkrétních měsíců ukázal menší spolehlivost jeho pozorování, která nicméně zachycovala vzájemnou polohu měsíců vesměs dobře. Galileo se pokoušel určit úhlové vzdálenosti měsíců od planet, jakož i parametry jejich oběžných drah. Pro nejvzdálenější měsíc od planety uvedl oběžnou dobu přibližně půl měsíce. V následujícím období se pokusil vyjádřit zákonitosti pohybu měsíců. Měly sloužit k určování zeměpisné délky, neboť jejich zákryty Jupiterem nastávaly nezávisle na místě pozorování na Zemi. Mohly tak poskytovat stejný časový okamžik, shodně seřízené hodiny. Rozdíl délek následně bylo možné stanovit z průchodu hvězdy poledníkem. V Galileově době, před vynálezem kyvadlových hodin, však stanovení okamžiků nástupů zákrytů nebylo nejpřesnější. K praktickému využití myšlenky tak nedošlo.

Italskému astronomu patřila publikační priorita objevu Jupiterových měsíců. Německý astronom Simon Marius však byl důkladnějším a přesnějším pozorovatelem. Provedl identifikaci jednotlivých měsíců a ze stanovení maximální elongace určil jejich oběžné doby.



# Galileova pozorování



odol hory,  
mírovna slunečinná  
paprsky CB

- O ... střed měsíce
- B ... odol hory
- H ... vrchol hory
- T ... poloha terminátoru,  
bod dotyku sl. paprsky  
a měsíčnímu povrchu

z  $\triangle BTO$ :

$$BO^2 = BT^2 + TO^2$$

$$BO = H + R$$

$$BT = l \dots \text{lim. vzdálenost od terminátoru}$$

Platí:  $H^2 + 2HR + R^2 = l^2 + R^2$

in předpokladu  $H^2 \ll R^2$  dochováme

$$2HR = l^2$$

$$H = \frac{l^2}{2R}$$

v bodě T není světlo vyrovňování

**Galileovo měření výšky hor na Měsíci**  
— Galileo pozoroval rozhraní stínu a světla (terminátor) na okraji měsíčního kotouče a měřil, které špičky hor se objeví ozářené Sluncem jako jasné body v oblasti stínu. Potom spočetl výšku  $x$  hory podle obrázku pomocí Pythagorovy věty ( $R$  je poloměr Měsíce, který Galileo znal vzhledem k poloměru Země) z rovnice  $(R + x)^2 = R^2 + MN^2$ .

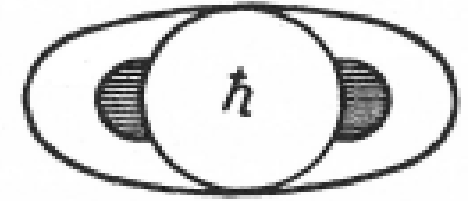
**výška hor na Měsíci**  
 $x = 2 \text{ km}$





# Galileova pozorování

v létě 1610 pozoroval krajní planetu - Saturn jako trojitou, de facto sledoval prstenec, závěr neučinil



začal pozorovat sluneční skvrny, jejich podobu, změny tvaru, a zánik, postup od východního

disku k západnímu, **pohybovaly se**

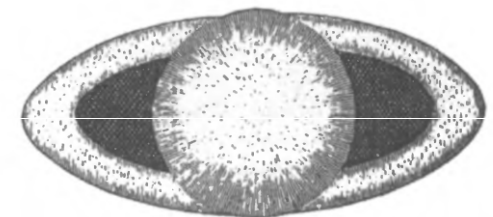
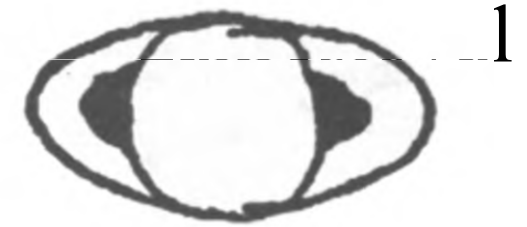
**nerovnoměrně** přes sluneční disk, pochopil jejich souvislost s povrchem Slunce, „*látka*

*skvrn se nesbíhá ke Slunci, ale naopak z něj vychází...*“,

shrnutí ve třech dopisech M. Welserovi,

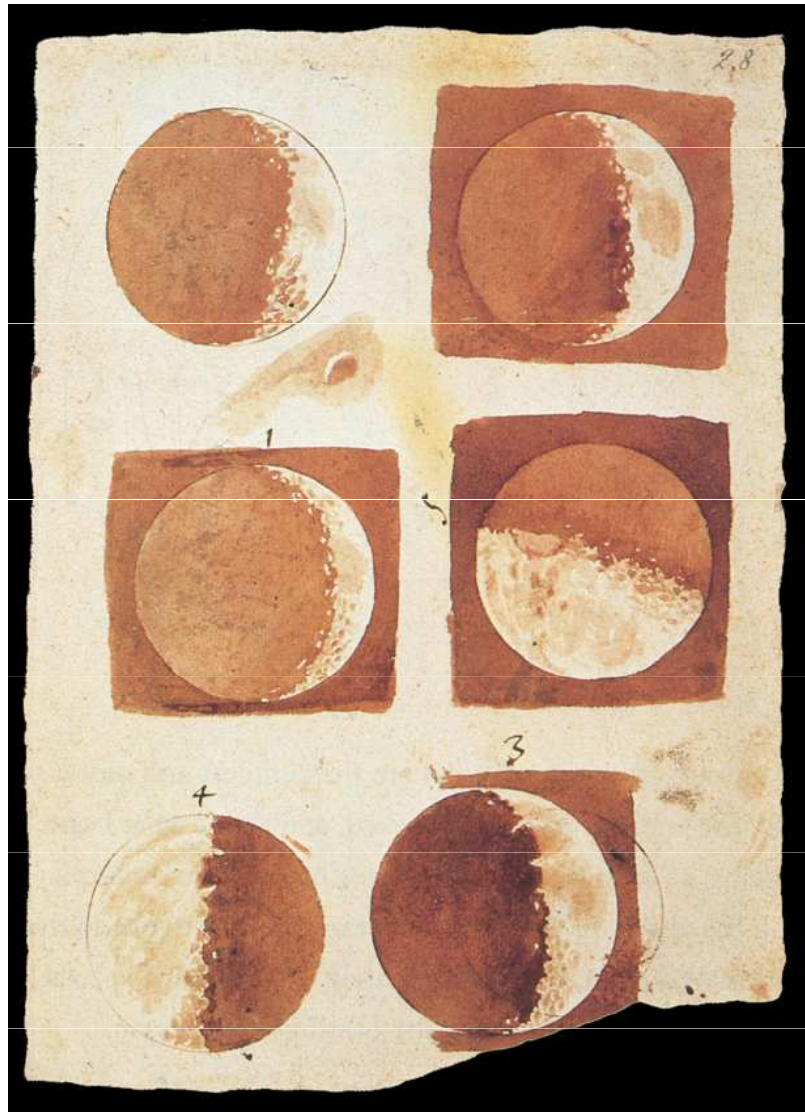
***Historie a demonstrace slunečních skvrn 1613***

skvrny poz. J. Fabricius 1587-1615, Ch. Scheiner 1575-1650

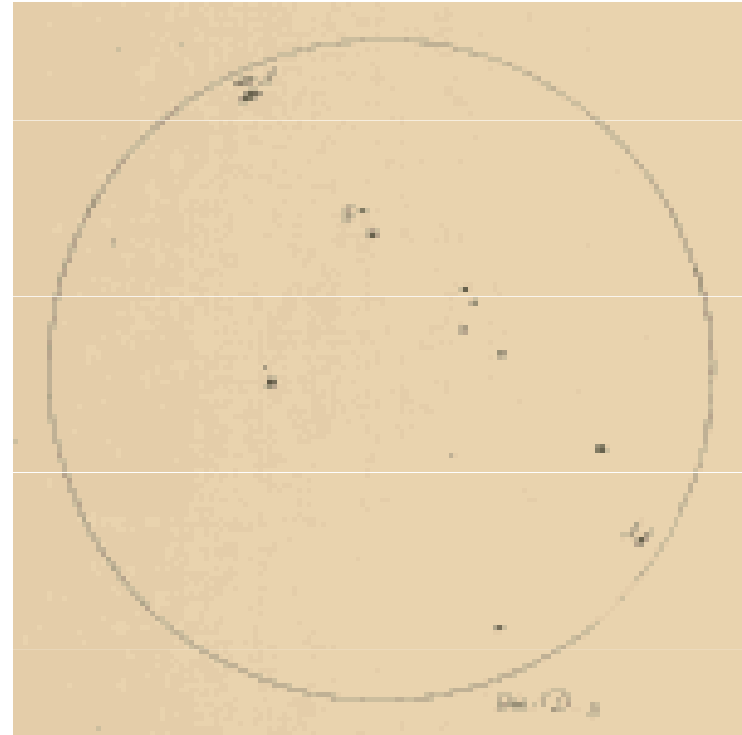


# Galileova pozorování

fází Měsíce

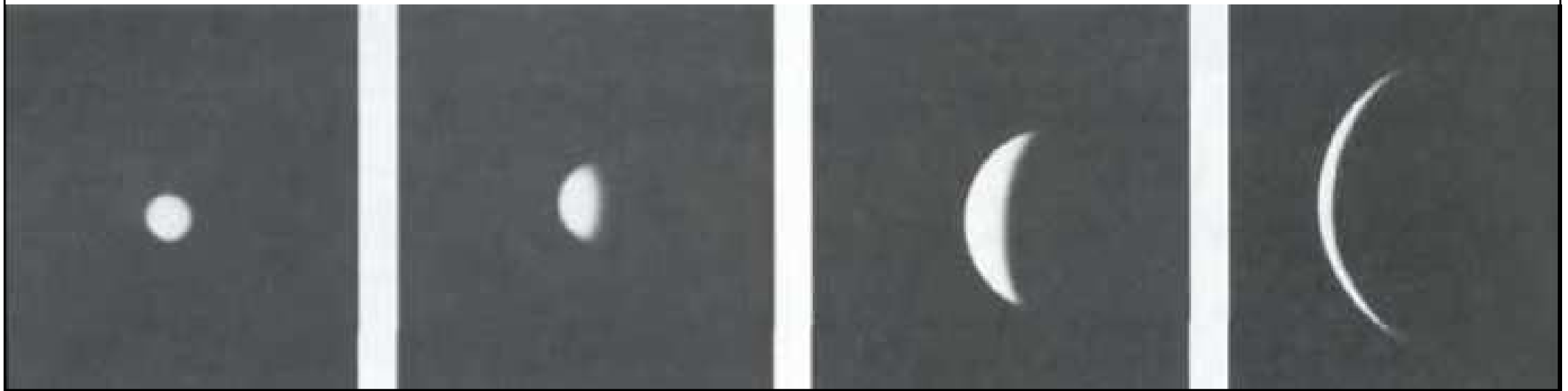
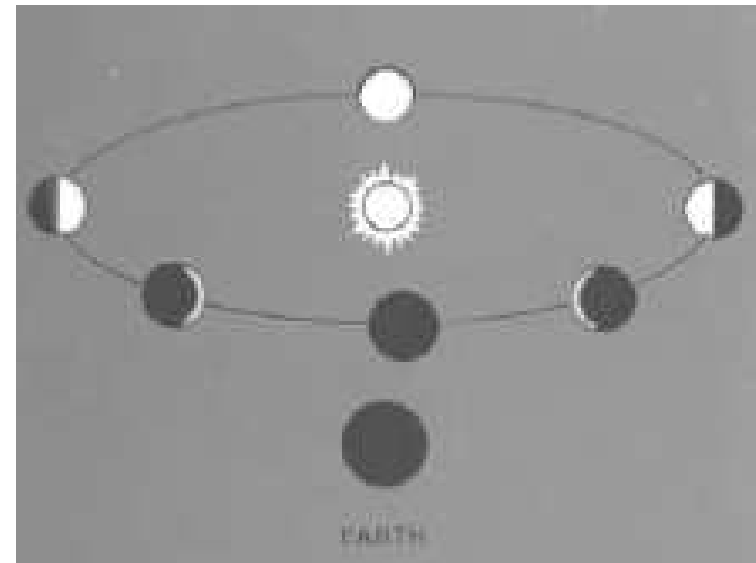
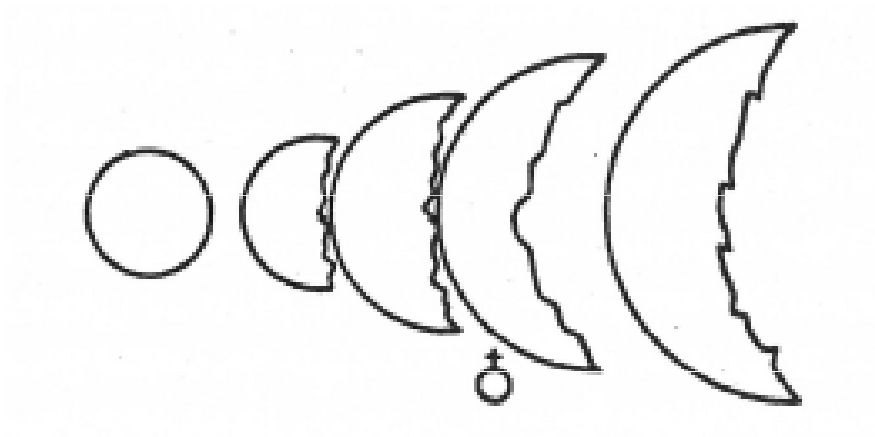


sluneční skvrny



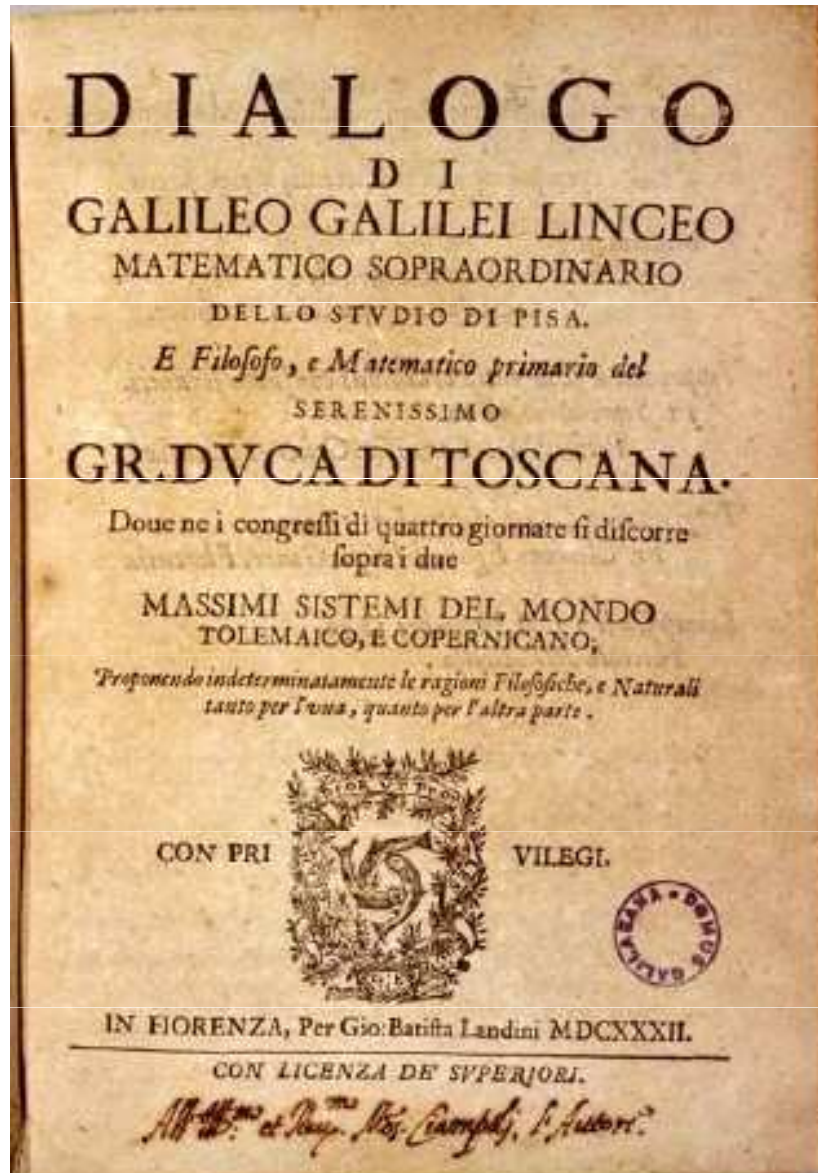
# Pozorování fází Venuše

změna jasností, velikostí a úplný cyklus fází Venuše  
- důkaz heliocentrismu





# *Dialogo sopra i due Massimi Sistemi del Mondo - Dialog o dvou hlavních soustavách r.1632*



# Dialog

Dialog tří osob ve čtyřech dnech, **Salviati** (Galileo), **Simplicio** (Aristoteles), **Sagredo** (rozhodčí) posuzující kdo má pravdu

**První den** - důkazy o proměnnosti nebeských těles (sluneční skvrny, nové hvězdy), vyvracení názorů Aristotela

**Druhý den** - zkoumán pohyb Země, důkazy rotace, formulován **princip setrvačnosti** (kruhový pohyb) a **princip skládání rychlostí, nezávislost doby kyvu kyvadla na hmotnosti**

**Třetí den** - diskuse o nově z. r. 1604, fáze Venuše, měsíce Jupiteru, důkazy heliocentrického uspořádání Sluneční soustavy, jak geometrické, tak i dynamické, zdůvodnění Koperníkovy soustavy

# Dialog

**Třetí den, ukázka:**

Simplicio: *„Z čeho usuzujete, že místo uprostřed oběhu planet náleží Slunci, a ne Zemi?“*

Salviati: *„Docházím k tomu ze zcela očividných, tedy naprosto přesvědčivých pozorování“ ... „všechny planety jsou jednou Zemi blíž, podruhé zase dál a rozdíly těchto vzdáleností jsou značné.“*

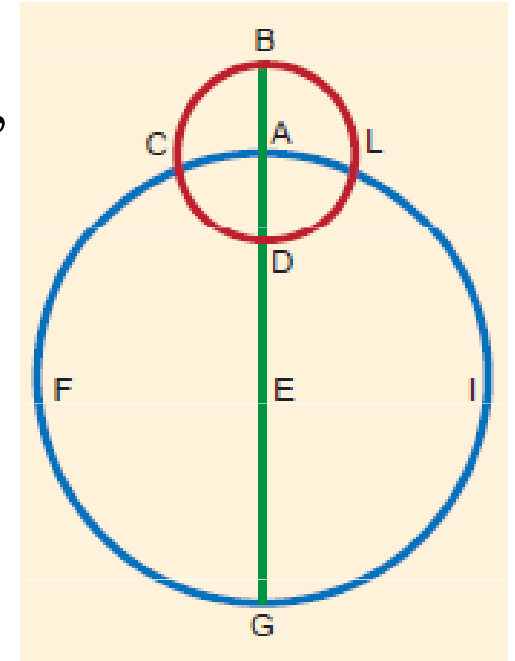
Simplicio: *„Ale čím budete dokládat, že se planety pohybují kolem Slunce?“*

Salviati: *„Pokud jde o tři svrchní planety, Mars, Jupiter a Saturn, jsou Zemi nejbliž, když jsou v opozici, a naopak nejdále, když se dostávají do konjunkce se Sluncem.“*



# Dialog

**Čtvrtý den** - diskuse o mořských přílivech a odlivech, Galileova chybná představa o skládání rychlostí, příliv a odliv jako důsledek rotace Země a jejího oběhu kolem Slunce, přestože znal názory Keplera o tom, že slapy jsou vyvolávány přitažlivostí Měsíce a Slunce



*Discorso del flusso e reflusso del mare r.1616*

*Rozprava o příčinách přílivu a odlivu -*

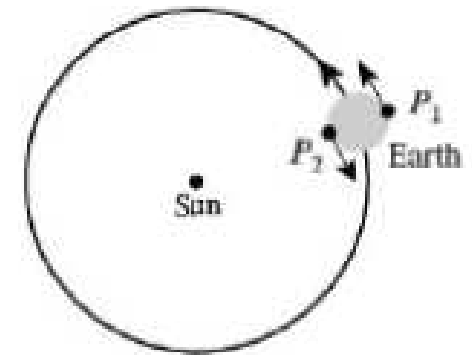
dopis kardinálu Alessandru Orsinimu 1592 - 1626

*Galileo: „Srážkové pohyby závisí na rozdílných polohách a délkách vzájemně propojených moří a jejich odlišných hloubkách, umožňují vzestup těmto nepravidelným poruchám vody, které způsobují starosti ustrašeným námořníkům ...“*

# Galileova představa o přílivech a odlivech

Pohyb částice na povrchu Země – dvě složky první reprezentuje **denní rotační pohyb Země** druhá složka zachycuje **roční pohyb Země kolem Slunce** rychlost částice vody v místě  $P_1$  - součet rychlosti pohybu Země kolem Slunce a rychlosti bodu na povrchu Země v důsledku rotace Země v místě  $P_2$  přivráceném k Slunci je rychlost rovna rozdílu oběžné rychlosti Země kolem Slunce a rychlosti bodu na povrchu Země vyvolaném rotací.

poměr rychlostí ročního a denního pohybu částice na povrchu Země 3 : 1, (1208/365), vzdálenost Země - Slunce 1 208  $R_Z$  skutečný poměr 64 : 1



# Besedy

*Besedy a matematické důkazy o dvou nových odvětvích vědy, vztahujících se k mechanice a místnímu pohybu r. 1638*

stejná forma i účastníci jako v Dialogu

První den - diskuse o hodnotě rychlosti

Sagredo: „*Ale jakého typu a jakého stupně rychlosti musí být pohyb světla? Můžeme ho považovat za okamžitý nebo probíhající v čase jako druhé pohyby?*“

Simplicio: „*...světlo od plamene výstřelu bez jakékoliv ztráty času dopadá do našeho oka opačně než zvuk, který dopadá do ucha za značný časový okamžik.*“

Sagredo: „*...to však neznámá, že šíření světla probíhá okamžitě a nepotřebuje známý, ačkoliv malý časový okamžik.*“



# Galileo - význam

důsledně vycházel z experimentu a jeho pečlivého pozorování  
zakladatel mechaniky – zákony volného pádu, pohybu po  
nakloněné rovině, matematické zpracování, skládání rychlostí,  
Galileova transformace, zákon setrvačnosti pro kruhové  
pohyby

**Dialog i Besedy** - nejen díla fyzikální, astronomická, ale  
především filozofickou obhajobou heliocentrické Koperníkovy  
soustavy

autor pronásledován katolickou církví, zakázán, r. 1633

Galileo odsouzen..., Besedy v protestanském Leydenu,  
1822 Pius VII. povolil knihy s heliocentrismem, Jan Pavel II,  
1992 ...*vzájemná nedorozumění*

# Krabí mlhovina - historie

**M 1**

**NGC 1952**

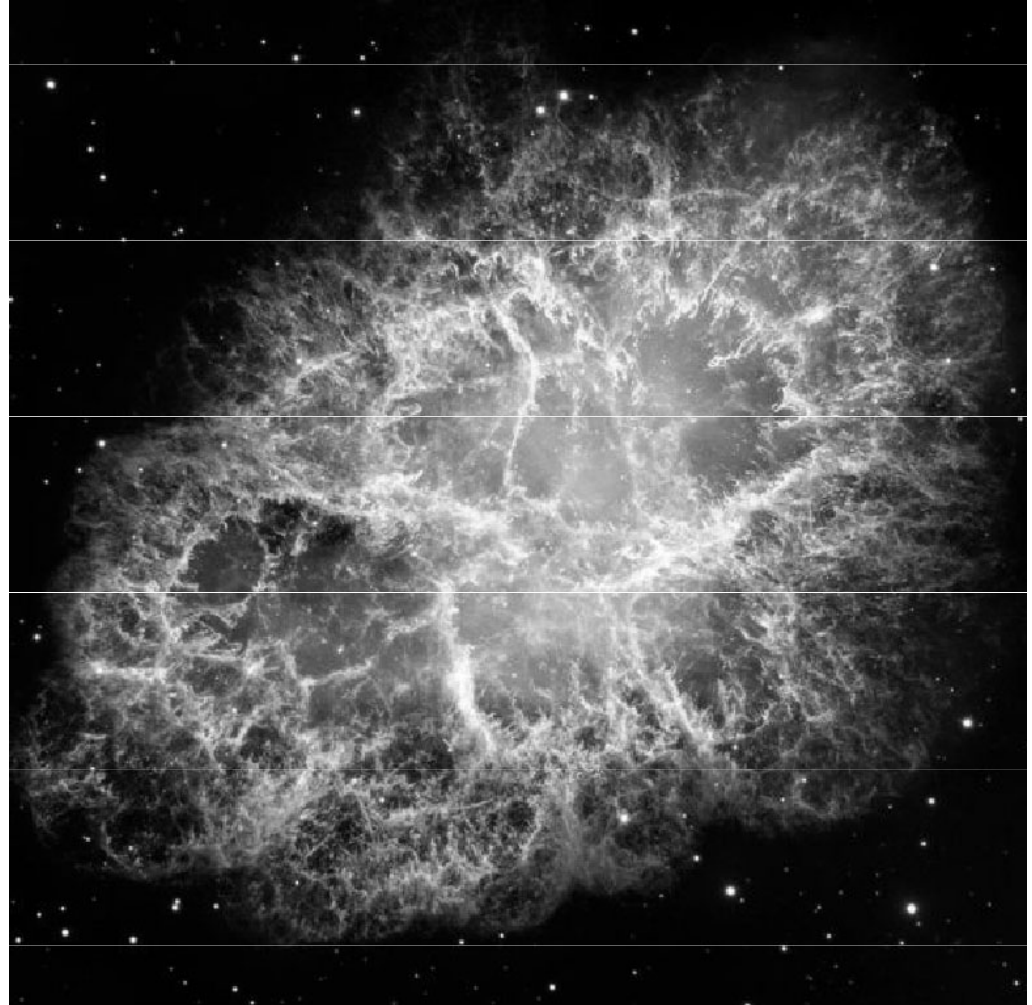
**1,8 kpc**

**8,4 mag**

**180 pc od gal. roviny**

**11 kpc od gal. středu**

**vlastní pohyb 0,037“rok<sup>-1</sup>**



Proč a kdy mlhovina vznikla? Jaká je její stavba a jak se rozpíná?

# Vznik Krabí mlhoviny





# Historické záznamy pozorování exploze supernovy r.1054

凡十一日没三年三月乙巳出東南方大中祥符四  
 年正月丁丑見南斗魁前天禧五年四月丙辰出軒轅  
 前星西北大如桃速行經軒轅太星入太微垣掩右執  
 法犯次將歷屏星西北凡七十五日入濁没明道元  
 年六月乙巳出東北方近濁有芒彗至丁巳凡十三  
 日没至和元年五月己丑出天關東南可數寸歲餘  
 稍没熙寧二年六月丙辰出箕度中至七月丁卯犯  
 箕乃散三年十一月丁未出天囷元祐六年十一月  
 辛亥出參度中犯掩側星壬子犯九游星十二月癸  
 酉入奎至七年三月辛亥乃散紹興八年五月守婁

漢書卷之九十四上二十八宿志中言凡十一日没三年三月乙巳出東南方大中祥符四年正月丁丑見南斗魁前天禧五年四月丙辰出軒轅前星西北大如桃速行經軒轅太星入太微垣掩右執法犯次將歷屏星西北凡七十五日入濁没明道元年六月乙巳出東北方近濁有芒彗至丁巳凡十三日没至和元年五月己丑出天關東南可數寸歲餘稍没熙寧二年六月丙辰出箕度中至七月丁卯犯箕乃散三年十一月丁未出天囷元祐六年十一月辛亥出參度中犯掩側星壬子犯九游星十二月癸酉入奎至七年三月辛亥乃散紹興八年五月守婁

٢٤٢

انشاء المصريين وجرى بين ابن بطران وابن رشوان وفائع كثيرة في ذلك الوقت وتوارد  
 نظر بين تلامذتين فائدة وقد تضمن كثيرا من هذه الاشياء كتاب الله ابن بطران بعد  
 خروجه من دار مصر واجتماعه ابن رشوان ولان رشوان كتاب في الرد عليه وكان ابن  
 بطران أعذب الفاظا وأكثر نظرا وأميز في الادب وما يتعلق به وما يدل على ذلك ما ذكره  
 في رسالته التي وجهها بدعوة الاطباء وكان ابن رشوان ألب وأعلم بالعلوم الحكيمية وما  
 يتعلق بها وكان ابن رشوان أسود اللون ولم يكن بالجميل الصورة ولم يتألف في ذلك يومها  
 على من غيره، ومع الخلق وقد بين فيهم ابراهيم أن الطبيب القائل لا يجب أن يكون وجهه  
 جيلا وكان ابن بطران أكثر ما يقع في علي بن رشوان من هذا القبيل واشباهه ولذلك يقول  
 في رسالة التي وجهها لبقعة الاطباء (الطويل)

فلما تبدي للثواب وجهه \* تكلم على أعقابهم من الندم  
 وقلن وأخفن الكلام تسترا \* الا ليتنا كنا تركناه في الرحم  
 وكان يلقبه بتمساح الجن وسافر ابن بطران من دار مصر الى القسطنطينية وأقام بها سنة  
 وعشرت في زمنه أو بآء كثيرة (وقالت) من خطبه فيما ذكره من ذلك ما هذا ما قاله  
 ومن مشاهد الاوباء في زماننا الذي عرض عند طلوع الكوكب الاثري في الجزاء من  
 سنة ست وأربعين وأربعمائة فان في تلك السنة دفن في كنيسة لوقا بعد أن امتلأ جميع  
 الدفن التي في القسطنطينية أربعة عشر ألف نسمة في الخريف فلما توسط الصيف  
 في سنة سبع وأربعين لوقف النيل غمات في القسطنطينية والشام أكثر أهلها وجميع القرية  
 الامن شاء الله وانتقل الوباء الى العراق فأقبح أكثر أهلها واستولى عليه الطراب  
 بطرق المسالك المتعددة واتصل ذلك بها الى سنة أربع وخمسين وأربعمائة وعرض  
 للناس في أكثر البلاد فروع سوداوية وأورام الطحال وتفسير ترتيب نواب الحصان  
 واضطرب نظام البصرين باختلاف علم القضاء في تقدمه المعرفة وقال أيضا بعد ذلك  
 ولان هذا الكوكب الاثري طلع في برج الجوزاء وهو طالع مصر ووقع الوباء في القسطنطينية  
 بتحصان النيل في وقت ظهوره في سنة خمس وأربعمائة وبعدها وسع لذار بطلبوس  
 القائل في الوباء لاهل مصر اذا طلع أحد ذوات الذوائب وانضم في الجوزاء وما زال  
 زحل برج السرطان تكامل خراب العراق والموصل والجزيرة واختلت ديار بكر وروسة  
 ومصر وقارص وكرمان وبلاد المغرب واليمن والقسطنطينية والشام واضطربت أحوال  
 ملوك الارض وكثرت الحروب والنسلا والوباء وسع حكم بطلمبوس في قوله ان زحل  
 والمرجى في اقتران السرطان زلزال العالم (وقالت) أيضا من خط ابن بطران فيما ذكره  
 من الوباء العظيمة العارضة للعالم بتقدمه العلم بتقدمه العلم في زمانه قال ما عرض في مدة بضع عشرة  
 سنة ببقاة الاجل المرتضى والشجق أبي الحسن البصري والفقير أبي الحسن التتوري  
 وأقضى القضاة الساوري وابن الطبيب الطبري على جماعتهم رشوان الله ومن اصحاب  
 علوم انشاءه أبو علي بن الهيثم وأبو سعيد البعالي وأبو علي بن السمع وساعد الطبيب

Iba Yasuaki

# Čínský historický záznam pozorování supernovy r. 1054

Tchuo – Tchuo: „*V prvním roce éry Č'-che (1054), v pátém měsíci, v den ti-čchou (4. července), se (hvězda – host) objevila několik palců jihovýchodně od Tchien-kuan (Dzeta Tauri).*“

**Biot Édouarde 1843**

**Connaisance des Temps**

**Historický rozbor textu Duyvendak,**

**J. J. L r. 1942, PASP, 54, 91.**

凡十一日没三年三月乙巳出東南方大中祥符四年正月丁丑見南斗魁前天禧五年四月丙辰出軒轅前星西北大如桃速行經軒轅太星入太微垣掩右執法犯次將歷屏星西北凡七十五日入濁没明道元年六月乙巳出東北方近濁有芒彗至丁巳凡十三日没至和元年五月己丑出天關東南可數寸歲餘稍没熙寧二年六月丙辰出箕度中至七月丁卯犯箕乃散三年十一月丁未出天囷元祐六年十一月辛亥出參度中犯掩側星壬子犯九游星十二月癸酉入奎至七年三月辛亥乃散紹興八年五月守婁



# Pozorování supernovy r. 1054

pozorována 3 týdny ve dne  
téměř dva roky v noci

*Aldebaran*

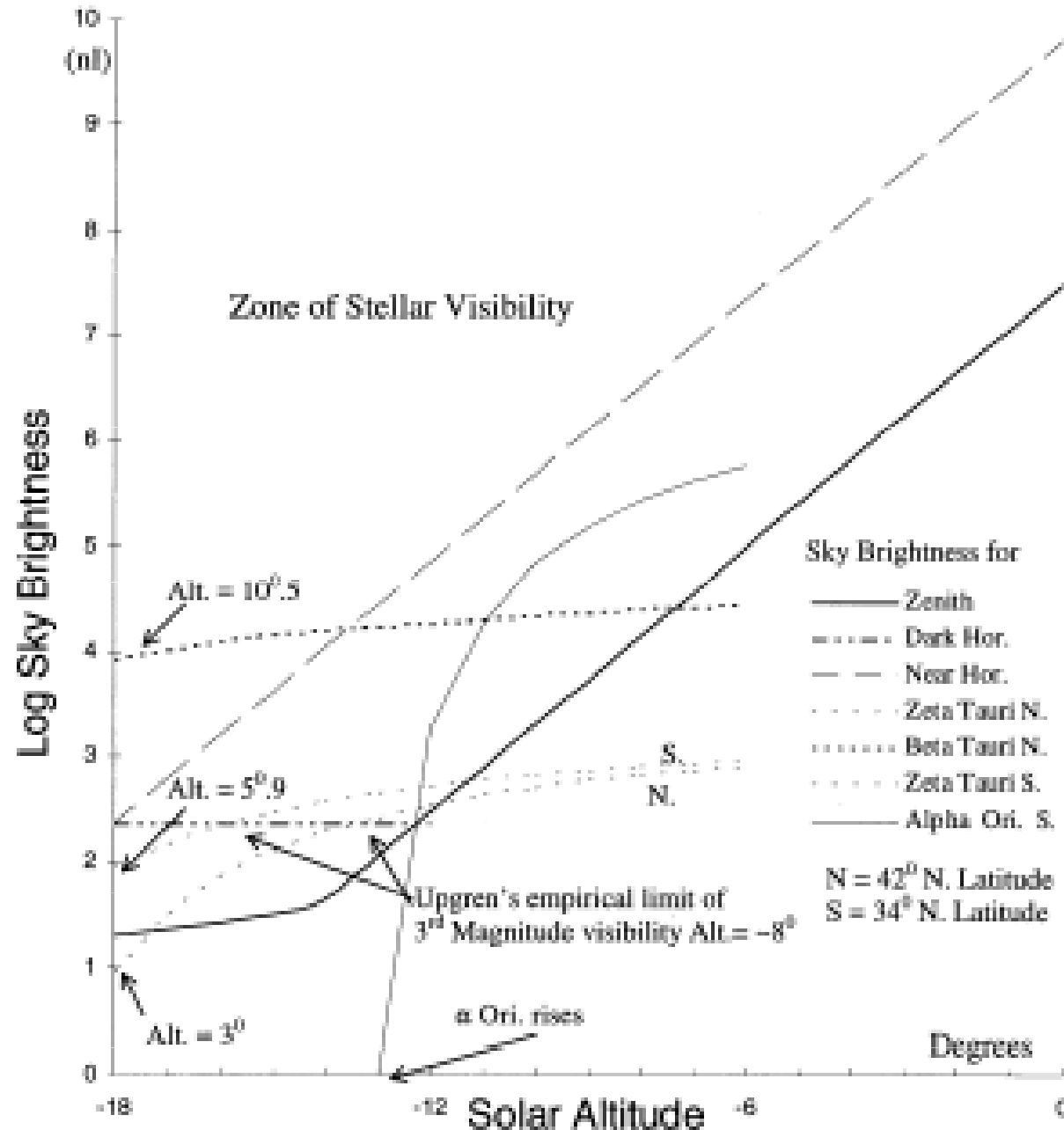
*Pleiades*

rekonstrukce světelné křivky supernovy  
odhadované údaje: 27. července  $m_v - 3.5 \text{ mag}$   
615 dnů  $m_v (6.0 \pm 0.5) \text{ mag}$   
atypická supernova



# Identifikace hvězdy $\zeta$ Tauri

## Stellar Visibility



**hledání správné hvězdy**

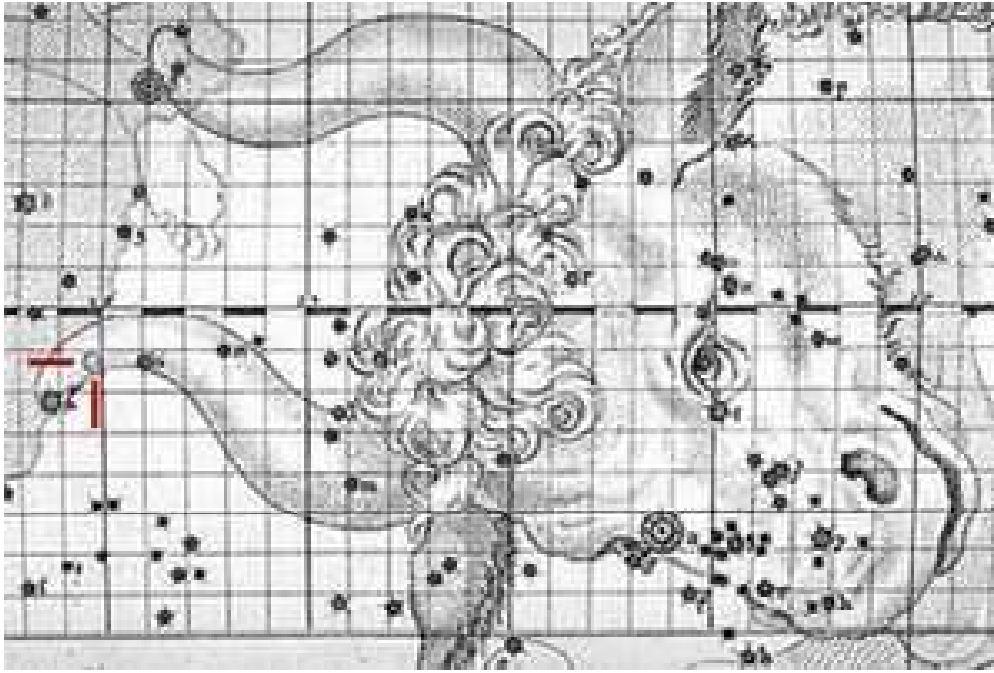
**ranní soumrak - úsvit**

**minimální výška 6°**

**pozorovatelnost v  
severní a centrální Číně -  
dynastie Sung**

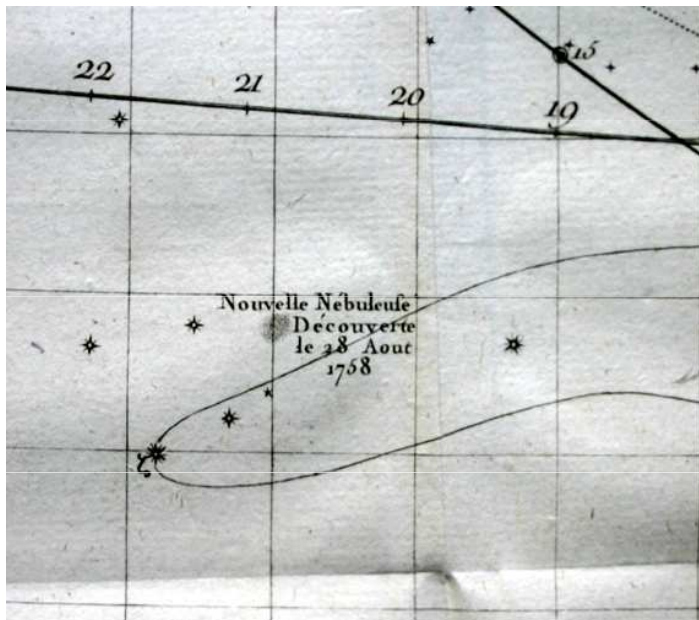
**pozice M 1 nyní 1°  
severozápadně**

# Objevení Krabí mlhoviny v novověku



John Bevis r. 1731

Charles Messier r. 1758



Nebuleuses. 238

DATE des OBSERVATIONS.	Nombres des Nebuleuses.	ASCENSION DROITE.		DECLINAISON.	Hauteur en degres & min.
		En Temps.	En Degres.		
		H. M. S.	D. M. S.	D. M. S.	
1738. Sept. 12	1.	5. 20. 2	80. 0. 33	21. 45. 27 B	
1760. Sept. 11	2.	21. 21. 8	320. 17. 0	1. 47. 0 A	0. 4
1764. Mai. 3	3.	13. 31. 25	202. 51. 19	29. 32. 57 B	0. 3
	8.	16. 9. 8	242. 16. 56	25. 55. 40 A	0. 2
	23	5. 15. 6. 36	226. 39. 4	2. 57. 16 B	0. 3

239 1787.

N. <sup>o</sup> des Nebul.	Détails des Nebuleuses & des amas d'Étoiles. <i>Les positions sont rapportées ci-contre.</i>
1.	Nebuleuse au-dessus de la croupe méridionale de Taurus, ne contient aucune étoile; c'est une lumière blanche, allongée en forme de la lumière d'une bougie, découverte en observant la Comète de 1738. Voyez la Carte de cette Comète. <i>Mém. Acad. année 1759, page 188</i> ; observée par le Docteur Bévis vers 1731. Elle est rapportée sur l'Atlas de l'Ételle anglois.
2.	Nebuleuse sans étoile dans la tête du Verseau, le centre en est brillant, & la lumière qui l'environne est ronde; elle ressemble à la belle Nebuleuse qui se trouve entre la tête & l'arc du Sagittaire, elle se voit très-bien avec une lunette de deux pieds, placée sur le parallèle de $\alpha$ du Verseau. M. Messier a rapporté cette nebuleuse sur la Carte de la route de la Comète observée en 1759. <i>Mém. Acad. année 1760, page 464</i> . M. Maraldi avoit vu cette nebuleuse en 1746, en observant la Comète qui parut cette année.
3.	Nebuleuse découverte entre le Bouvier & un des Chiens de Chasse d'Hévélius; elle ne contient aucune étoile, le centre en est brillant & sa lumière se perd insensiblement, elle est ronde; par un beau ciel on peut la voir avec une lunette d'un pied; elle est rapportée sur la Carte de la Comète observée en 1779. <i>Mémoires de l'Académie de la même année. Revue le 29 Mars 1781</i> , toujours très-belle.
4.	Amas d'étoiles très-petites; avec une faible lunette on le voit sous la forme d'une nebuleuse; cet amas d'étoiles est placé près d'Antaris & sur son parallèle. Observé par M. de la Caille, & rapporté dans son Catalogue. Revu le 30 Janvier & le 22 Mars 1781.
5.	Belle Nebuleuse découverte entre la Balance & le Serpent, près de l'étoile du Serpent, de sixième grandeur, la cinquième suivant le Catalogue de Flamsteed; elle ne contient aucune étoile; elle est ronde, & on la voit

# Mlhovina nebo hvězdokupa?

## pozorování dalekohledem

William Herschel r. 1784

mlhovina bez hvězd

William Parsons -

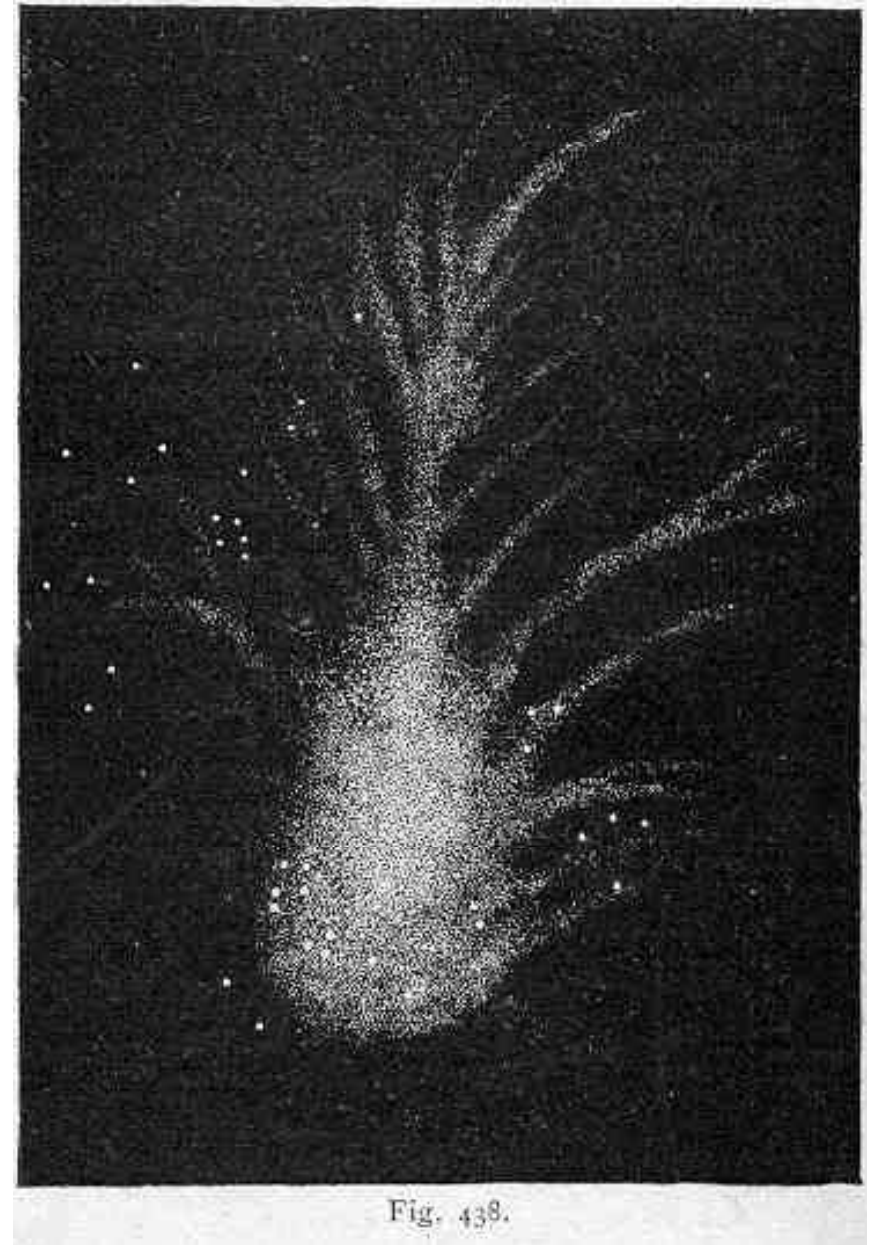
Rosse r. 1844

mlhoviny, její název

William Lassell r. 1852

jasná mlhovina

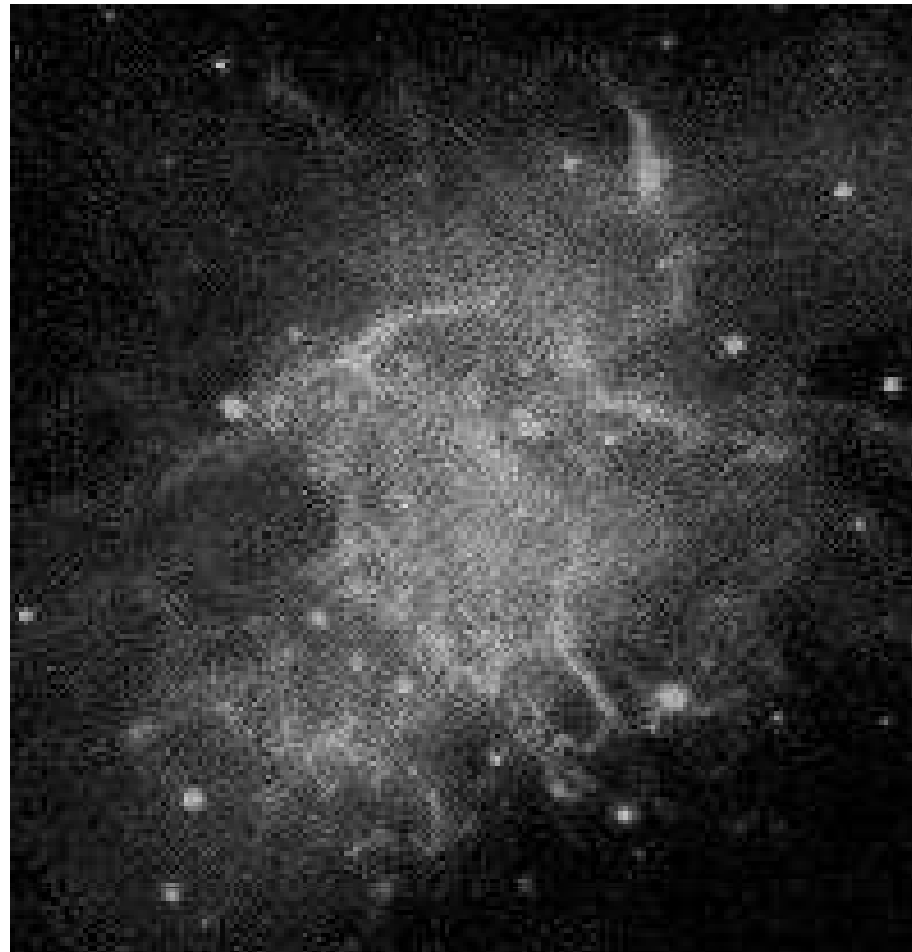
resp. třemi hvězdami





# Mlhovina nebo hvězdokupa?

fotografie Krabí mlhoviny r. 1892 → jemná  
filamentová struktura, Isaac Roberts



# Čárové emisní spektrum

Vesto Melvin Slipher

r. 1913 - čárové spektrum

rozštěpení některých čar,

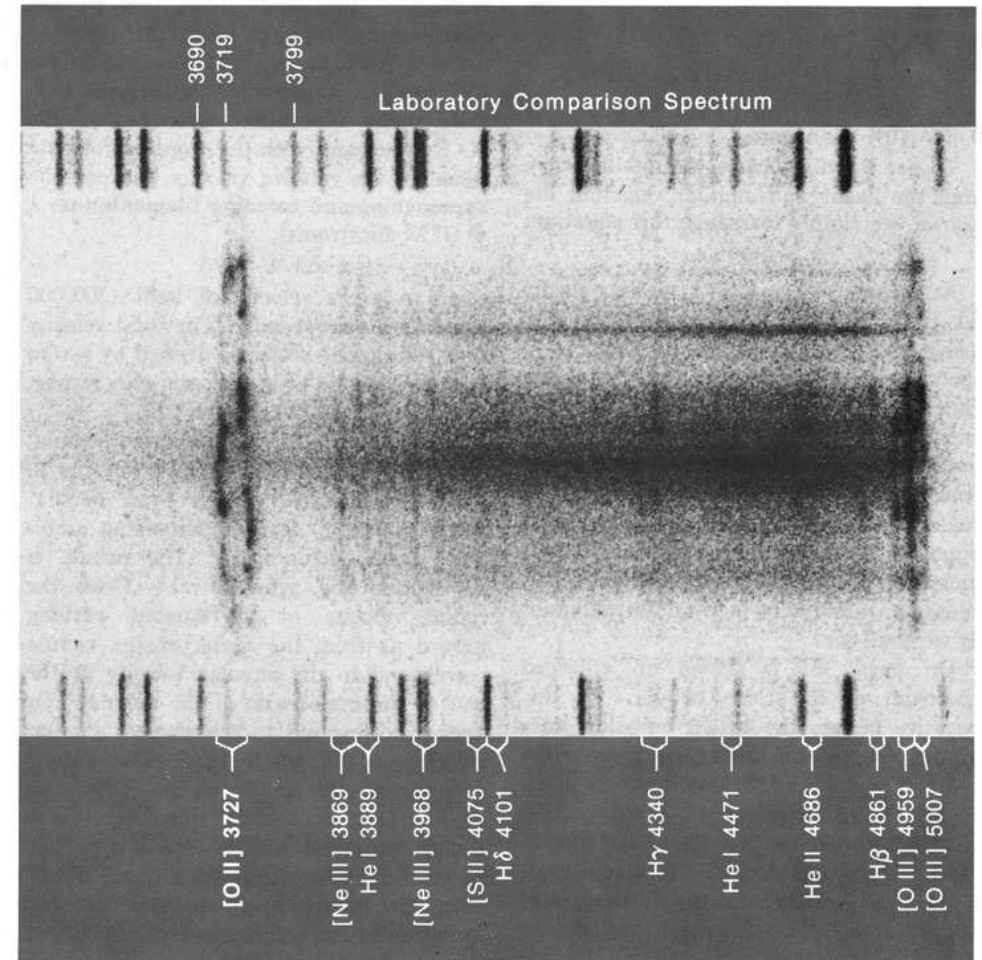
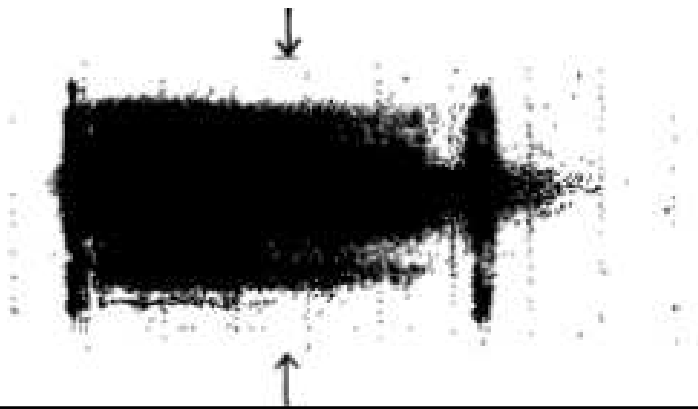
např. [O II] 372,7 nm

→ radiální pohyby filamentů

v mlhovině - fialový či

červený posuv

$$v = c \Delta\lambda/\lambda$$



The spectrum of the Crab nebula, obtained at Lick Observatory by N. U. Mayall with the Crossley reflector. The spectrograph slit was aligned with the major axis of the nebula (here vertical), to record velocity differences along that axis. These are best shown by the necklace shape of the 3727-angstrom oxygen line. A laboratory spectrum of palladium, tin, and lead flanks that of the Crab to give a wavelength scale; nebular lines are identified at bottom.

# Čárové a spojité spektrum

Roscoe Frank Sanford r. 1919

v čárovém spektru na pozadí spojitého spektra správně identifikoval šest jasných emisních čar H, He

zdrojem čárového spektra je vláknitá struktura, obálka vnějších částí mlhoviny, teplota (15 000 – 20 000) K,

$10^9$  částic v  $m^{-3}$ , vysoká teplota je důsledkem uvolňování tepla při srážkách

druhá složka záření vytváří spojité spektrum, zdrojem amorfní látka - původ synchrotronové záření

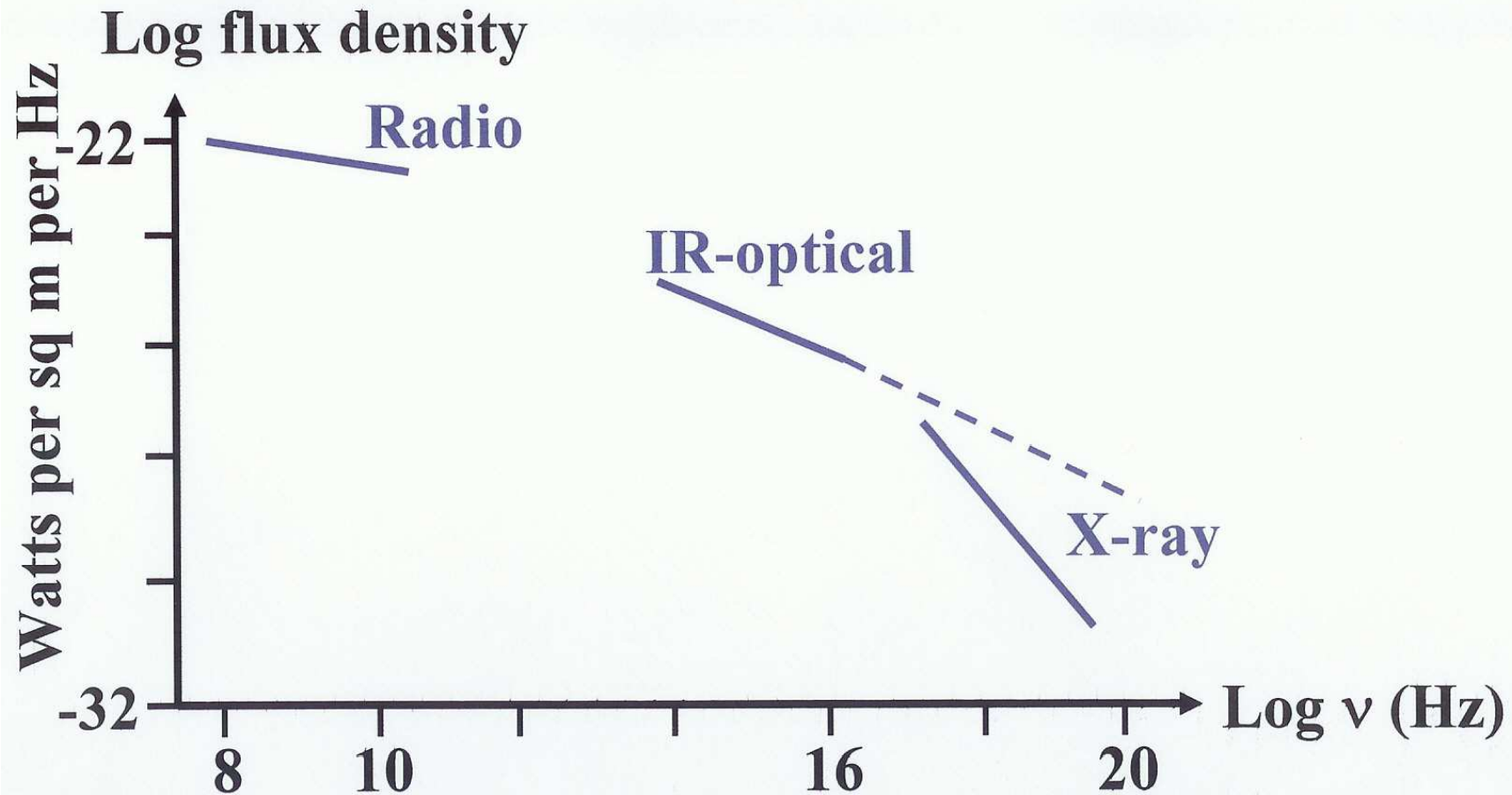
Josip Samuilovič Šklovskij DAN **90**, 1953 - hypotéza původu spojitého spektra - synchrotronové záření, potvrzeno

V. A. Dombrovski, M. A. Vašakidze 1953 - lineární polarizace záření v optické oblasti  $\approx 7\%$



# Spektrum Krabí mlhoviny

## Spectrum of the Crab Nebula



also  $\gamma$ -rays detected up to  $2.5 \times 10^{11}$  eV

# Expanze Krabí mlhoviny

John Duncan r. 1921, PNAS, vol. 7, 179

## Changes observed in the Crab Nebula Taurus

snímky 60ti palcovým dalekohled Mount Wilson

říjen 1909 → duben 1921 = 11,5 roku

stereokomparátor a mikrometr

srovnávací hvězdy, šipky – trajektorie vláken a hvězd na 500

roků při konstantním vlastním pohybu

**závěr práce:**

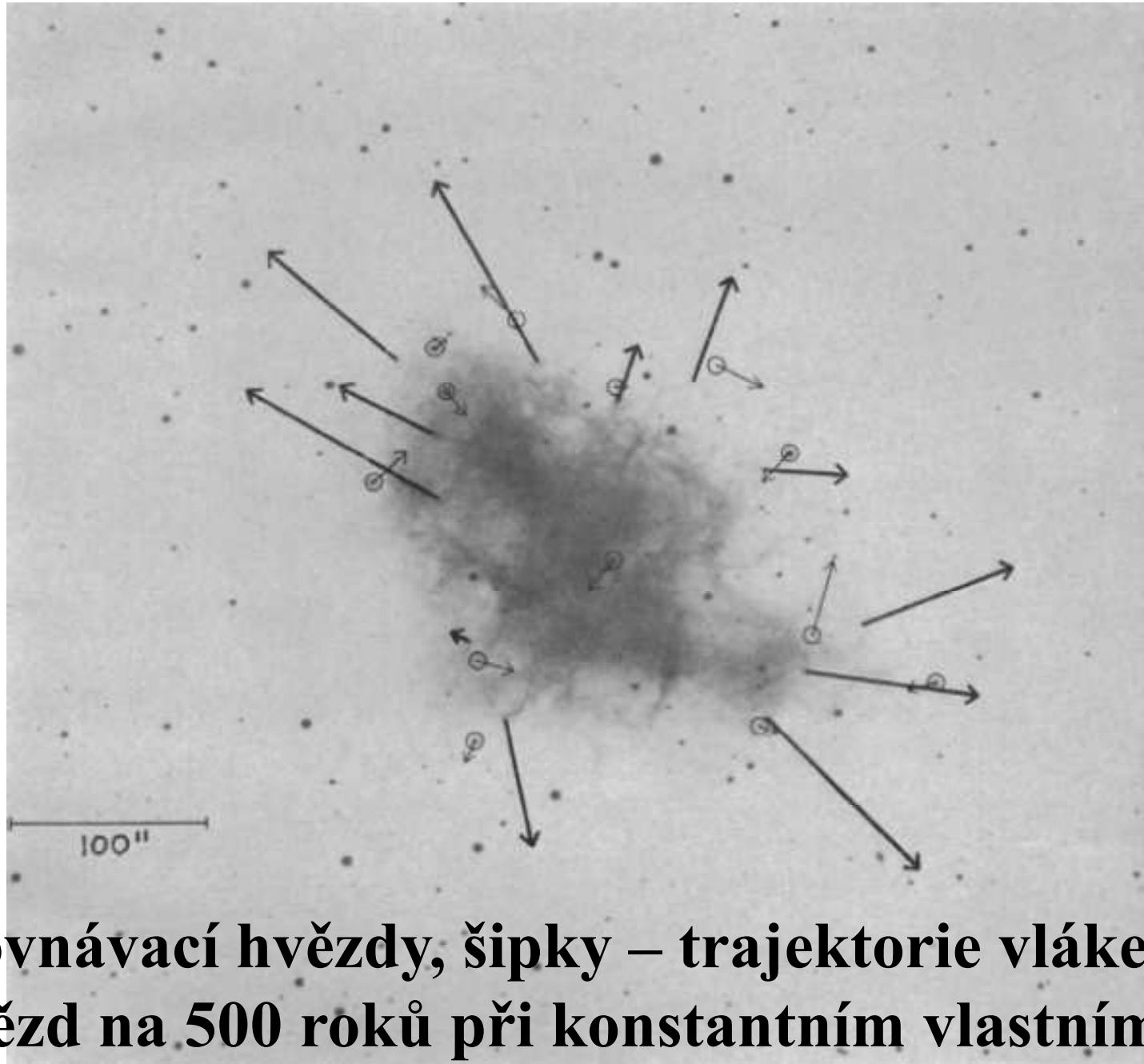
**zřetelný systematický pohyb vláken mlhoviny, náhodný pohyb**

**hvězd**

**celkem 12 bodů (vláken, uzlů) mlhoviny zachycujících její**

**expanzi - mlhovina expanduje!**

# Expanze Krabí mlhoviny



srovnávací hvězdy, šipky – trajektorie vláken a hvězd na 500 roků při konstantním vlastním pohybu



# Expanze Krabí mlhoviny

John Duncan r. 1939, ApJ **89**, 482

Second Report on the Expansion of the Crab Nebula

stejný dalekohled na Mount Wilson, interval 29 roků,

měřeny polohy 20 bodů mlhoviny, šipky zachycují

trajektorie na 500 roků při konstantní rychlosti,

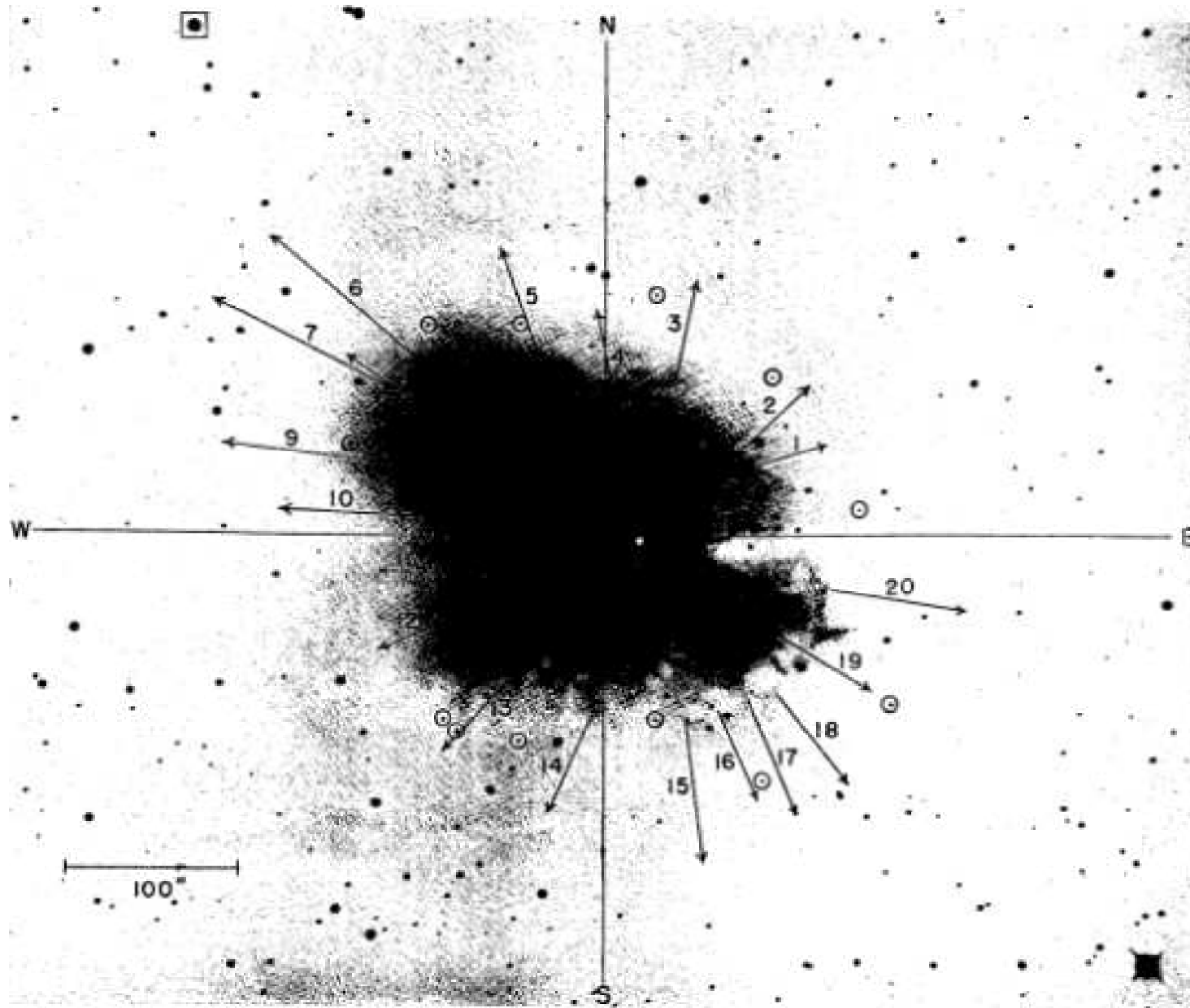
počátek expanze v bílé skvrně, v blízkosti centrální

dvojhvězdy jižní složka dvojhvězdy  $0,019''$  / rok

vlastní mlhovina  $0,037''$  / rok, při  $r = 1,3$  kpc,  $230 \text{ km.s}^{-1}$

Duncan vyslovil hypotézu o **zrychlování expanze**

# Expanze Krabí mlhoviny



EXPANSION OF THE CRAB NEBULA

The vectors indicate the motion of twenty nebulous points in 500 years. Projected backward they suggest an outburst occurring about 800 years ago at the point marked by the white spot. Comparison stars are encircled.

# Odkud mlhovina expanduje?

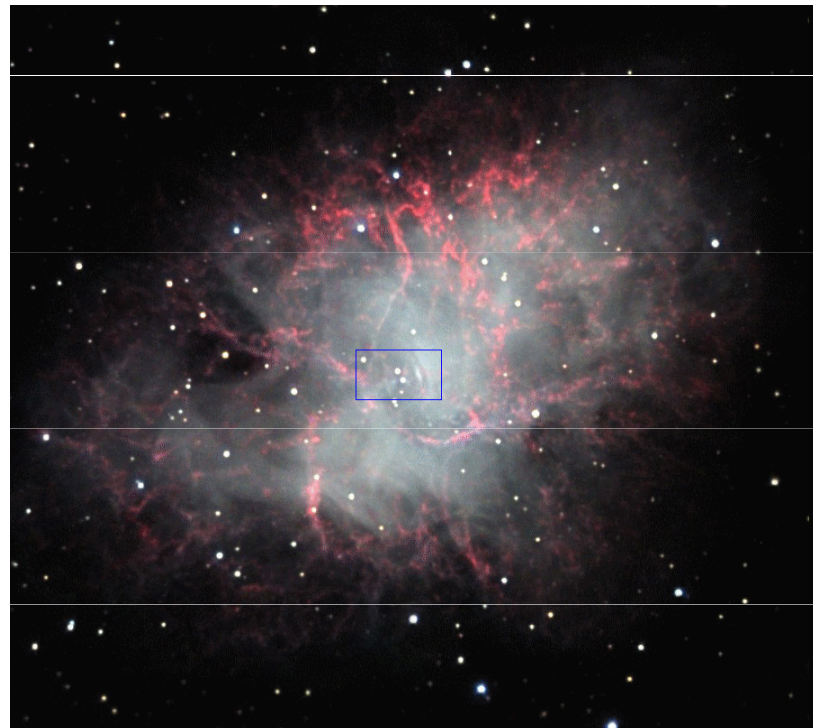
Hledání progenitoru pomocí fotografií

Herbert Curtis r. 1918

Carl Lampland - PASP 33,1921, 79

John Duncan - Mount Wilson C 76,1921,179

podezření na dvě centrální hvězdy





# Z čeho mlhovina vznikla?

## Nova x supernova?

Edwin Hubble r. 1928

PASP Leaflet 14, January 1928, 55

### **Novae or temporary Stars**

to reach its present dimensions. For, in the ancient accounts of celestial phenomena only one nova has been recorded in the region of the Crab Nebula. This account is found in the Chinese annals, the position fits as closely as it can be read, and the year was 1054! The great loop

# Nova x supernova?

Nicholas Mayall

PASP Leaflet **119**, January 1939

## **The Crab Nebula, a probable Supernova**

THE CRAB NEBULA, A PROBABLE  
SUPERNOVA

*By* NICHOLAS U. MAYALL  
*Lick Observatory*

**I**N THE year of our Lord 1054, when Omar Khayyam was a small boy, and the Battle of Hastings still twelve years in the future, an unknown Chinese astronomer, perhaps weary and sleepy after working

stav výzkumu mlhoviny, včetně spektroskopie, posun názorů -  
**supernova**

# Která hvězda je centrální?

**Walter Baade r. 1942, ApJ 96, 188**

## **The Crab Nebula**

rozdělení mlhoviny – vnější vláknová obálka,  
vnitřní amorfní struktura, úhlová rychlost expanze  
mlhoviny 0,2"/rok,

**zrychlování expanze objevené Duncanem označil  
za sporné**

r = 1,2 kpc, centrální hvězda, supernova I typu její  
pohyb, studium spekter dvou hvězd, úhlová  
rychlost expanse mlhoviny



# Která hvězda je centrální?

**Rudolph Minkowski r. 1942, ApJ, 96, 199**

## **The Crab Nebula**

první astrofyzikální pohled na mlhovinu a centrální hvězdu, určení teploty a zářivého výkonu mlhoviny, chemické složení H, He, O, S  
jižní hvězda je centrální hvězdou, odhadnuty její charakteristiky

30 000  $L_{\odot}$ , 500 000 K, 0,02  $R_{\odot}$   $1,8 \cdot 10^5 \rho_{\odot}$

hypotéza – bílý trpaslík **pokračující ve svém vývoji**, 70 % degenerace

# Identifikované emisní čáry v mlhovině r. 1942

TABLE 1

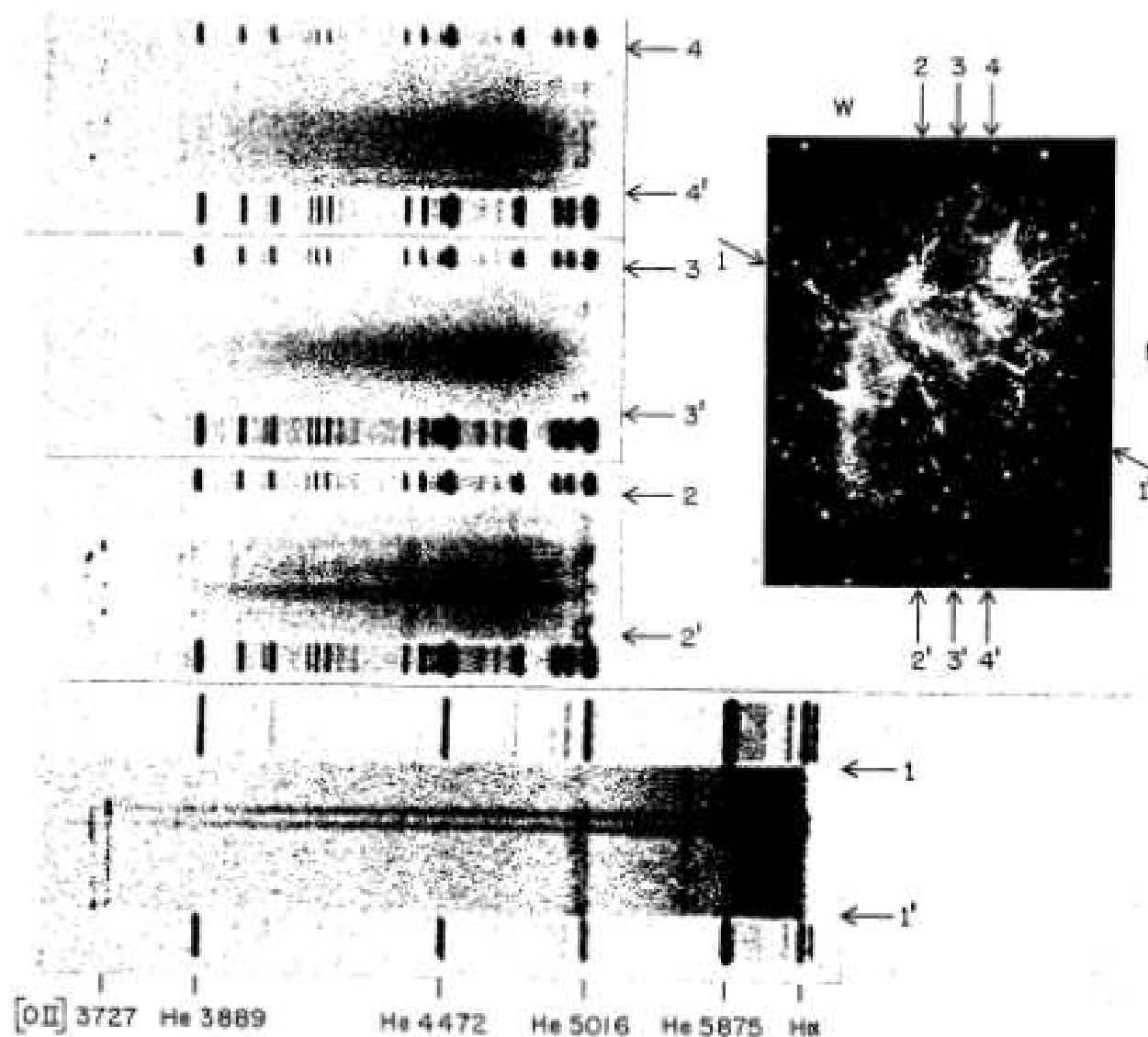
## EMISSION LINES IN THE CRAB NEBULA

Wave Length	Identifica- tion	Wave Length	Identifica- tion
3727*	[O II]	4959*	[O III]
3869*	[Ne III]	5007*	[O III]
3889	He I	5875	He I
3967*	[Ne III]	6300	[O I]
4100*	H $\delta$	6548	[N II]
4340*	H $\gamma$	6563	H $\alpha$
4363*	[O III]	6584	[N II]
4472	He I	6711	[S II]
4686*	He II	6728	[S II]
4861*	H $\beta$		

\* Reported by Mayall, *Pub. A.S.P.*, 49, 101, 1937.

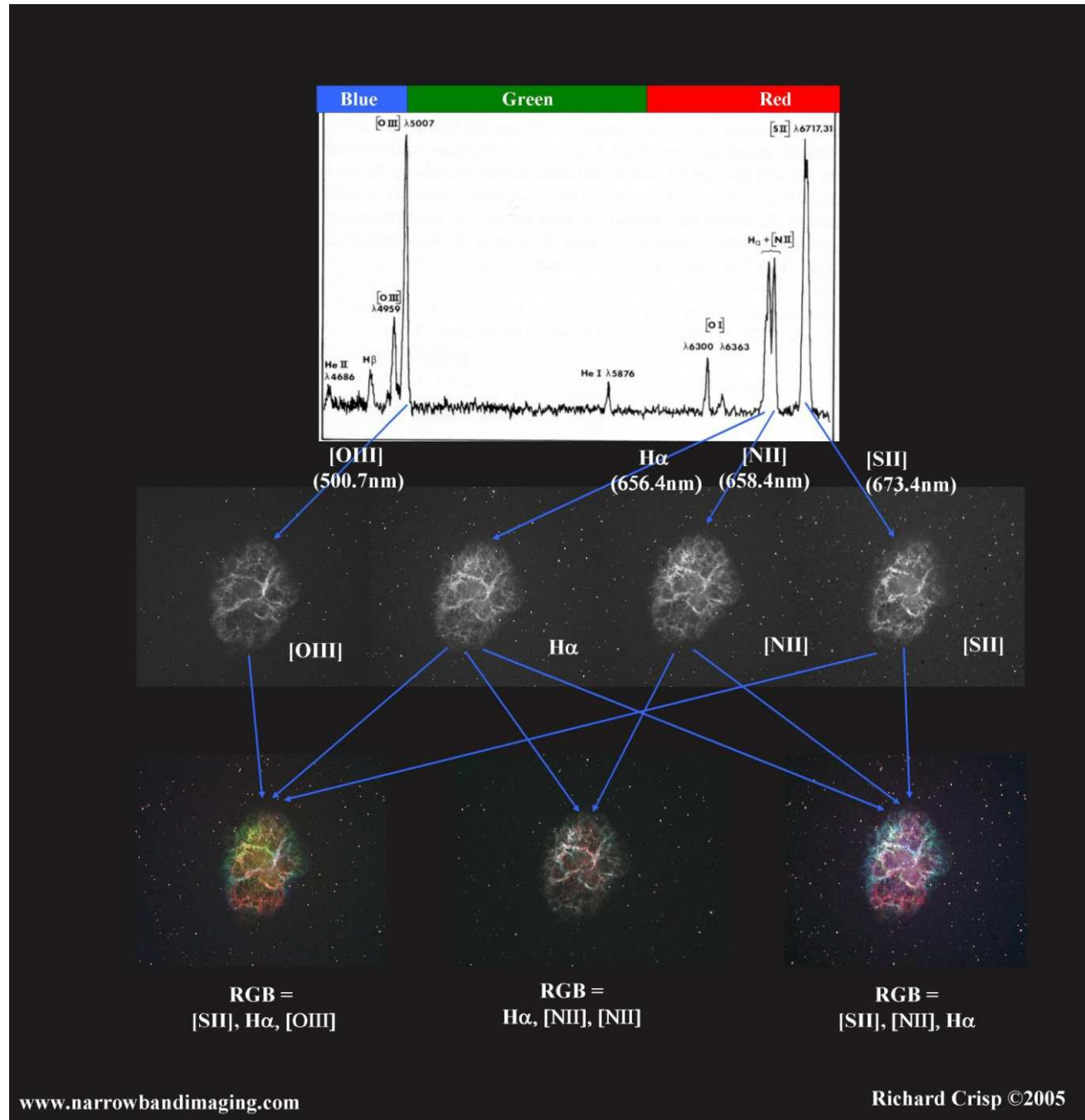
# Spektra mlhoviny (celková)

R. Minkowski r. 1942, ApJ, 96, 199





# Čárové spektrum



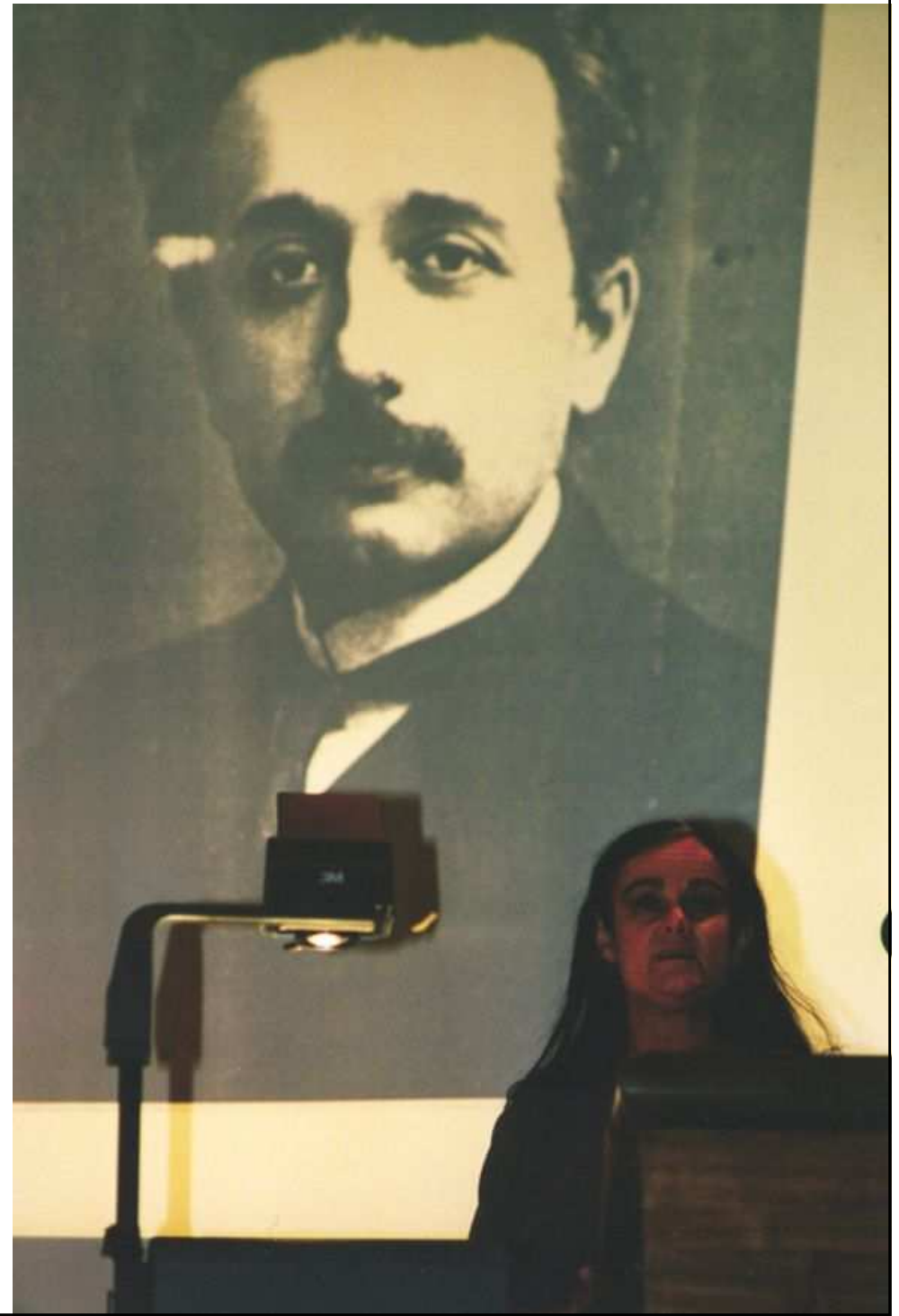
# Jak mlhovina expanduje?

**Virginia Louise Trimble  
r. 1968 Ph.D.**

**Motion and Structure  
of the Filamentary Envelope  
of the Crab Nebula**

**předmluva, připomínky**

**první komplexní studium  
expanze Krabí mlhoviny**



# Studované fotodesky

TABLE I

DIRECT PLATES USED IN PROPER MOTION STUDY

<u>Date</u>	<u>Telescope</u>	<u>Plate</u>	<u>Filter</u>	<u>Exposure</u>	<u>Observer</u>	<u>Filaments Measured</u>
1939	100 in.	*	RG2	178 min	Baade	1 - 259
1953	"	103a-E	RG2	165	Baade	1 - 259
1966	"	Ia-E	RG2	120	Münch	132 - 259
1950	200 in.	103a-E	RG2	45	Baade	1 - 259
1964	"	103a-E	RG1	67	Münch	1 - 259
1966	"	103a-E	H $\alpha$	70	Münch	132 - 259

\* Ammoniated red-sensitive plate, approximately equivalent to modern 103a-E.



# Proměřované emisní čáry

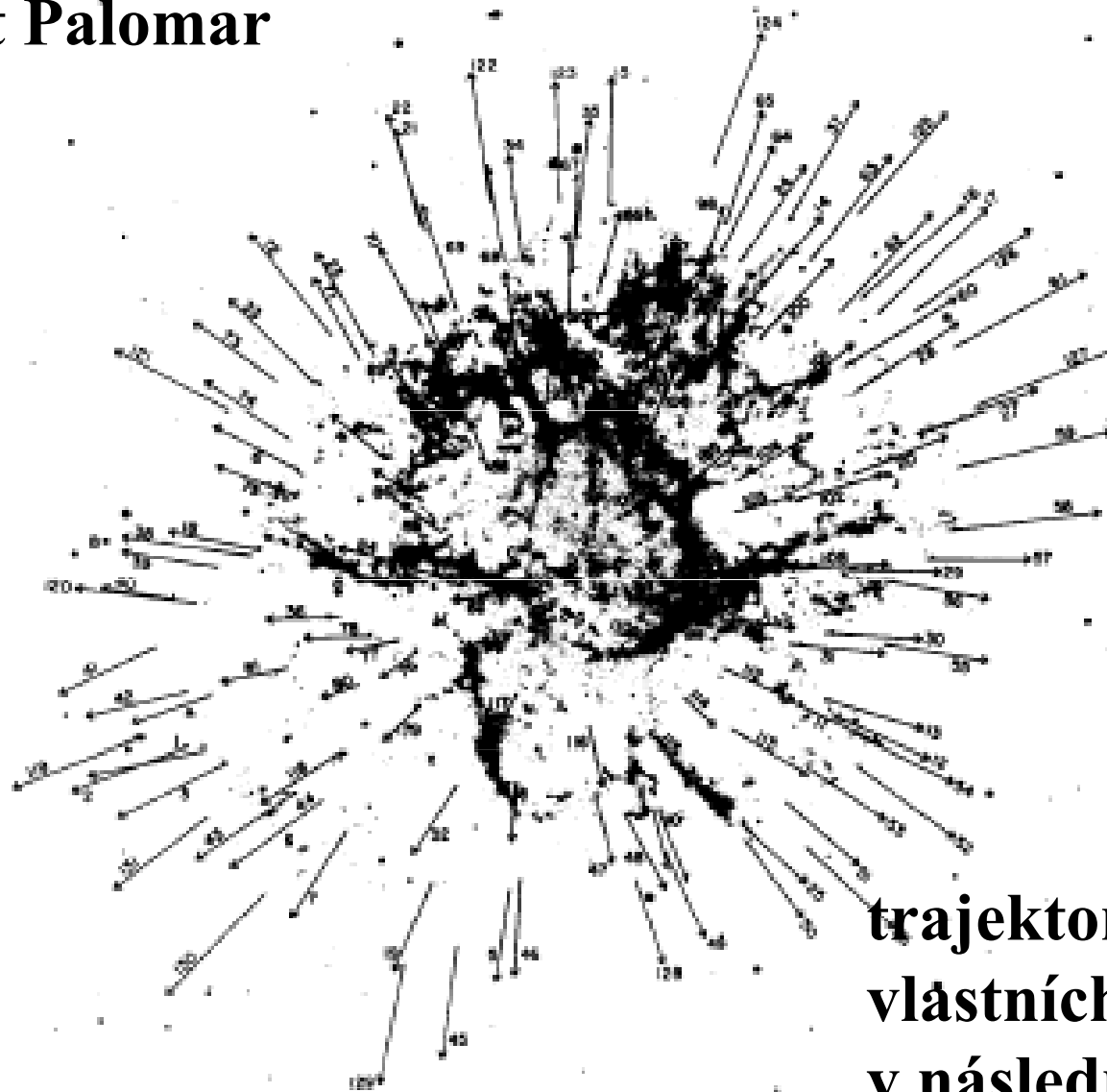
TABLE II

EMISSION LINES MEASURED IN SPECTRA OF CRAB NEBULA

<u>Wavelength</u>	<u>Element</u>	<u>Intensity</u>
6730.48	[ SII ]	Medium
6716.42	[ SII ]	Medium
6583.37	[ NII ]	Strong
6562.82	H	Strong
6548.06	[ NII ]	Strong
6300.27	[ OI ]	Faint, often absent

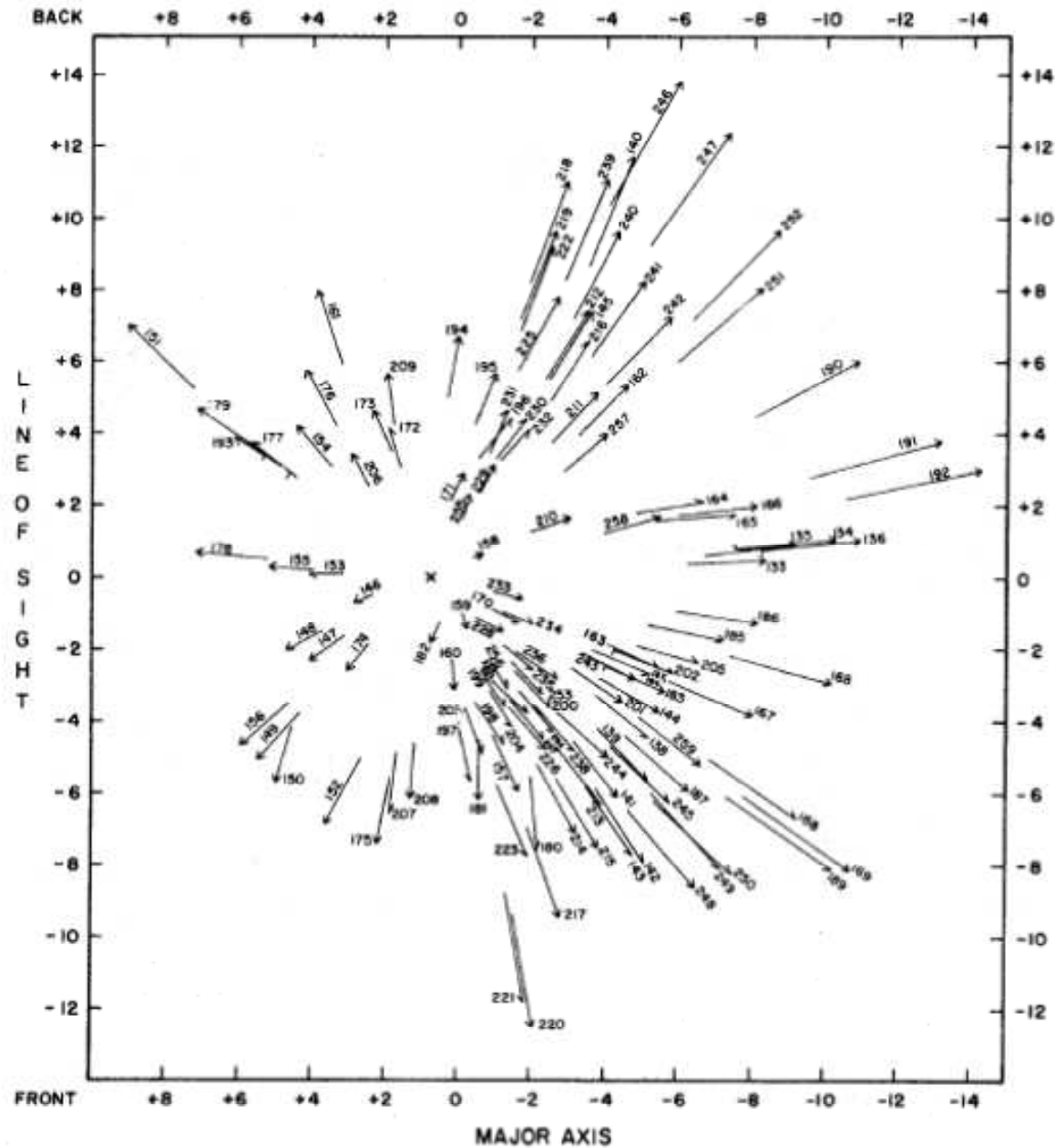
# Expanze Krabí mlhoviny

snímek v čáře  $H_{\alpha}$  z  
Mount Palomar

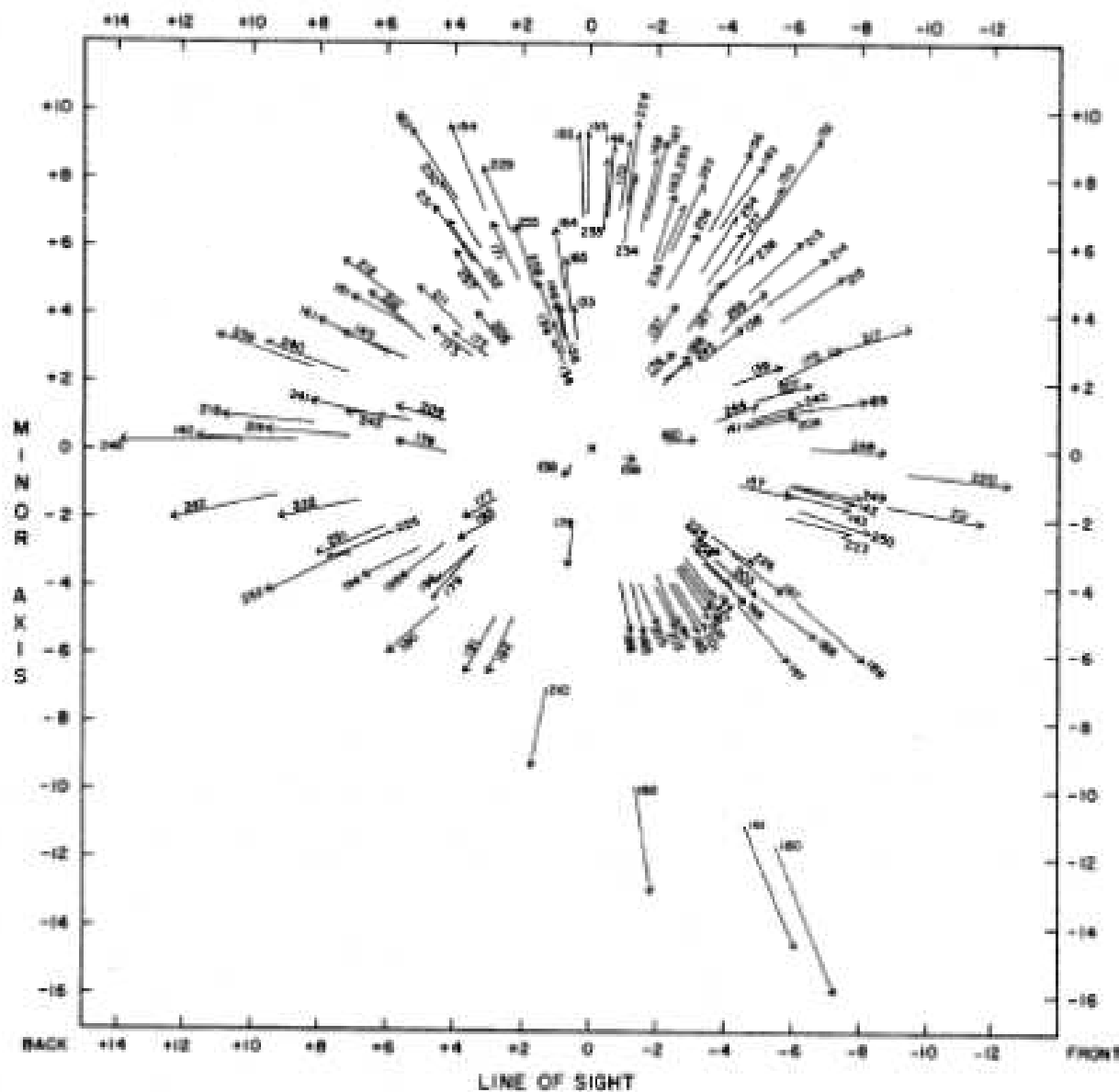


trajektorie  
vlastních pohybů 132 uzlů  
v následujících 270 rocích při  
současné rychlosti

# Vlastní pohyby ve směru hlavní poloosy



# Vlastní pohyby ve směru vedlejší poloosy





# Expanze Krabí mlhoviny

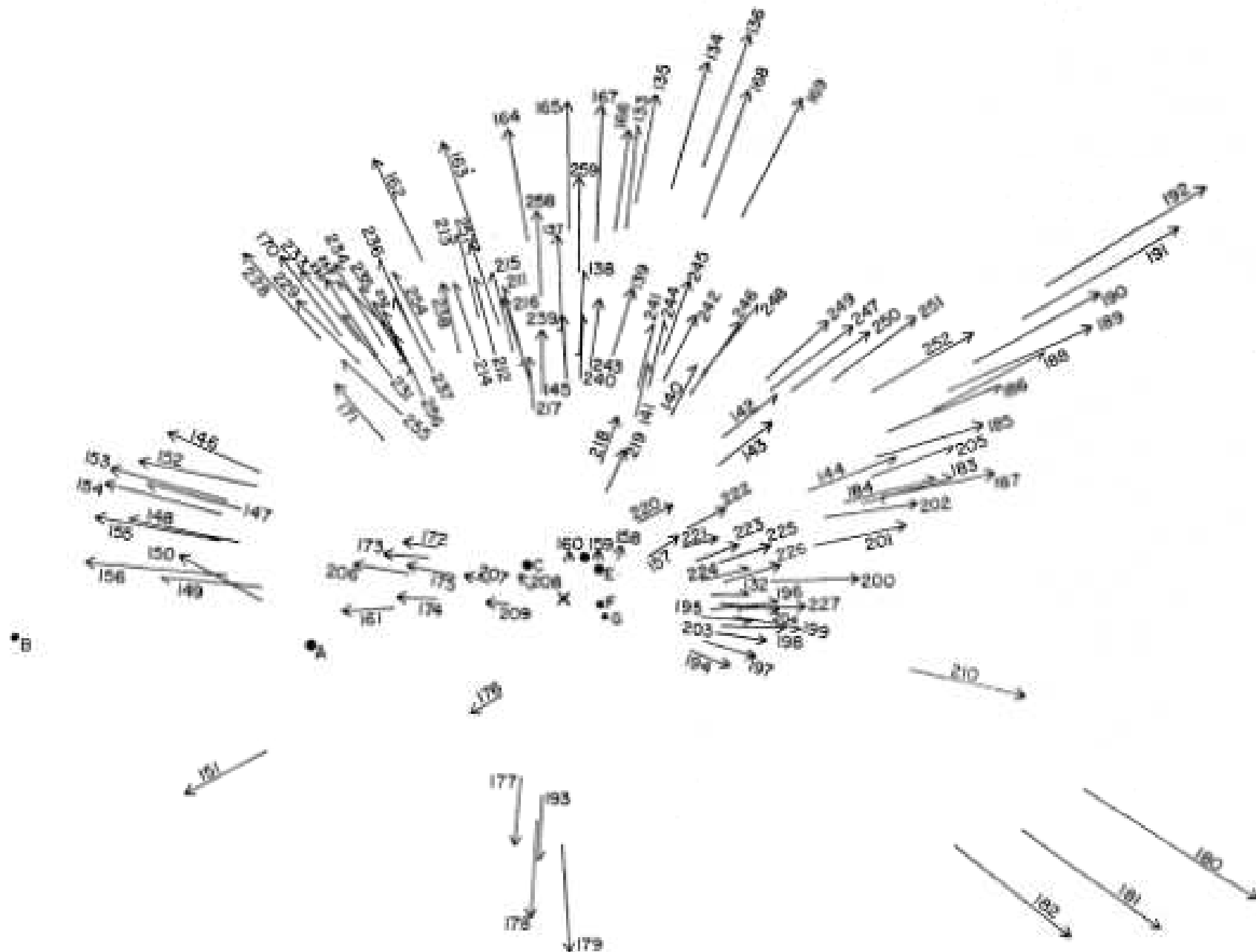


FIG. 1. Proper motions for the 127 filaments of known radial velocities as listed in Table IV. The scale and orientation are about the same as in Plate I, and X again marks the expansion center. The stars lettered in Plate I are also shown.

# Spektroskopické metody

určování elektronové teploty z intenzit čar [ O III ]

$$\frac{I_{495.9+500.7}}{I_{436.3}} = f(T_e, n_e) \quad \text{při malém } n_e$$

$$\frac{I_{495.9+500.7}}{I_{436.3}} = f(T_e) \quad \text{při } T_e \uparrow \frac{I_{495.9+500.7}}{I_{436.3}} \downarrow$$

určování hustoty elektronů z intenzit čar [ O II ]

$T_e$  má přibližně stejný vliv na excitaci hladin u  $\lambda = 372.6$  nm  
a  $\lambda = 372.9$  nm

$$\frac{I_{372.9}}{I_{372.6}} = f(n_e)$$

# Závěry práce

proměřeny polohy, vlastní pohyby a radiální rychlosti  
126 uzlů

střed expanze nalezený zpětnou extrapolací leží

jihovýchodně od dvojhvězdy v blízkosti středu mlhoviny

počátek expanze r. 1 140

vzdálenost Krabí mlhovina je zvýšena  $\approx 1,8$  kpc

Virginia Trimble r. 1970, PASP **82**, 375

**Optical studies of the Crab Nebula-Line emission**

**component** - kinematická analýza expanze mlhoviny

# Expanze Krabí mlhoviny

$$v = v_0 + at \quad (1) \quad s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (2)$$

při současné velikosti velké poloosy mlhoviny  $R = 6'$ ,  
což při vzdálenosti  $r = 1,8$  kpc dává  $s \approx 10^{16}$  m

$v$  je průměrná současná rychlost expanze stanovená z  
rozpínání mlhoviny  $0,2''\text{rok}^{-1}$ ,  $v \approx 1,6 \cdot 10^6$  m.s<sup>-1</sup>

$v_0$  je počáteční rychlost expanze mlhoviny

$t$  je čas  $(1950 - 1054) = 896$  roků  $\times 3,156 \cdot 10^7$  s

při současném zrychlení  $a = 8,2 \cdot 10^{-6}$  m.s<sup>-2</sup>

dává  $v_0 = 1,37 \cdot 10^6$  m.s<sup>-1</sup>

ze vztahu (2) určená hodnota  $s \approx 10^{16}$  m



# Expanze Krabí mlhoviny

Richard Nugent r. 1998, PASP **110**, 831 New  
**Measurements of the Expansion of the Crab Nebula**

Obálka expandující mlhoviny – opticky jasné zářící vlákna, analýza jejich pohybu, srovnání poloh po přibližně dvaceti rocích - 1939, 1960, 1976, 1992, na fotografiích s vysokým rozlišením

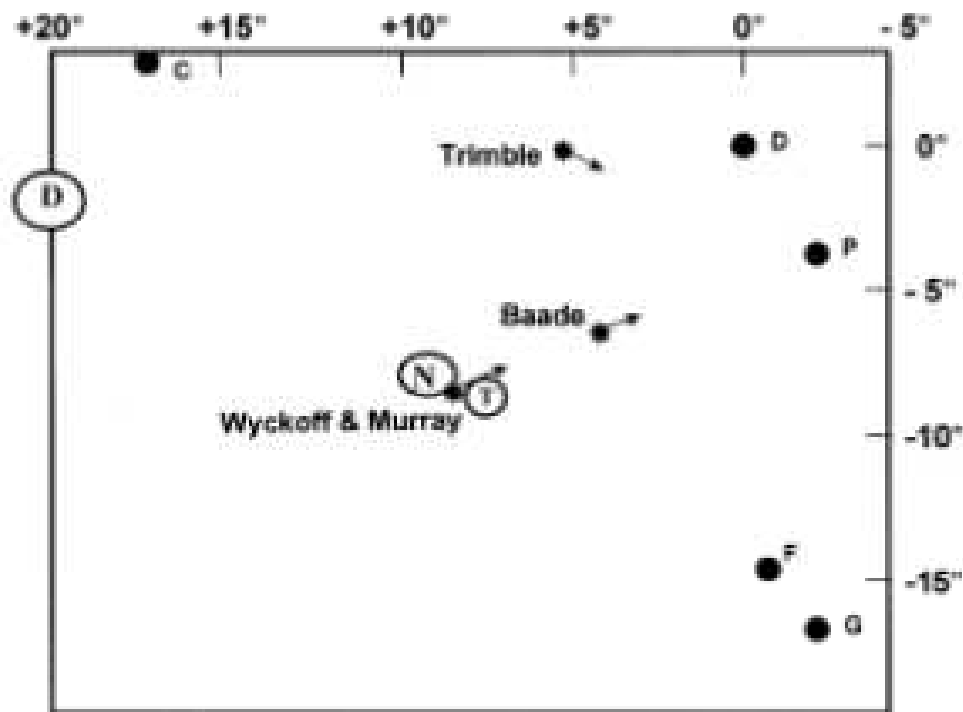
TABLE 2  
ASTROMETRIC REDUCTION RESULTS

PLATE	STANDARD ERRORS (arcsec)		NUMBER OF REFERENCE STARS	IMAGE SCALE (arcsec pixel <sup>-1</sup> )
	R.A.	Decl.		
1939 .....	0.29	0.25	14	0.45
1960 .....	0.29	0.14	16	0.36
1976 .....	0.22	0.31	14	0.30
1992 .....	0.24	0.28	12	0.41

# Expanze Krabí mlhoviny - Nugent

TABLE 4  
COMPARISON OF EXPANSION CENTERS

Observer and Date	$x_0$ (arcsec)	$y_0$ (arcsec)	Date of Outburst
Duncan 1939 .....	+20.3 ± 2.2	-1.8 ± 2.0	A.D. 1172 ± 21
Baade 1942 .....	+24.3 ± 5.8	-1.7 ± 4.7	A.D. 1180 <sup>a</sup> ± 21
Trimble 1968 .....	+7.6 ± 1.7	-8.5 ± 1.4	A.D. 1140 ± 15
Wyckoff & Murray 1977 .....	+8.2 ± 2.7	-8.6 ± 3.6	A.D. 1120 ± 7
Bietenholz et al. 1991 .....	...	...	A.D. 1245 <sup>b</sup> ± 92
Hester et al. 1995 .....	...	...	A.D. 1218 <sup>c</sup>
Present .....	+9.4 ± 1.7	-8.0 ± 1.3	A.D. 1130 ± 16



**C,D,F,G referenční  
hvězdy**

**středý expanze**

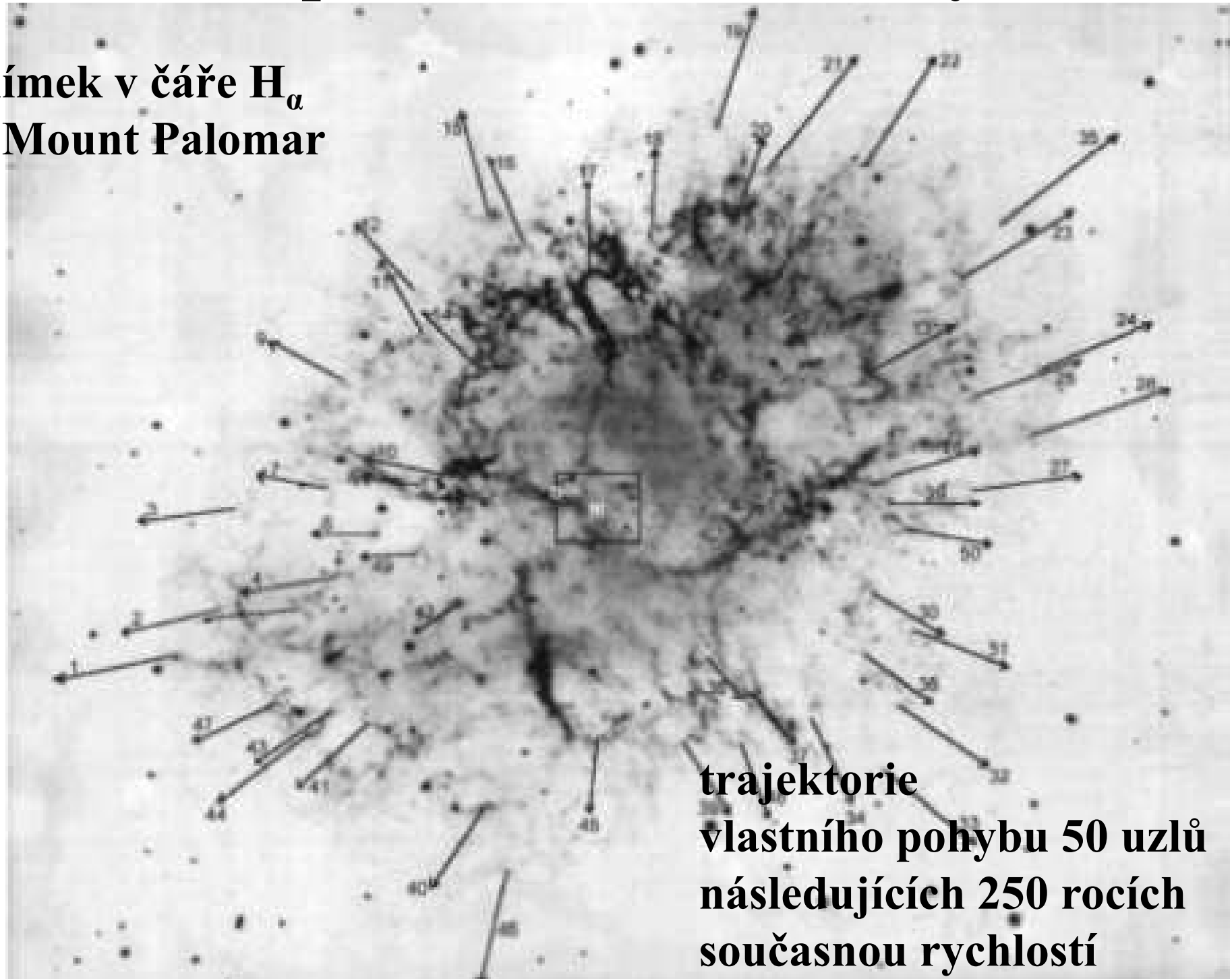
**Duncan**

**Trimble**

**Nugent**

# Expanze Krabí mlhoviny

snímek v čáře  $H_{\alpha}$   
z Mount Palomar



trajektorie  
vlastního pohybu 50 uzlů  
následujících 250 rocích  
současnou rychlostí

v

# Parametry expanze

Eliptický tvar – rotační elipsoid,  $b/a = 0,67$ ,  
úhlová velikost os  $4'$  a  $6'$ , skutečná  $2 \text{ pc}$  a  $3 \text{ pc}$   
při vzdálenosti mlhoviny  $1,8 \text{ kpc}$

ve směru hlavní osy expanze  $v \approx 1\,700 \text{ km.s}^{-1}$

u vedlejší osy  $v \approx 1\,100 \text{ km.s}^{-1}$

vnitřní část expanduje  $v \approx 700 \text{ km.s}^{-1}$

vnější část  $v \approx 1\,600 \text{ km.s}^{-1}$

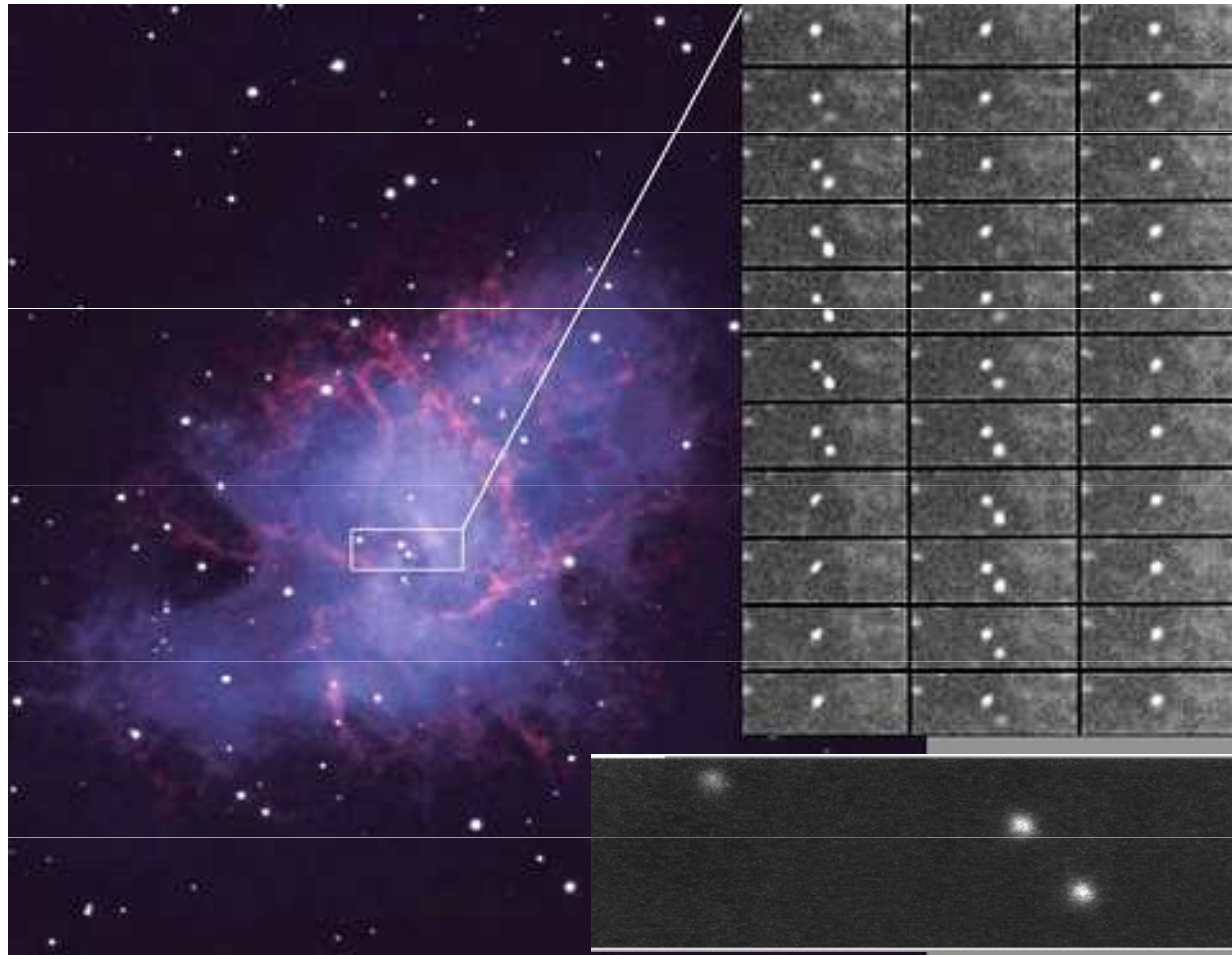
vlákna tvoří dvě soustředné obálky o průměru  
 $135''$  a  $340''$  s rychlostmi rozpínání  $700 \text{ km.s}^{-1}$  a  
 $1600 \text{ km.s}^{-1}$ , mezi nimi ojedinělá vlákna



# Která hvězda je centrální?

David Staelin, Edward Reifenstein r. 1968, Science 27,  
vol. 162, 1481

definitivní potvrzení - nalezení dvou pulsarů,  
ztotožnění s jižní hvězdou - PSR 0531+21



# Vzdálenost pulsaru PSR 0531+21

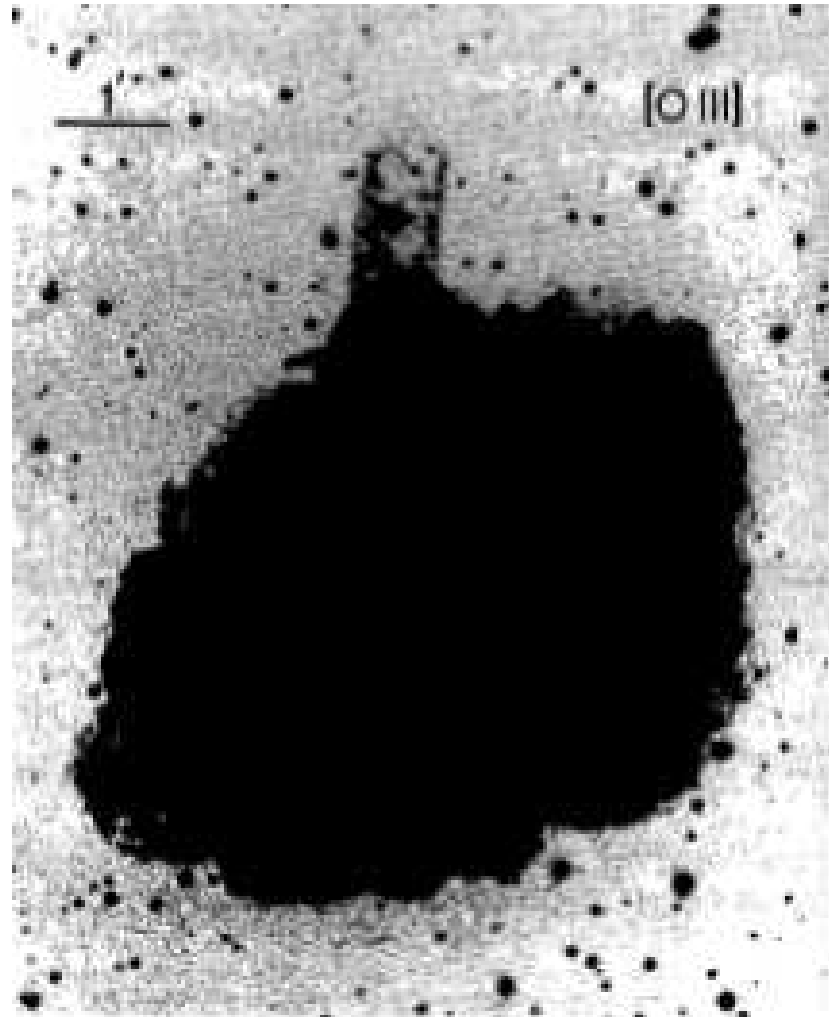
disperze rádiových vln  $\Delta t \approx$  několik sekund,  
 $n_e = 2,8 \cdot 10^4 \text{ m}^{-3}$ , potvrzeno upřesnění vzdálenosti  
 $d \approx 1,8 \text{ kpc}$ , r. 1969

$$\Delta t = 4,15 \cdot 10^{-3} n_e d \left( \frac{1}{f_1^2} - \frac{1}{f_2^2} \right)$$

$$DM = \int_0^d n_e dl = 5,6 \cdot 10^7 \text{ pc} \cdot \text{m}^{-3}$$

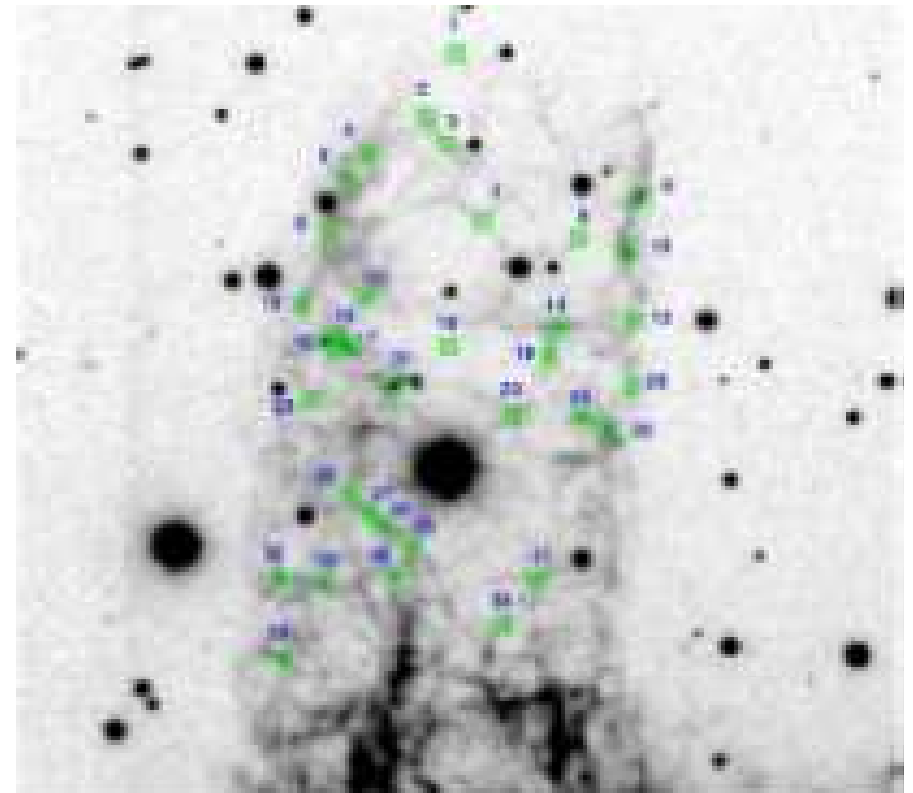
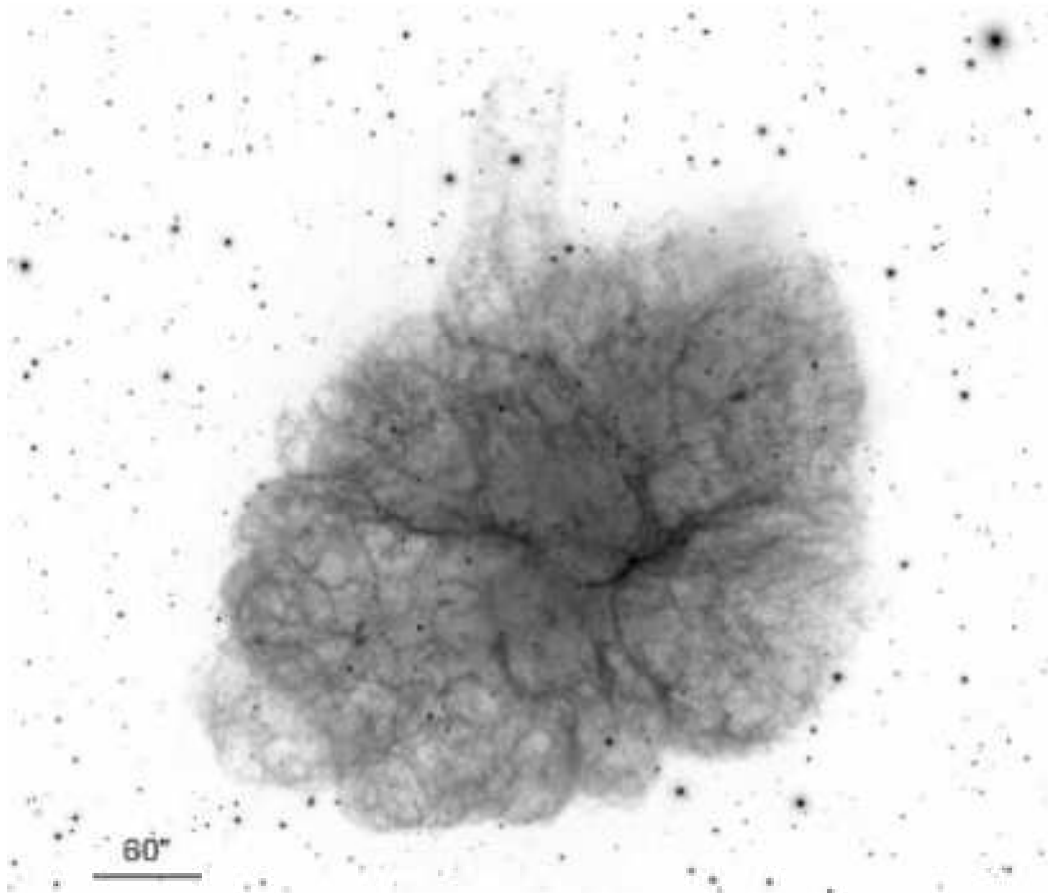
# Severní výtrysk

Sidney van der Bergh r. 1970, ApJ, **160**, L27 – objev severního výtrysku - jetu, hypotéza o jeho expanzi a původ při explozi supernovy



# Severní výtrysku

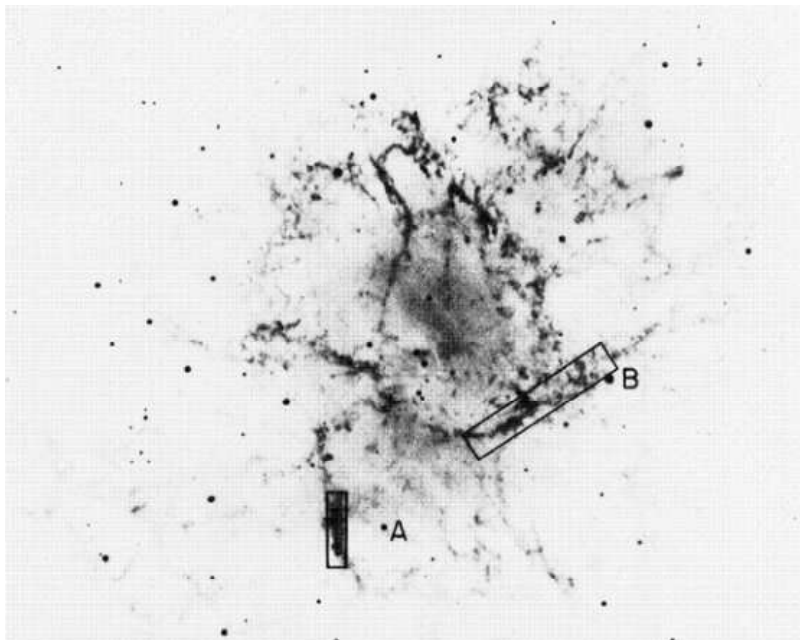
Gwen Rudie, Robert Fesen, Toru Yamada r. 2008  
MNRAS 384, 1200, analýza pohybu 35 uzlů,  
expanze ve směru osy válce  $\approx 4\,000\text{ km.s}^{-1}$



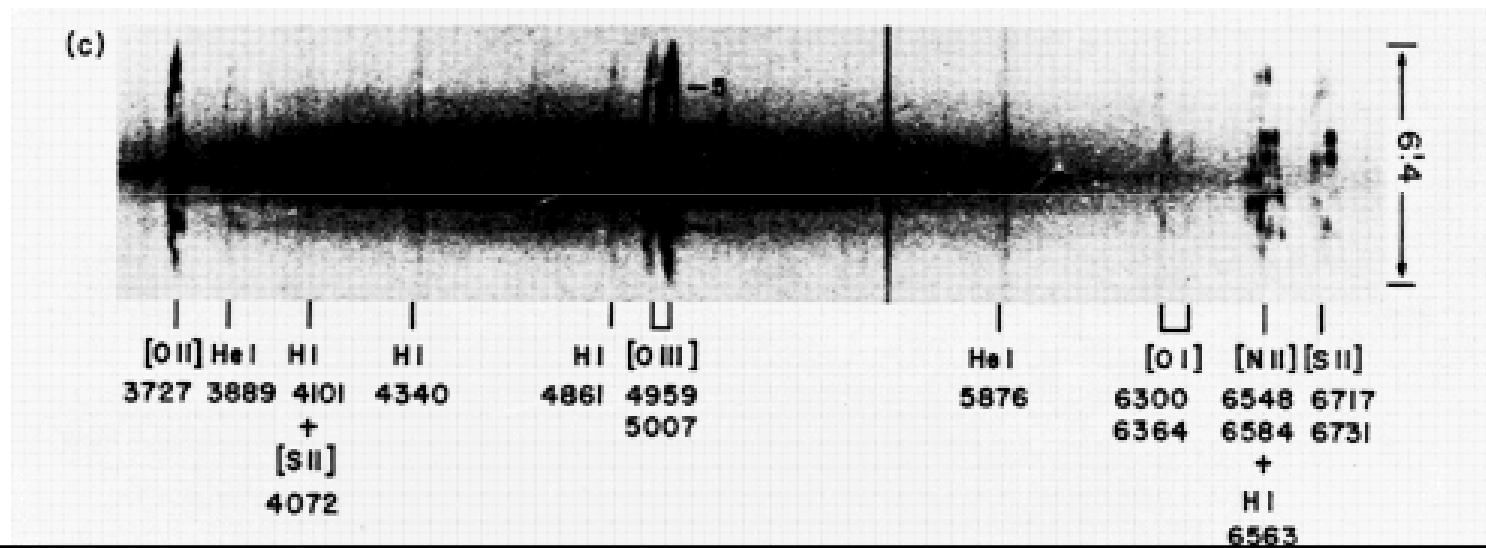


# Chemické složení

Joseph Miller, r. 1978, ApJ **220**, 490, chemické složení větších oblastí, - He, H, N, O, Ne, S

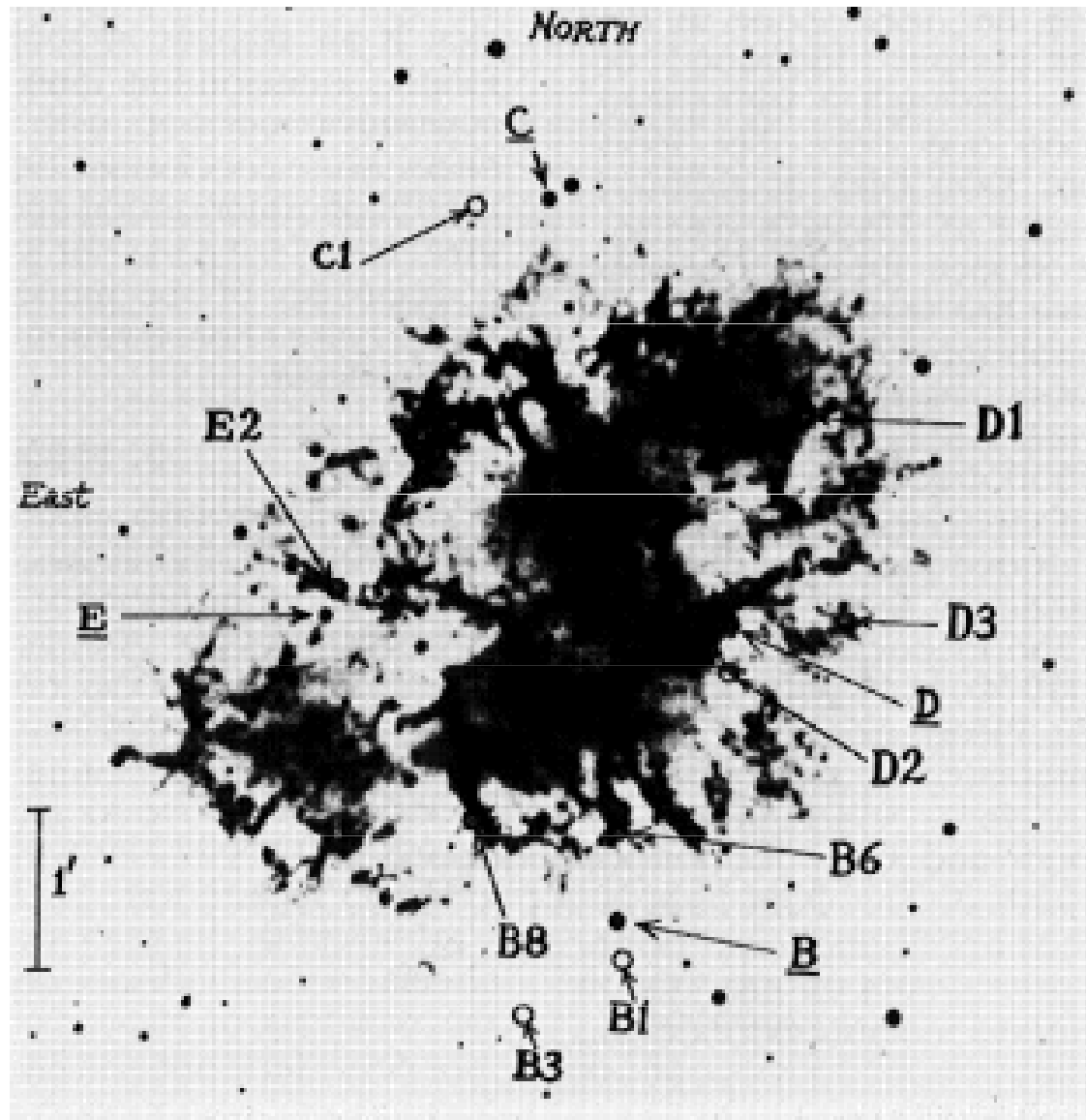


vysoký obsah He  $\approx$  H,  
stanovení teploty



# Chemické složení

Kris Davidson, r. 1978, ApJ **220**, 177, chemické složení 9 malých oblastí, - He, H, N, O, Ne, S



B, C, D, E  
referenční hvězdy

**severní oblasti**

obsahují méně

kovů než jižní

oblasti, obsah je

podstatně menší

než u Slunce,

**(50 – 75) %**

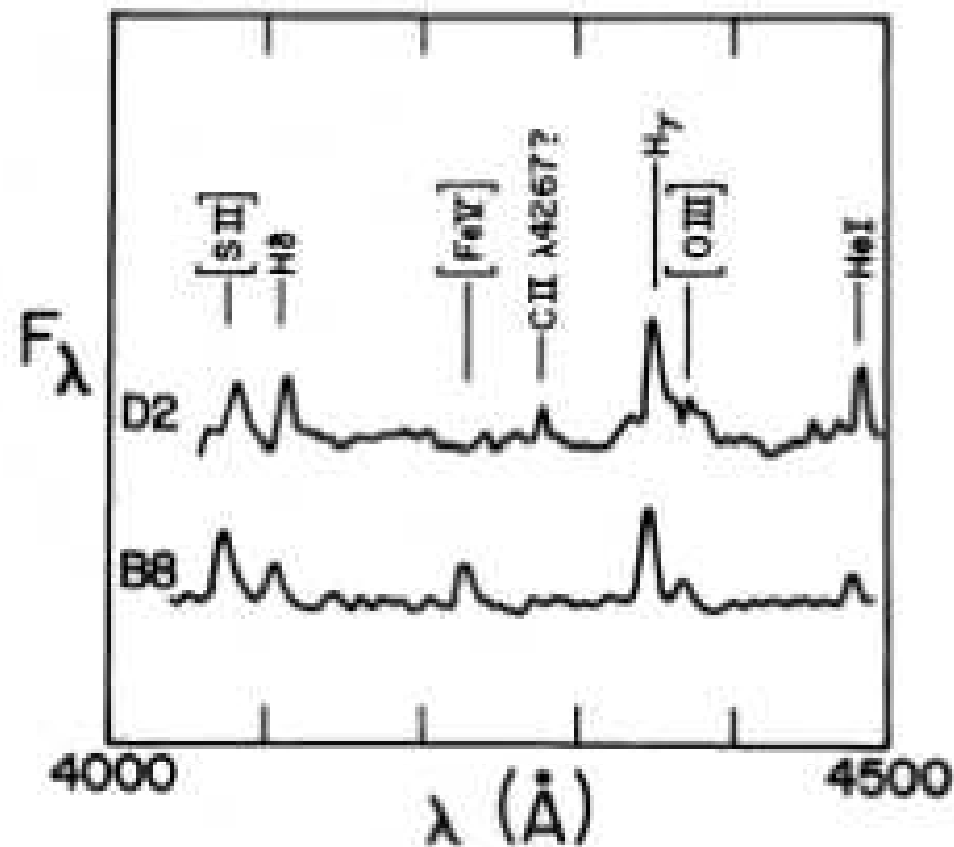
**obsahu podle**

**hmotnosti tvoří**

**helium**

# Chemické složení

Kris Davidson, r. 1979, ApJ **228**, 179, stejný výchozí pozorovací materiál, podrobná analýzy relativních intenzit vybraných čar  
zjištěna například v oblasti D2 čára uhlíku



# Chemické složení

Kris Davidson, Robert Kirschner, Theodore Gull, Robert Fesen r. 1980:

Chemické složení - He, H, N, O, Ne, S, v jednotlivých oblastech a vláknech s narůstající vzdáleností od ionizujícího zdroje

↑ He/H od 0,15 → 1,2, obsah helia je asi 5krát větší než u typických emisních mlhovin

Gordon MacAlpine r. 1989 ApJ **342**, 364, v některých vláknech obsah helia až 95 %

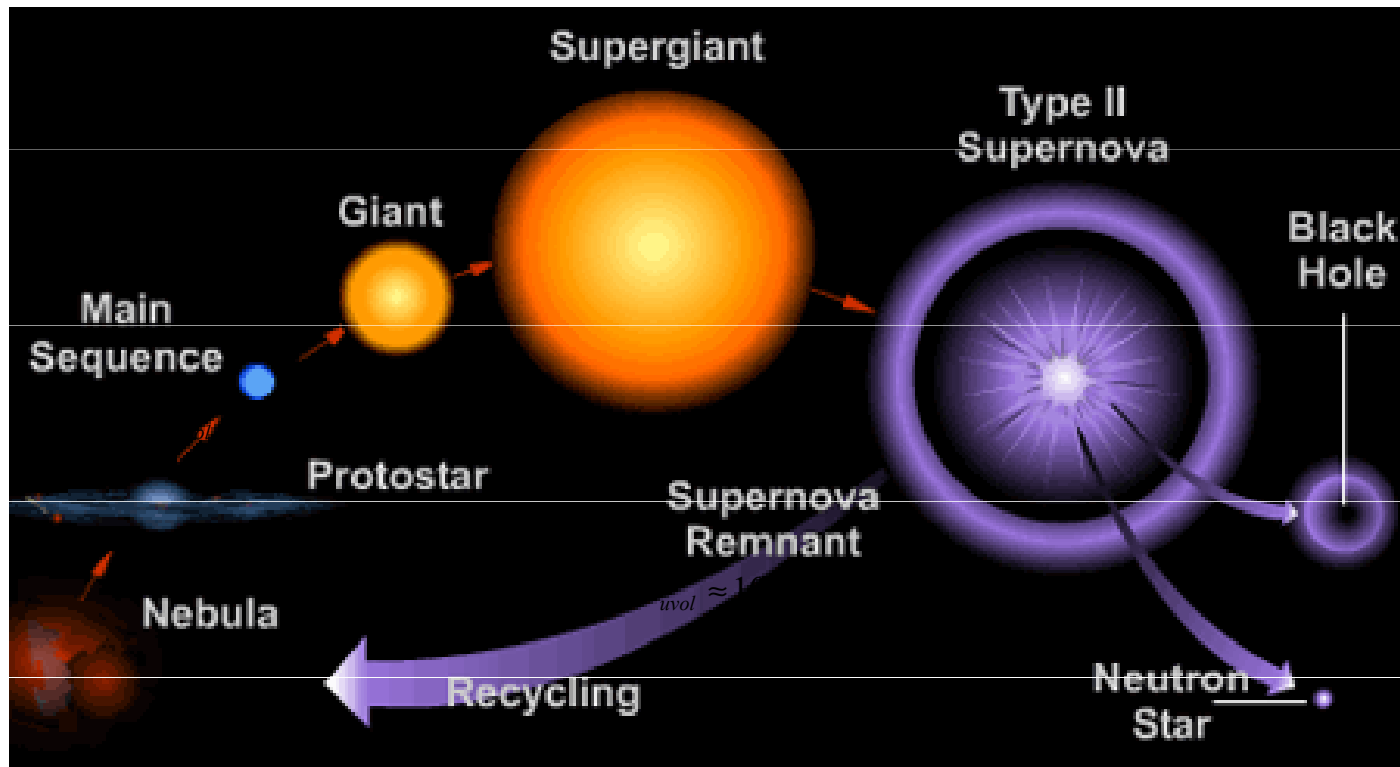
Cíl výzkumu chemického složení:

Jaký typ supernovy produkuje zjištěné chemické složení mlhoviny?

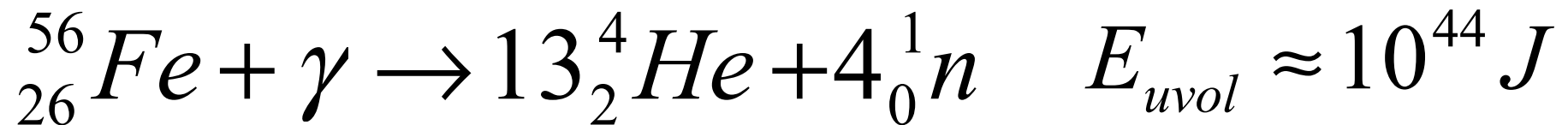
supernova II typu



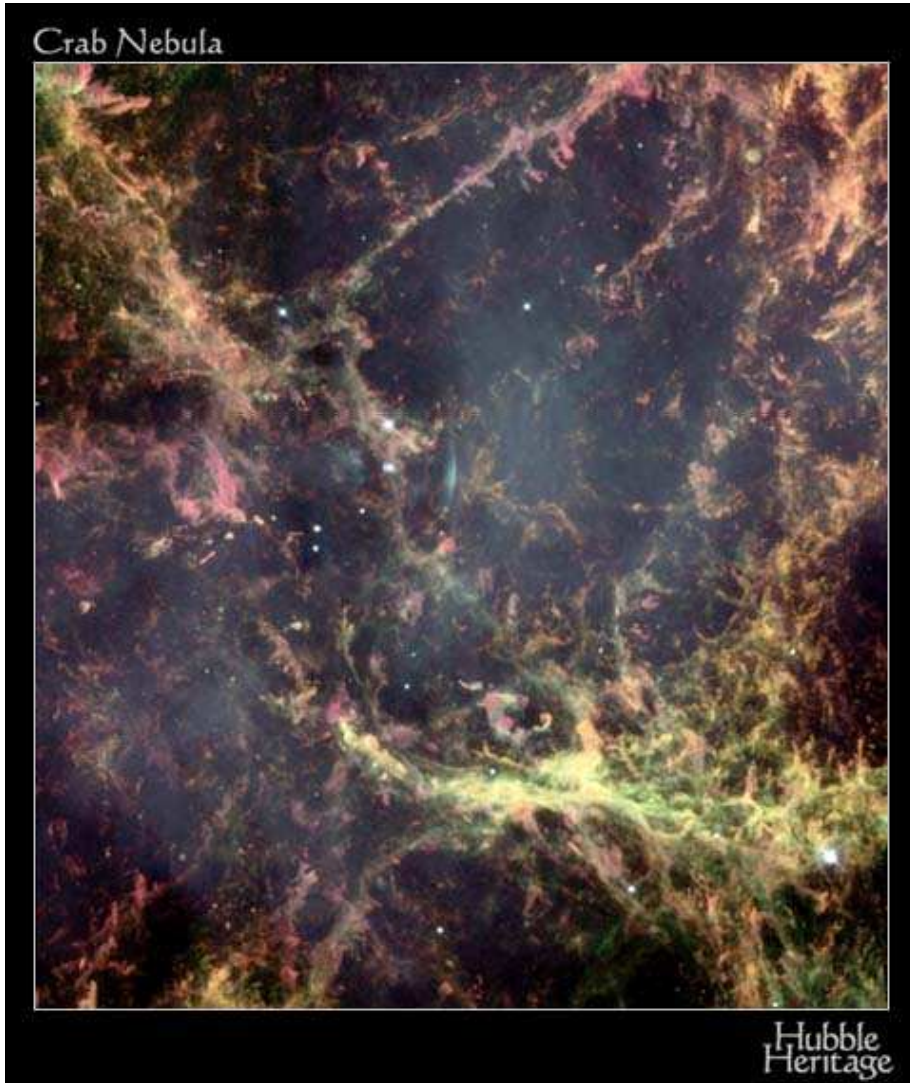
# Exploze supernovy II typu



$T \approx 6 \cdot 10^9 \text{ K}$  proběhne fotodisociace za des. sekundy



# Chemické složení Krabí mlhoviny



**vodík – oranžová  $H_{\alpha}$  656,3 nm**  
**dusík – červená N II 658,3 nm**  
**síra – růžová S II 673,1 nm**  
**kyslík – zelená O III 500,7 nm**

# Jaká je hmotnost mlhoviny?

**Čím více se mlhovina zkoumá, tím má větší hmotnost!**

1957 ~ 0,2  $M_{\odot}$ , 1968 ~ 1  $M_{\odot}$ , 1978 ~ 2  $M_{\odot}$ ,

1997 - celková vláknité struktury odhadována  
 $\approx 3 M_{\odot} + 1,4 M_{\odot}$  pulsar -  $(4,4 \pm 1,8) M_{\odot}$

vzhledem k chemickému složení, progenitor  
10  $M_{\odot}$ , obsah kyslíku není výrazně vyšší,  
hmotnost progenitoru  $< (12 - 13) M_{\odot}$

**Kde je zbývající hmotnost?**

# Expanze Krabí mlhoviny





# Jak transformovat astronomickou krásu do gymnaziální fyzikální výuky?

Značná redukce fyzikálního obsahu - vytvoření prostoru pro hlubší aplikaci fyziky →

**Tématický celek Astrofyzika neexistuje!**

Využití základních fyzikálních pojmů a zákonitostí při interpretaci astrofyzikálních dějů

pulsar – neutronová hvězda – tuhé těleso

Procvičení pojmů *rotační perioda, úhlová rychlost, úhlové zrychlení, moment setrvačnosti, kinetická energie rotujícího tělesa, zákon zachování energie*

# Transformace do výuky mechaniky

## - pulsar v Krabí mlhovině

při  $M = 1,4 M_{\odot}$ ,  $R = 10 \text{ km}$ ,  $P = 0,033 \text{ s}$ ,  $dP/dt = 4 \cdot 10^{-13}$

jeho vznik – zákon zachování momentu hybnosti  $\vec{L} = \vec{r} \times m \vec{v}$

moment setrvačnosti tuhého tělesa - koule  $J = \frac{2}{5} MR^2$

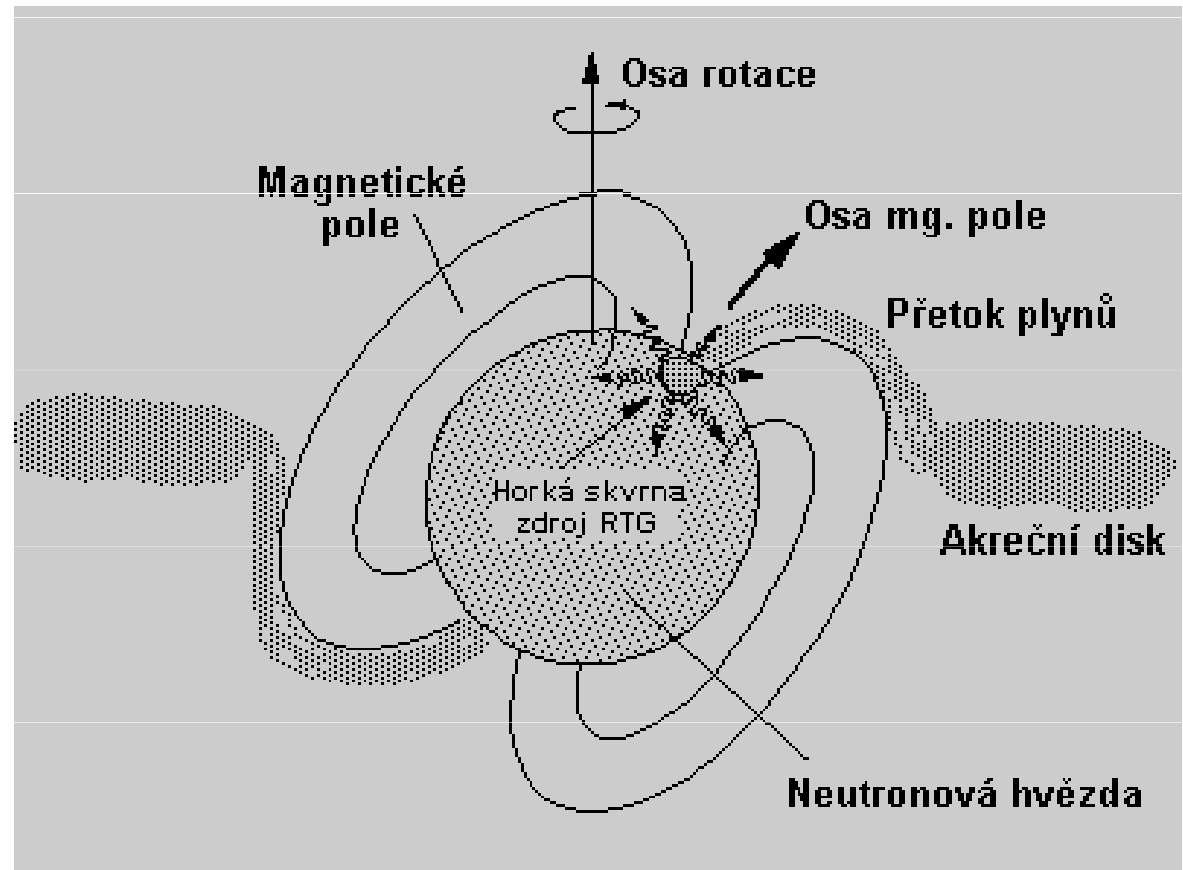
rotační kinetická energie

$$E_{rot} = \frac{1}{2} J \omega^2$$

úhlová rychlost  $\omega = \frac{2\pi}{P}$

změna rotační energie

$$\frac{dE_{rot}}{dt} = -\frac{8}{5} \pi^2 MR^2 P^{-3} \frac{dP}{dt}$$



# Krabí mlhovina

Zjednodušení problematiky: úbytek kinetické rotační energie = vyzářená energie  
expanzní energii zanedbáváme

$$\frac{dE_{rot}}{dt} = \frac{dE_{zar}}{dt} \quad \text{při zářivém výkonu Krabí mlhoviny } 5 \cdot 10^{31} \text{ W}$$

$$\frac{dE_{rot}}{dt} = -5 \cdot 10^{31} \text{ W}$$

odpovídá změně rotační energie za sekundu

rotující magnetický dipól, ve vnitřní části mlhoviny

produkce vysoce energetických částic

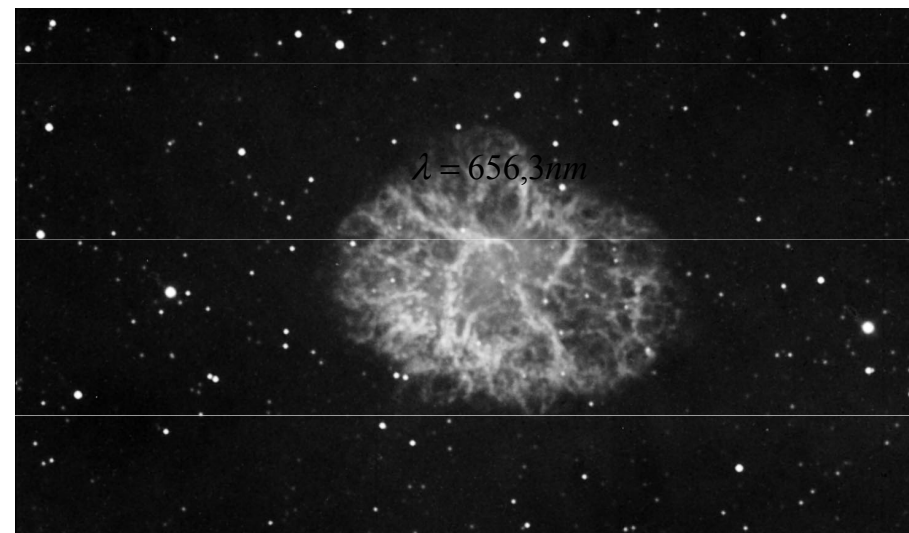
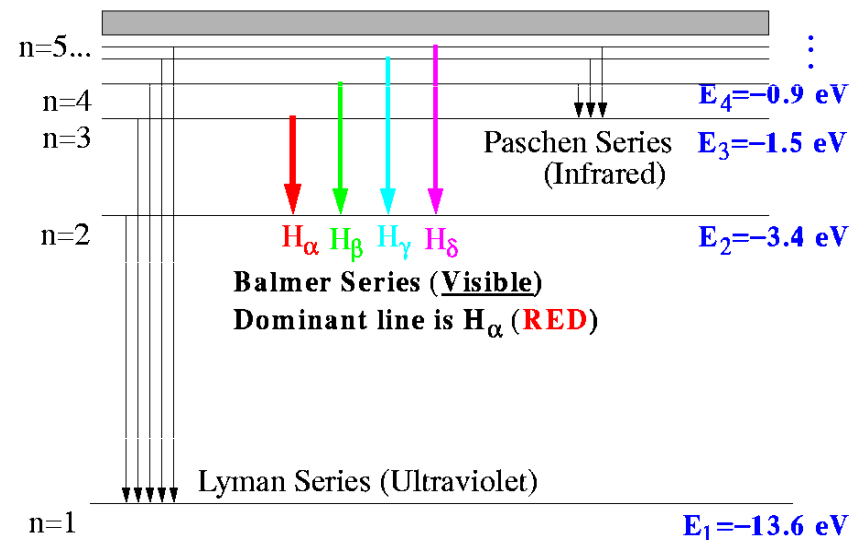
# Transformace do výuky elektromagnetického pole

Čárové spektrum vodíku,  
energetické hladiny,  
Balmerova série vodíku

$$h \frac{c}{\lambda} = \Delta E = 3,0 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$
$$\lambda = 656,3 \text{ nm}$$

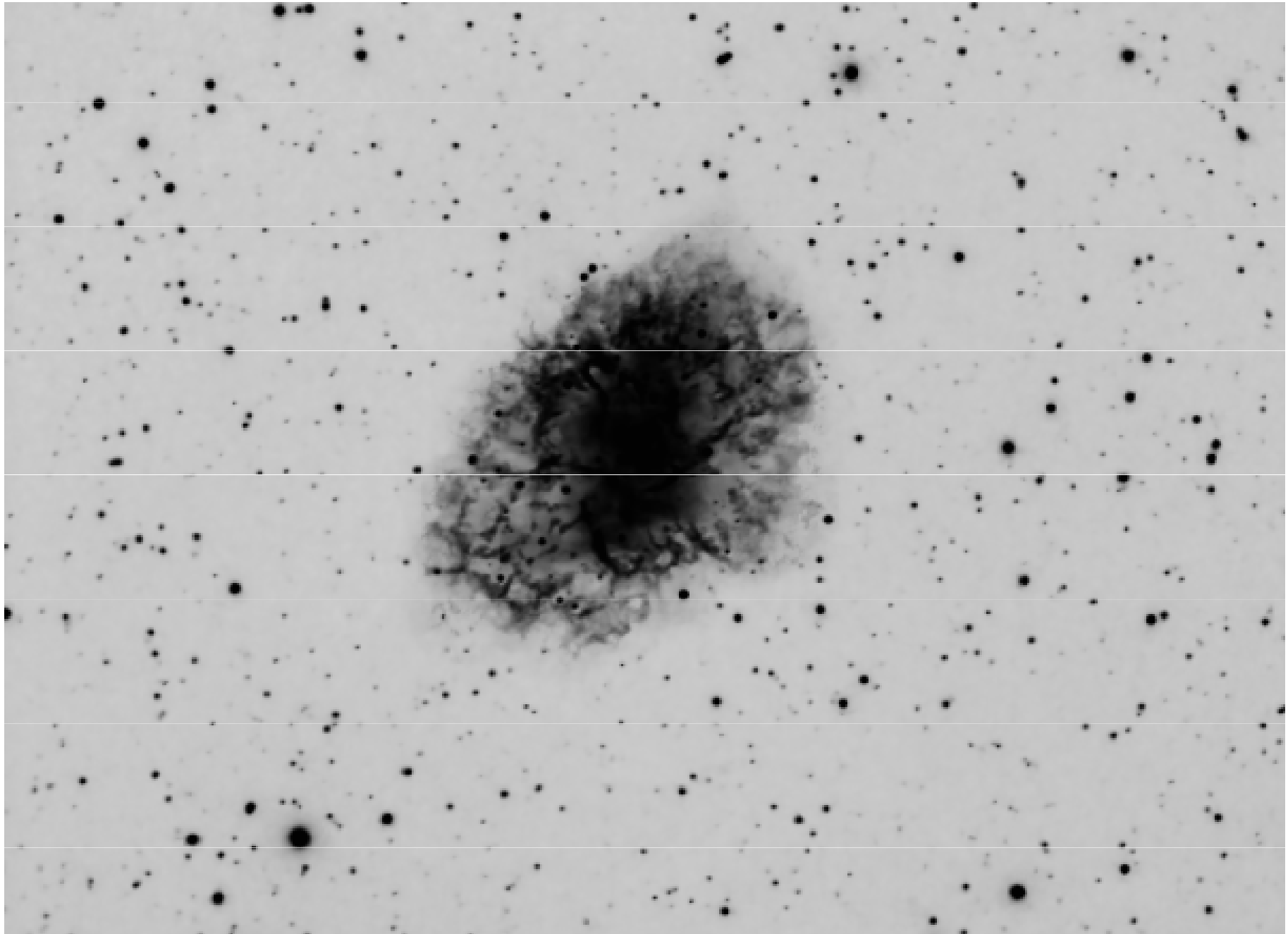
Krabí mlhovina ve  
světle čáry  $H_{\alpha}$

Energy Levels in the Hydrogen Atom (see Zeilik Fig 8-9)





# Expanze Krabí mlhoviny 1951 - 2007



# Určování rychlosti expanze Krabí mlhoviny

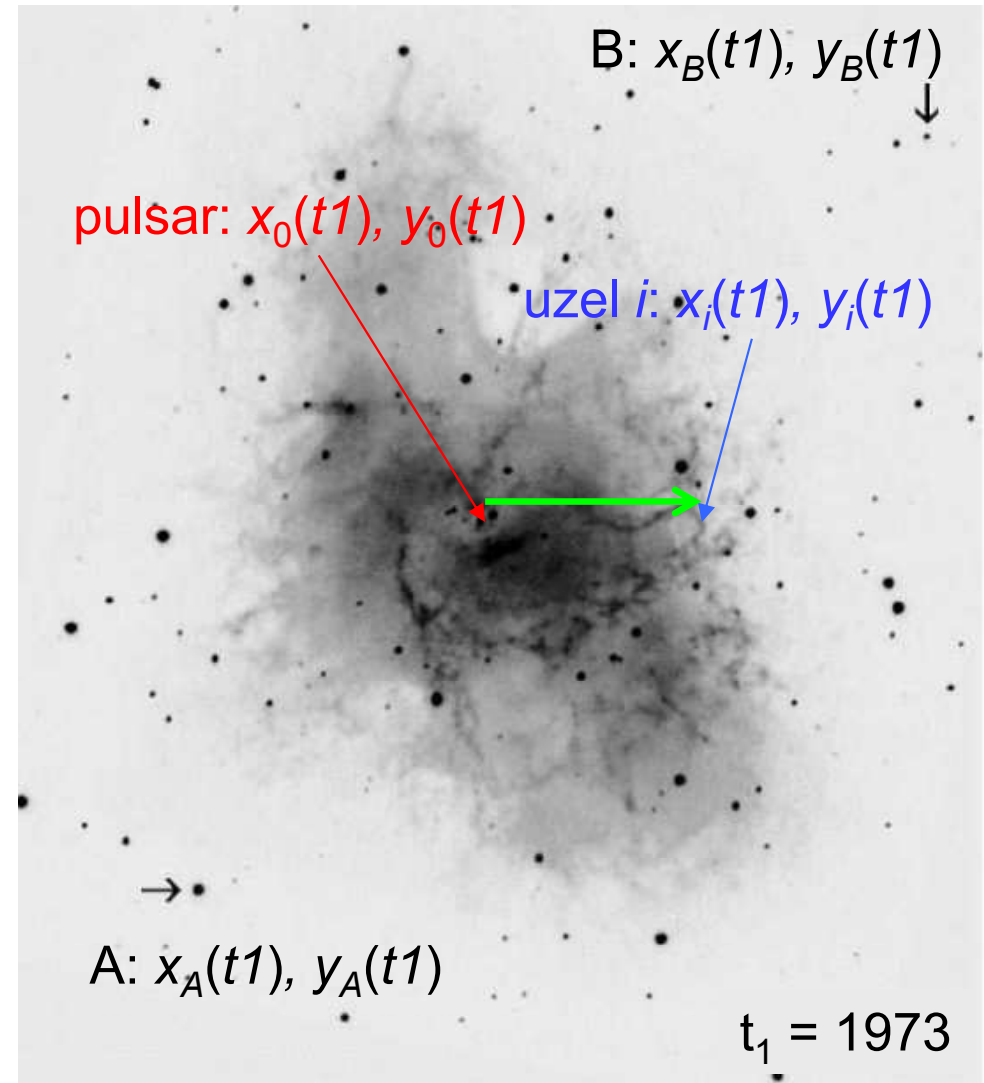
- prostorovou, nesymetrickou a s rychlostí v čase slabě proměnnou expanzi zjednodušíme na expanzi plošnou, symetrickou a s konstantní rychlostí
- měřítko fotografií se stanoví ze známé úhlové vzdálenosti  $\varphi$  dvou hvězd A a B rovněž zachycených na fotografii:

$$s(t) = \frac{\varphi}{\sqrt{[x_B(t) - x_A(t)]^2 + [y_B(t) - y_A(t)]^2}}$$

$$\varphi = 385''$$

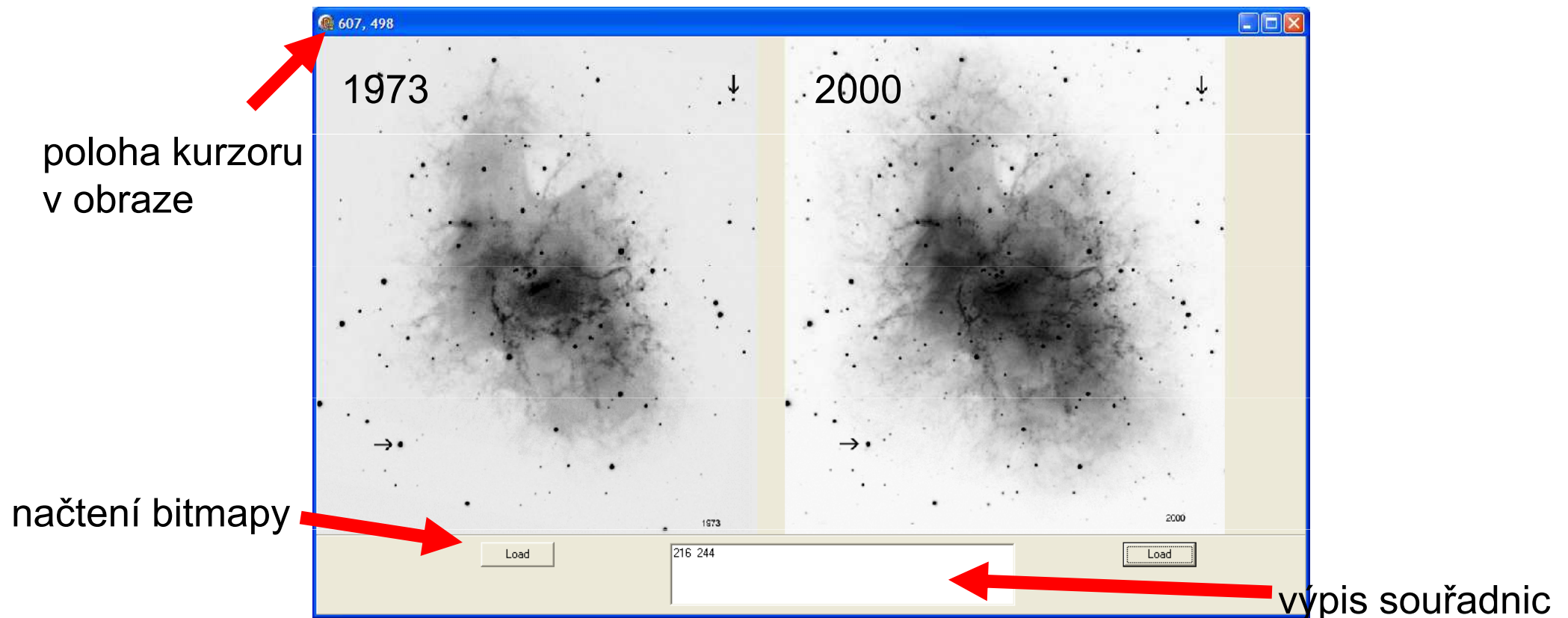
- určení úhlové rychlosti expanze z analýzy dvou fotografií, pořízených v čase  $t_1, t_2$

$$v_i = \frac{s(t_2)\sqrt{[x_i(t_2) - x_0(t_2)]^2 + [y_i(t_2) - y_0(t_2)]^2} - s(t_1)\sqrt{[x_i(t_1) - x_0(t_1)]^2 + [y_i(t_1) - y_0(t_1)]^2}}{t_2 - t_1}$$



# Odečítání poloh hvězd a uzlů

- polohy lze odečítat přímo z digitálních fotografií v pixelech
- je zapotřebí vidět současně obě fotografie
- jednoduchý program je k úloze k dispozici



# Příklad vyhodnocení v Excelu

## 1. Určení měřítka fotografie

1973	
Hvězda →	
x	110 px
y	539 px
Hvězda ↓	
x	551 px
y	81 px
Vzdálenost hvězd	
Δ = 635.8 px	
385 "	
Měřítko	
0.6055 "/px	

2000	
Hvězda →	
x	111 px
y	537 px
Hvězda ↓	
x	552 px
y	82 px
Vzdálenost hvězd	
Δ = 633.65 px	
385 "	
Měřítko	
0.6076 "/px	

$$s(t) = \frac{\varphi}{\sqrt{[x_B(t) - x_A(t)]^2 + [y_B(t) - y_A(t)]^2}}$$

$$\varphi = 385''$$

## 2. Souřadnice pulzaru

1973	
x	280 px
y	316 px

2000	
x	295 px
y	316 px

## 3. Určení vzdálenosti uzlů, rychlosti rozpínání a stáří mlhoviny

1973				
Uzel	x (px)	y (px)	r (px)	r (")
1	414	316	134	81
2	412	270	140	85
3	370	487	193	117
4	225	74	248	150
5	133	383	162	98

2000				
x (px)	y (px)	r (px)	r (")	
435	319	140	85	
431	270	144	87	
387	494	200	122	
239	65	257	156	
142	385	168	102	

Δr/Δt ("/rok)	t (rok)
0.15	583
0.10	910
0.18	695
0.22	706
0.15	663
0.16	711.24
0.0234	61.97
v (m/rok)	4.3E+13
v (km/s)	1.4E+03

Δr/Δt = (0.16 ± 0.02) "/rok
r = 1.8kpc = 5.6E+19 m
Δr/Δt = (1350 ± 200) km/s
t = (700 ± 60) roků

Stáří mlhoviny

$$t_2 = \frac{s(t_2) \sqrt{[x_i(t_2) - x_0(t_2)]^2 + [y_i(t_2) - y_0(t_2)]^2}}{v_i}$$



# Závěry pro gymnaziální výuku

- Problém začleňování poznatků z moderní astrofyziky do gymnaziální výuky fyziky
- Promyšlené využití fyzikálních vědomostí žáků
- Motivačním faktorem - krása vláknité struktury Krabí mlhoviny
- Zájem učitele a žáků
- Žáci mají právo dostat odpověď na otázky vzniku a expanze Krabí mlhoviny

# Literatura

- [1] Sanford, P. F.: *PASP* 31, **108**, 1919, p 108.
- [2] Duyvendak, J.J. L.: Further Data Bearing on the Identification of the Crab Nebula with the Supernova of 1054 A.D. *PASP*, **54**, 1942, p. 91.
- [3] Šklovskij, J. S.: On the Nature of the Crab Nebula's Optical Emission. *Doklady AN, SSSR*. **90**, 1953, p. 983.
- [4] Trimble, V.: Motions and Structure of the Filamentary Envelope of the Crab Nebula. *The Astronomical Journal*, **73**, number 7, 1968, p. 535.
- [5] Trimble, V.: Optical studies of the Crab Nebula – Line emission Component . *ThPASP*, **82**, 1970, p. 375.
- [ 6] Trimble, V.: The distance to the Crab Nebula and NP 0532. *PASP*, **85**, 1973, p 579.
- [7] Schaller, E. L., Fesen, R. A.: The Nature of [Ar III]- Bright Knots in the Crab Nebula. *The Astronomy Journal*, **123**, 2002, p. 941 – 947.

# Literatura

- [8] Bejger, M., Haensel, P.: Moments of inertia for neutron and strange stars: Limits derived for the Crab pulsar. *Astronomy&Astrophysics*, **396**, 2002, p. 917-921
- [9] Bejger, M., Haensel, P.: Accelerated expansion of the Crab Nebula and evaluation of its neutron-star parameters. *Astronomy&Astrophysics*, **405**, 2003, p. 747-751.
- [10] Nugent, R.L.: New Measurements of the Expansion of the Crab Nebula. *PASP*, **110**, 1998, p. 831.
- [11] Bejger, M., Haensel, P.: Accelerated expansion of the Crab Nebula and evaluation of its neutron-star parameters. *Astronomy&Astrophysics*, **405**, 2003, p. 747-751.

# Model Krabí mlhoviny

sférický model – jednoduchá prezentace Krabí mlhoviny, ve skutečnosti mnohem komplikovanější,  $R_{\text{mlh}} \approx 1,25 \text{ pc}$ , klíčovým prvkem je současná hmotnost  $(4,4 \pm 1,8) M_{\text{S}}$  - 1997

Třídimenzionální elipsoid – jednoduchá prezentace Krabí mlhoviny, ve skutečnosti mnohem komplikovanější, 3D modely po roce 1980, David Clark r. 1983, MNRAS **204**,415

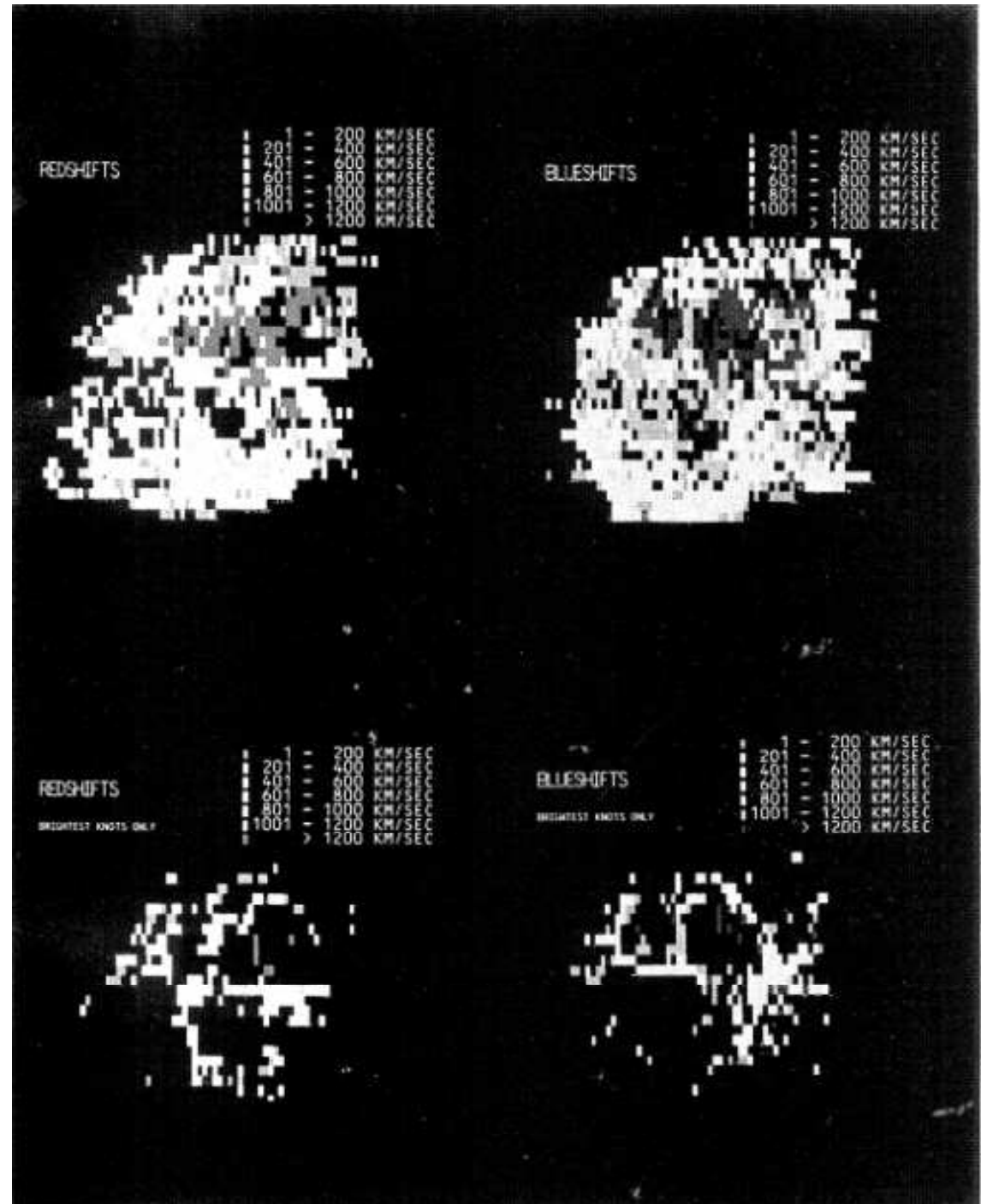
vlákna tvoří dvě soustředné obálky o průměru 135" a 340" s rychlostmi rozpínání  $720 \text{ km.s}^{-1}$  a  $1800 \text{ km.s}^{-1}$ , mezi nimi ojedinělá vlákna



# Model Krabí mlhoviny

model 3D David Clark  
r. 1983, MNRAS **204**,  
415

pole radiálních rychlostí

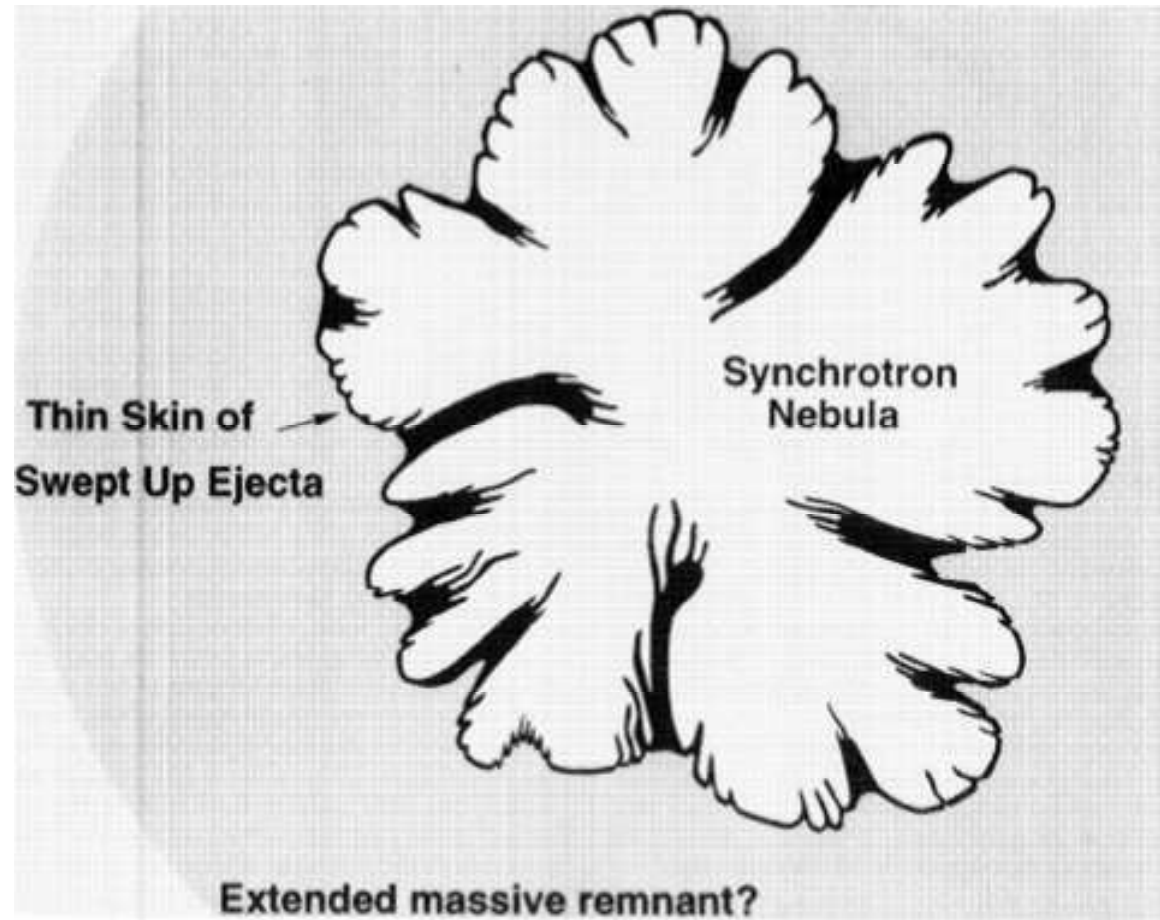


# Dynamika stavební struktury mlhoviny

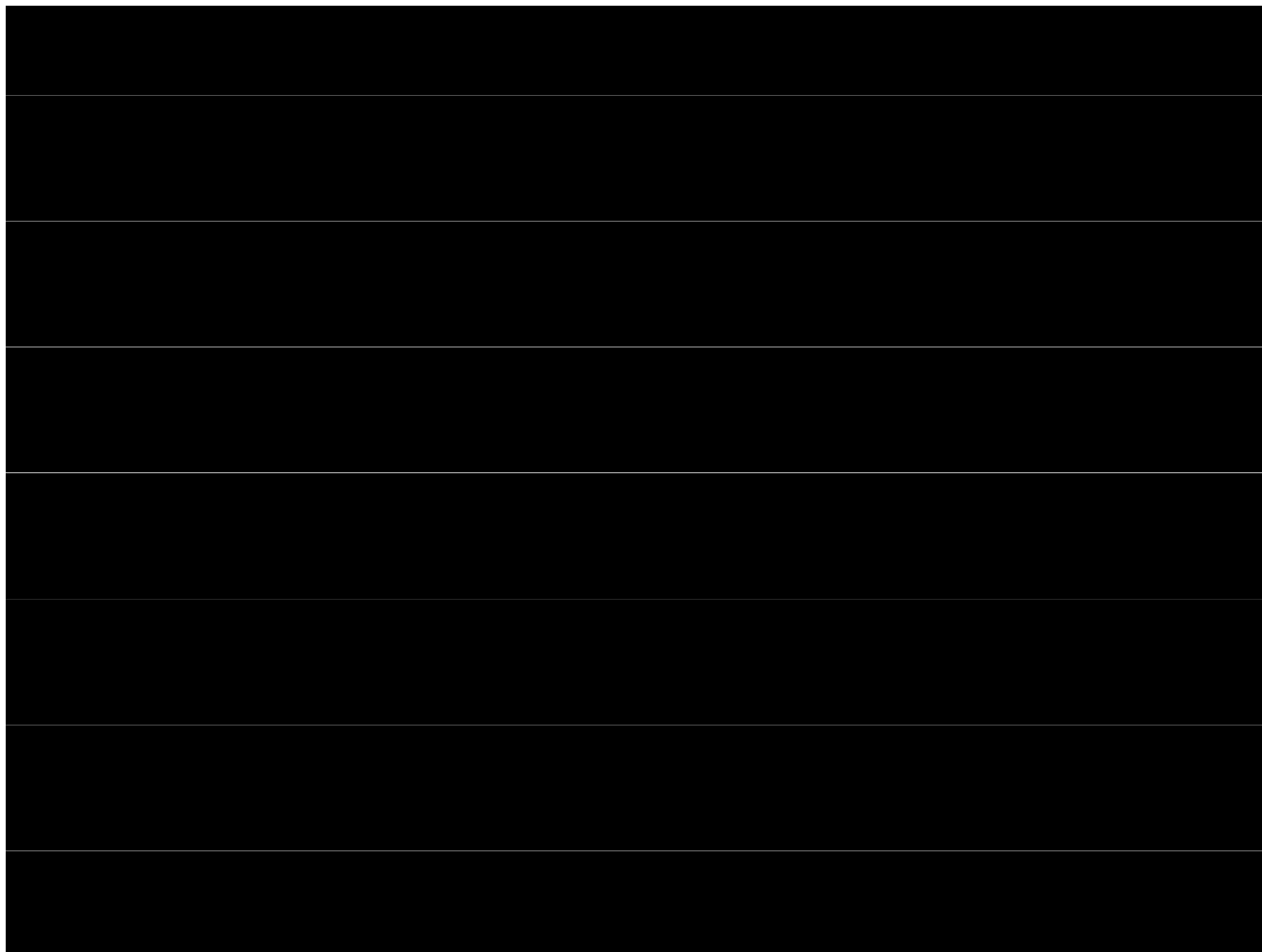
Jeff Hester r. 1996, ApJ 456, 225

HST WFPC2

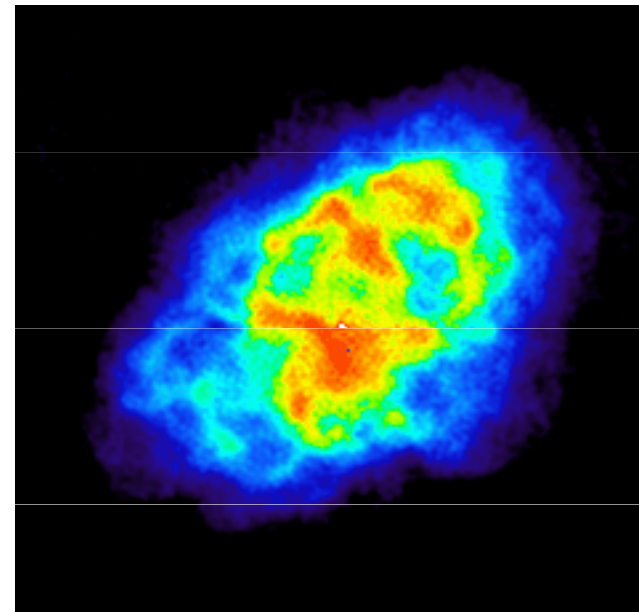
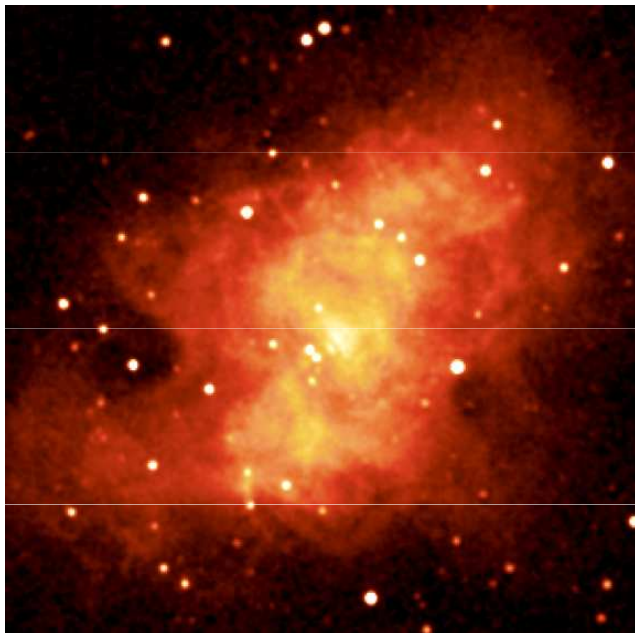
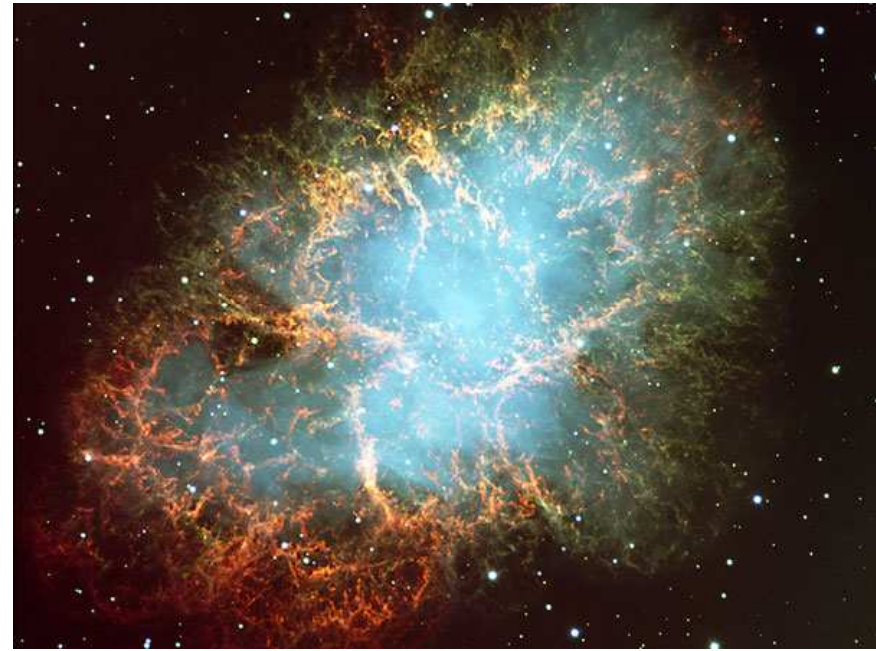
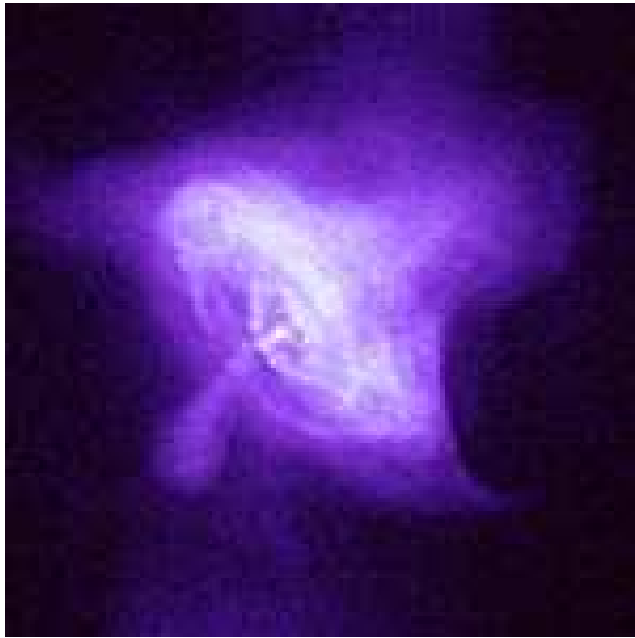
zkoumání interakce  
mezi synchrotronovou  
mlhovinou řízenou  
pulsarem a  
vymetenými výběžky,  
výzkum magnetických  
nestabilit  
radiální vlákna z vnější  
obálky, jejich tvar dán  
Rayleigh-Taylorovou  
nestabilitou



# Krabí mlhovina v různých oborech

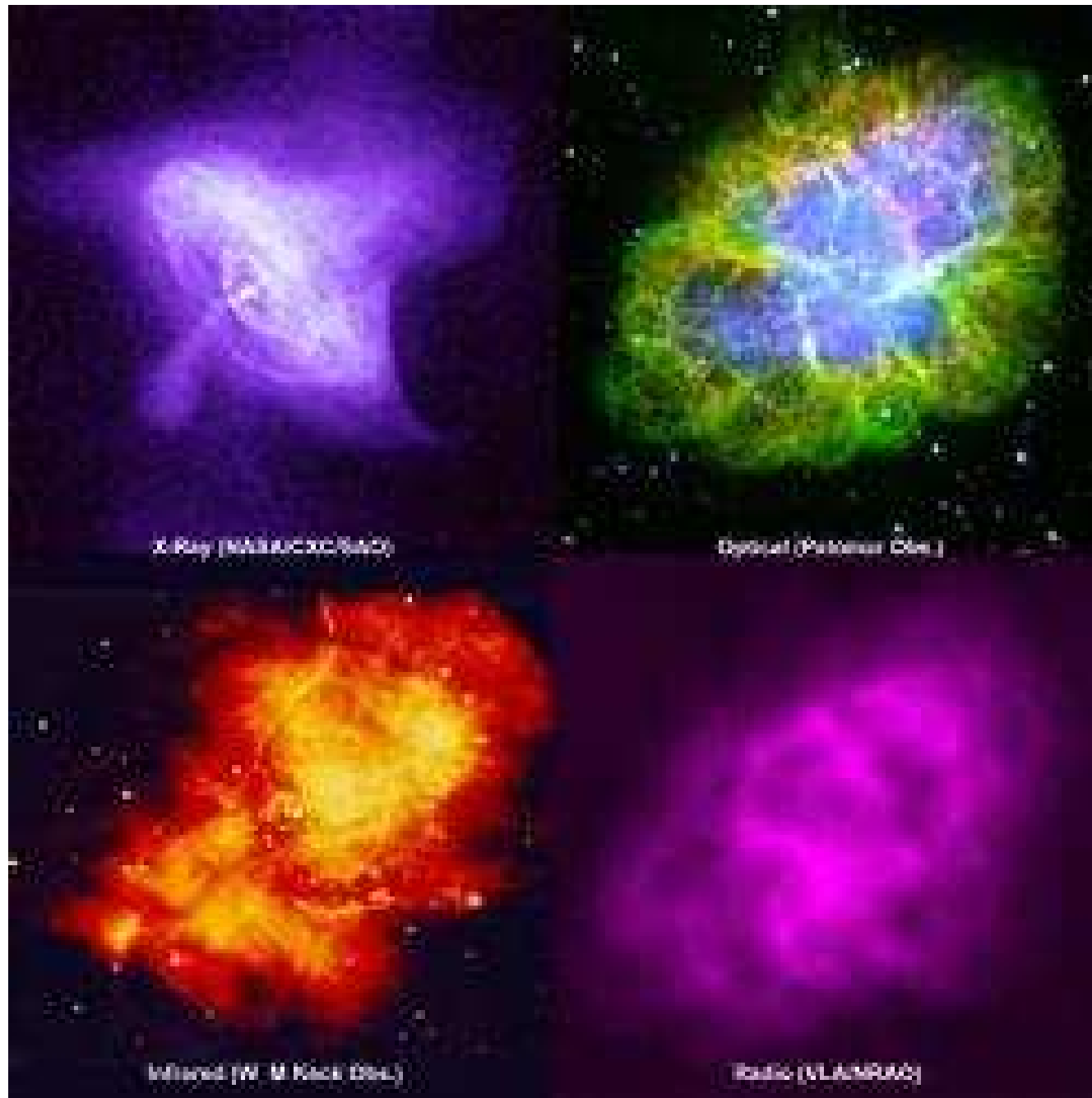


# Krabí mlhovina v různých oborech

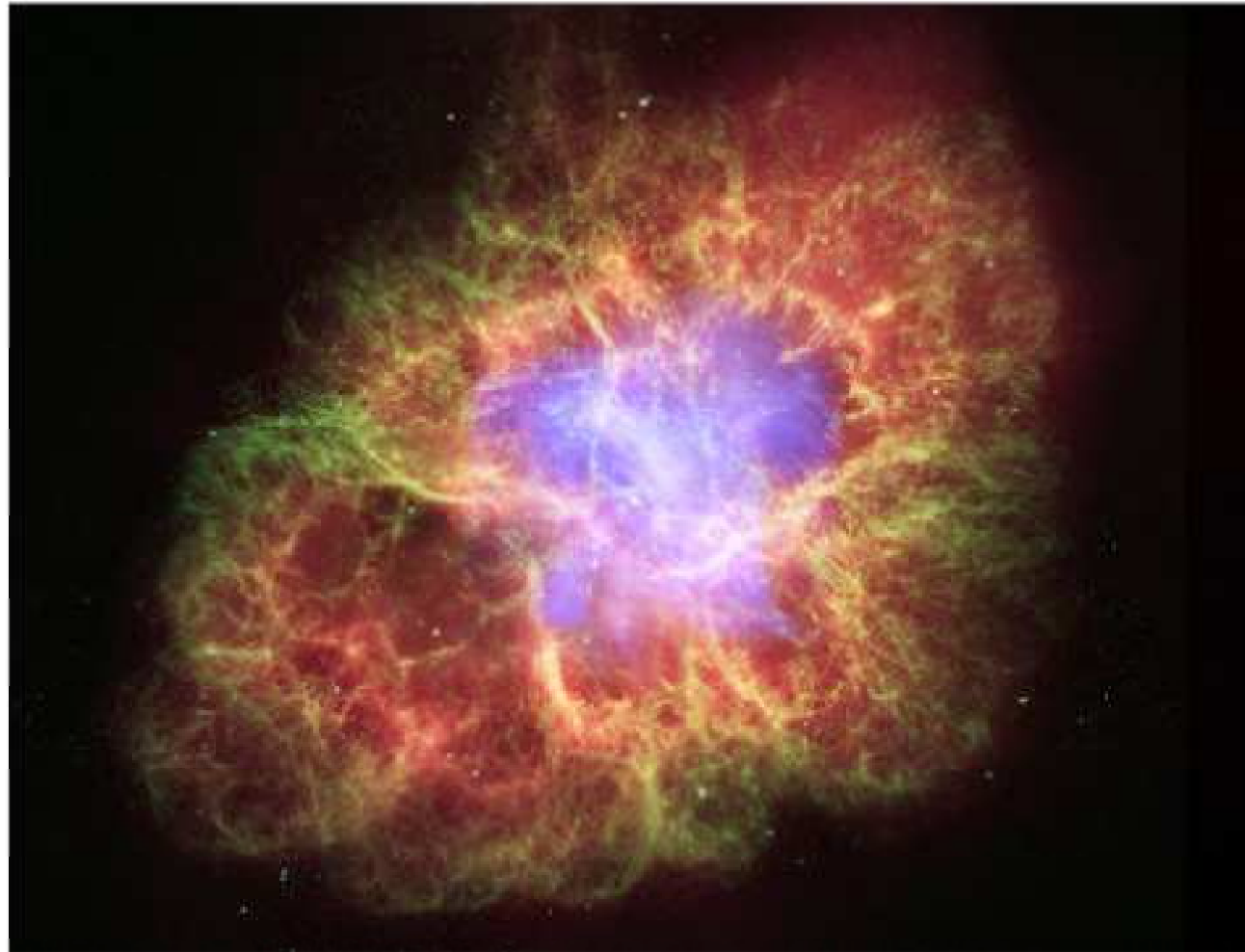




# Krabí mlhovina v různých oborech



# Krabí mlhovina v různých oborech

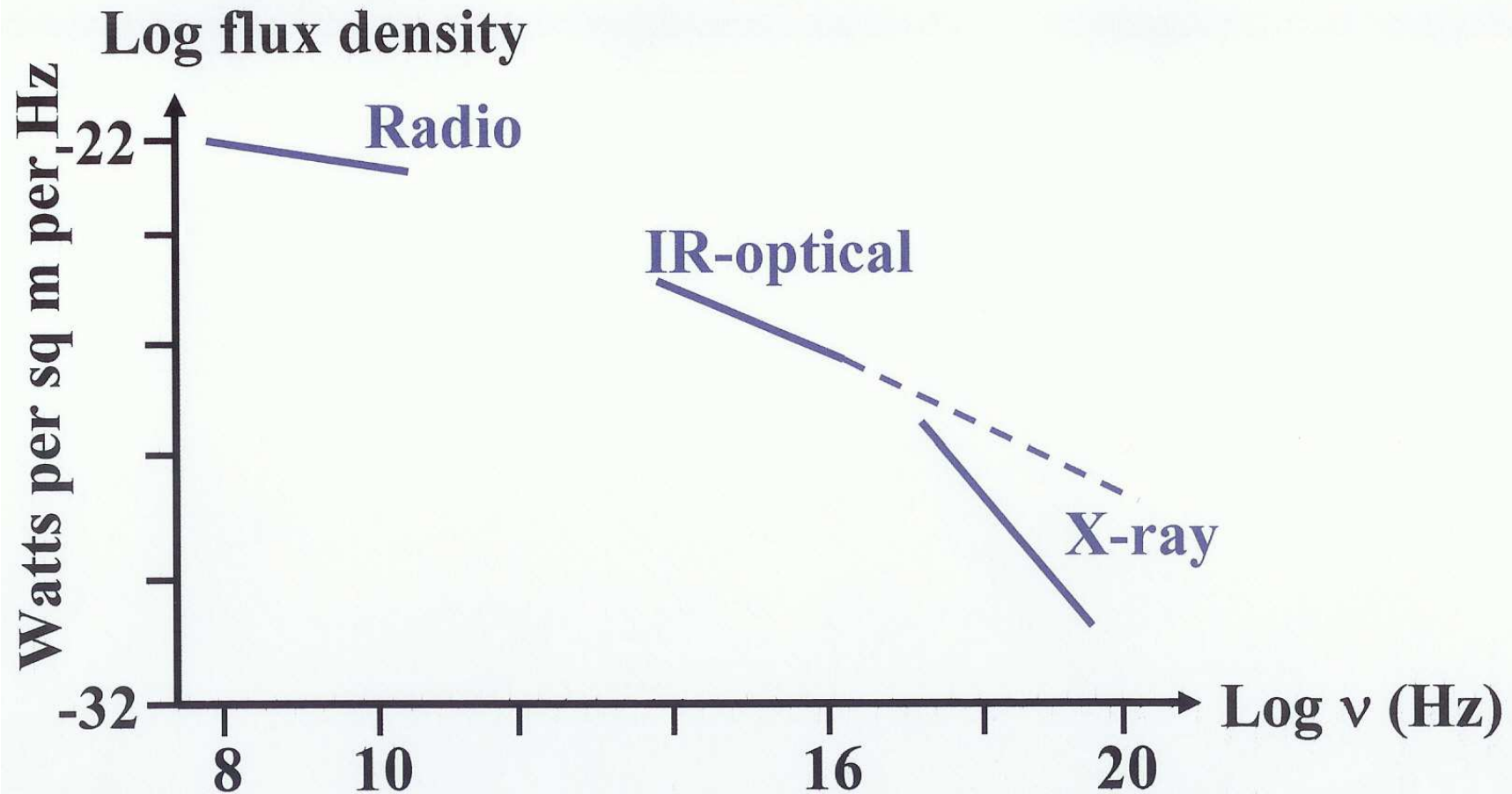


Composite Crab Credit: NASA - X-ray: CXC, J.Hester (ASU) et al.; Optical: ESA, J.Hester and A.Loll (ASU); Infrared: JPL-Caltech, R.Gehrz (U. Minn)

The Crab Nebula is cataloged as M1, the first object on Charles Messier's famous list of things which are not comets. In fact, the Crab is now known to be a supernova remnant, expanding debris from the death explosion of a massive star. This intriguing false-color image combines data from space-based observatories, Chandra, Hubble, and Spitzer, to explore the debris cloud in x-rays (blue-purple), optical (green), and infrared (red) light. One of the most exotic objects

# Spektrum Krabí mlhoviny

## Spectrum of the Crab Nebula



also  $\gamma$ -rays detected up to  $2.5 \times 10^{11}$  eV

# Krabí mlhovina – rádiový zdroj

John Bolton 1948, rádiové záření z Krabí mlhoviny

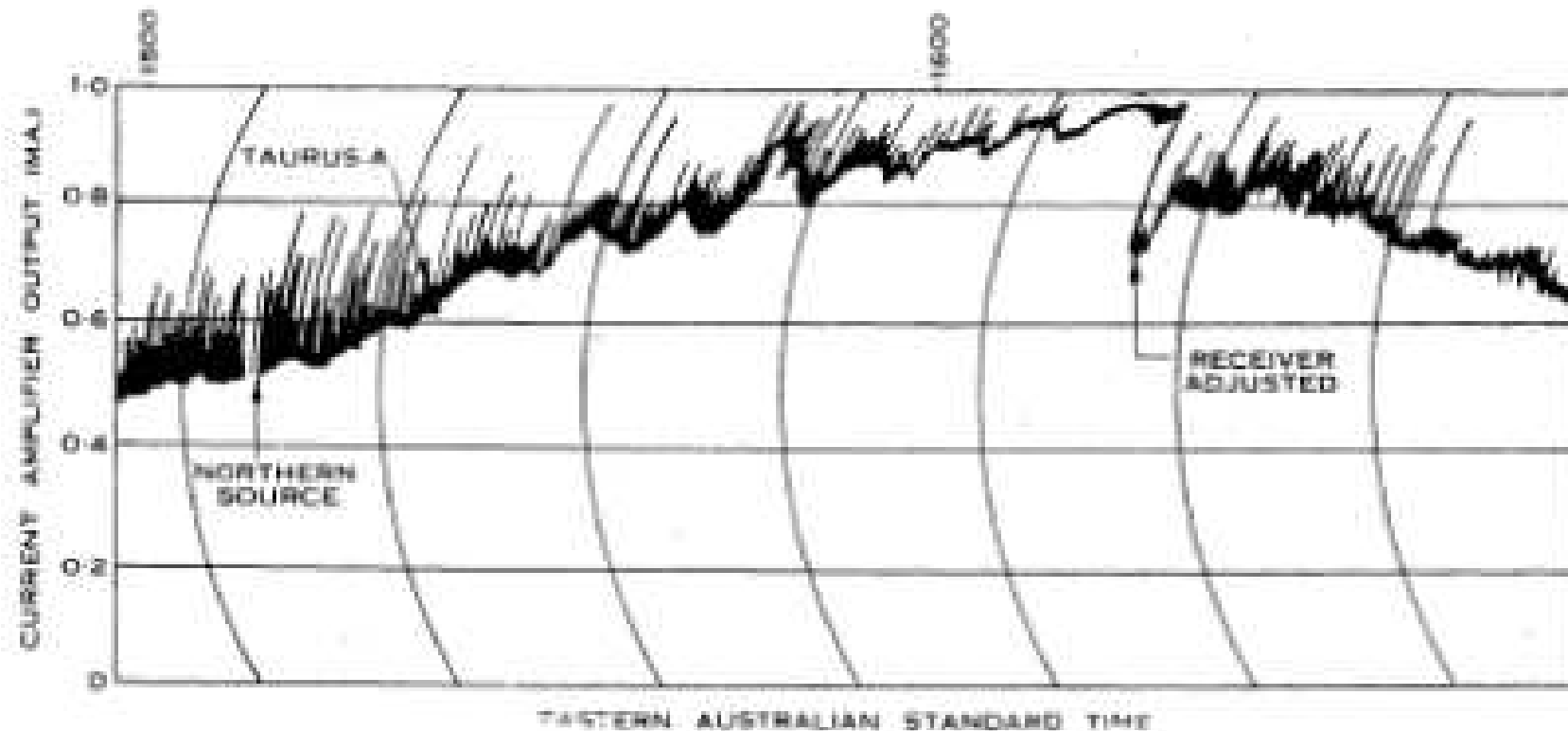


Fig. 1B.—Sources Taurus-A and (8·48) as seen from Dover Heights, Sydney, February 5, 1948. Frequency 100 Mc/s. Times, Eastern Australian Standard. Vertical lines in trace are due to distant atmospherics.



# Spektrum Krabí mlhoviny

Jaké fyzikální mechanismy objasňují pozorované spektrum ?

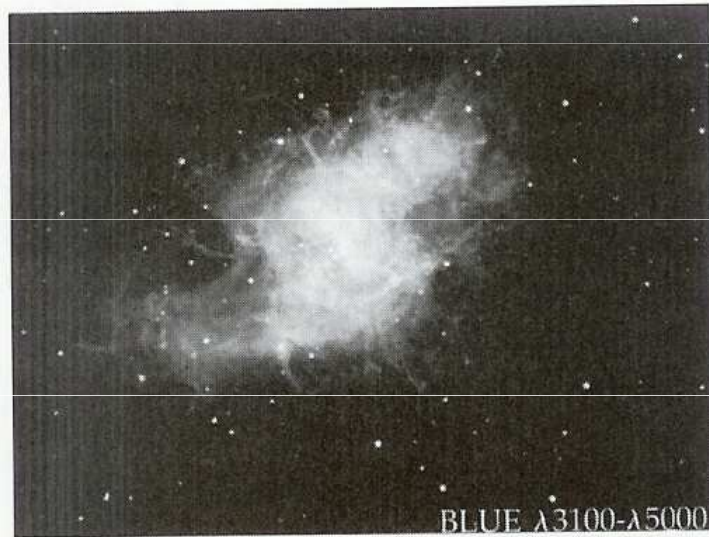
Jaká je interpretace uvedeného spektra ?

Josip Samuilovič Šklovskij DAN 90, 1953

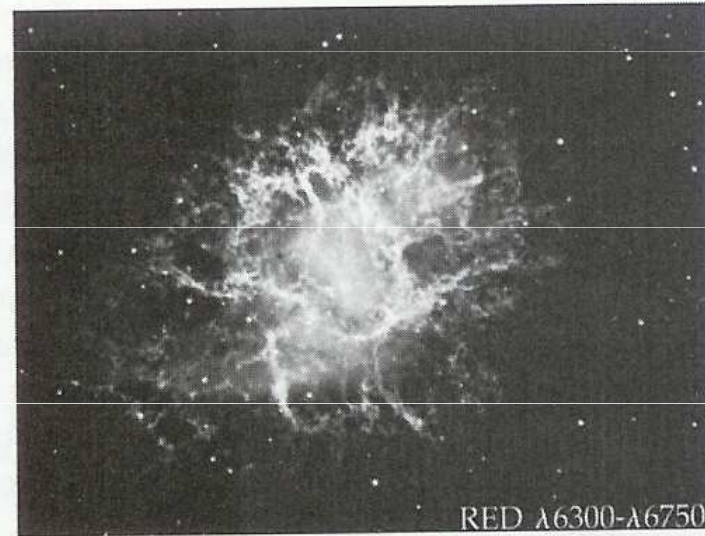
hypotéza původu spojitého spektra -  
synchrotronové záření

Dombrovski 1953 - lineární polarizace záření v  
optické oblasti 7%, u některých detailů až 60%

# Vzhled Krabí mlhoviny, polarizace světla



(A)



(B)



(C)



(D)

# Přeměny energie v Krabí mlhovině

Jaké fyzikální procesy umožňují přeměnu rotační energie pulsaru na expanzi mlhoviny?

Síla působící na plazmová vlákna je převážně způsobena relativistickými elektrony a magnetickými poli

Úbytek kinetické rotační energie = vyzářená energie + spotřebovaná energie na expanzi

$$\frac{dE_k}{dt} \geq \frac{dE_r}{dt} + \frac{dE_{\text{exp}}}{dt}$$

# Přeměny energie v Krabí mlhovině

Rotační energie je transformována na záření  $dE_r/dt$  a energii nezbytnou k akceleraci expanze mlhoviny do okolního prostředí  $dE_{exp}/dt$  ,pro zjednodušení výpočtů zavedeme aproximaci sférické symetrie

Rotační energie neutronové hvězdy je disipována  $\rightarrow$  emise částic, elektromagnetických vln prostřednictvím interakce pulsaru s obklopující plazmou



# Přeměny energie v Krabí mlhovině

Perioda pulsace  $P_p = 0,03340 \text{ s}$

$dP_p/dt = 4,20997 \cdot 10^{-13} \text{ s} \cdot \text{s}^{-1}$

čemuž odpovídá  $\Omega_p = 188,101 \text{ s}^{-1}$

dále  $d\Omega_p/dt = -2,37071 \cdot 10^{-9} \text{ s}^{-2}$

# Krabí mlhovina v různých barvách

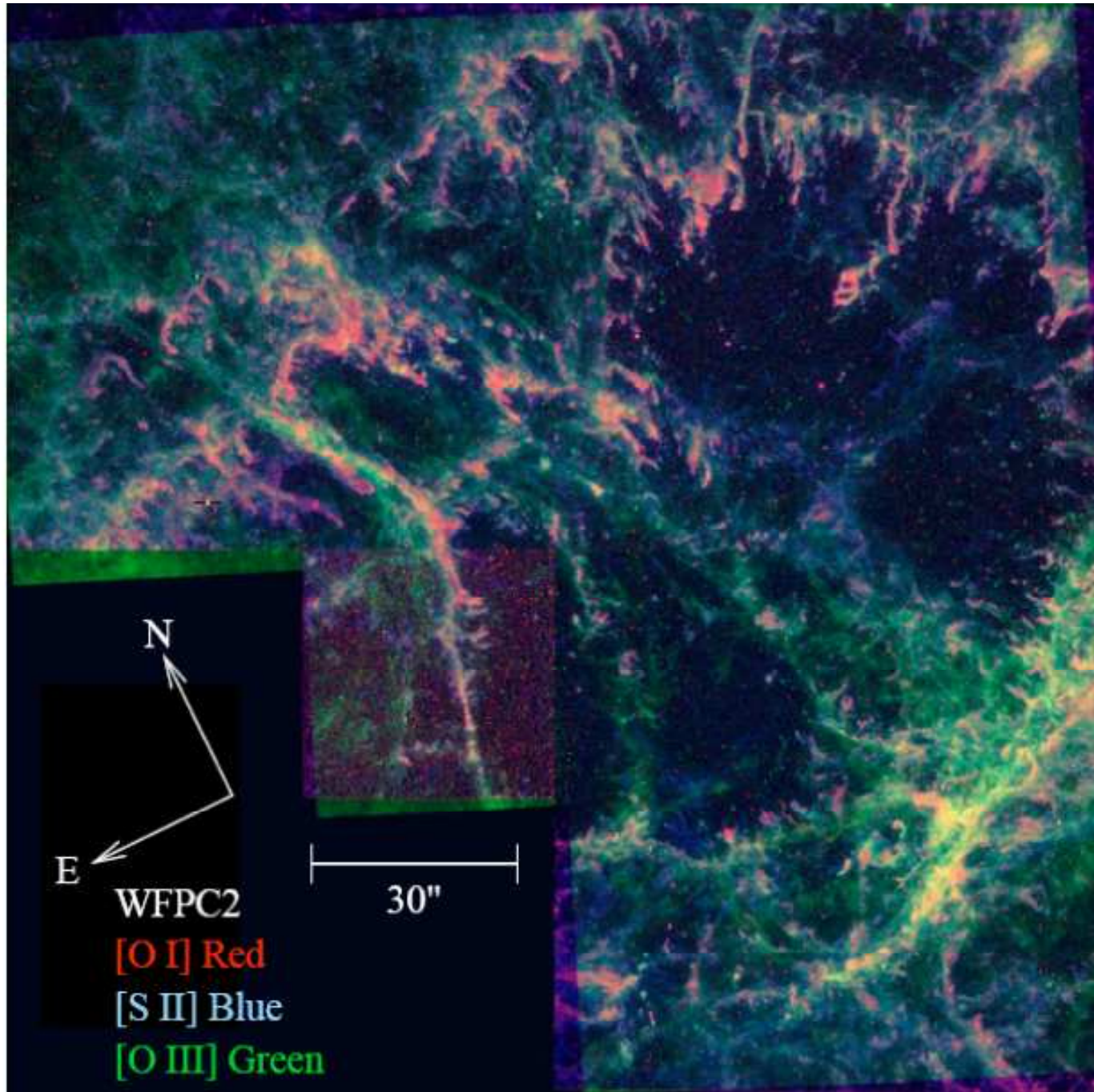


FIG. 1.—Three-color image of the Crab Filaments showing the full field of view of the *HST* observations, [O I]  $\lambda 6300$  is shown in red, [S II]  $\lambda\lambda 6716, 6731$  is shown in blue, and [O III]  $\lambda 5007$  is shown in green.

# Expanze Krabí mlhoviny

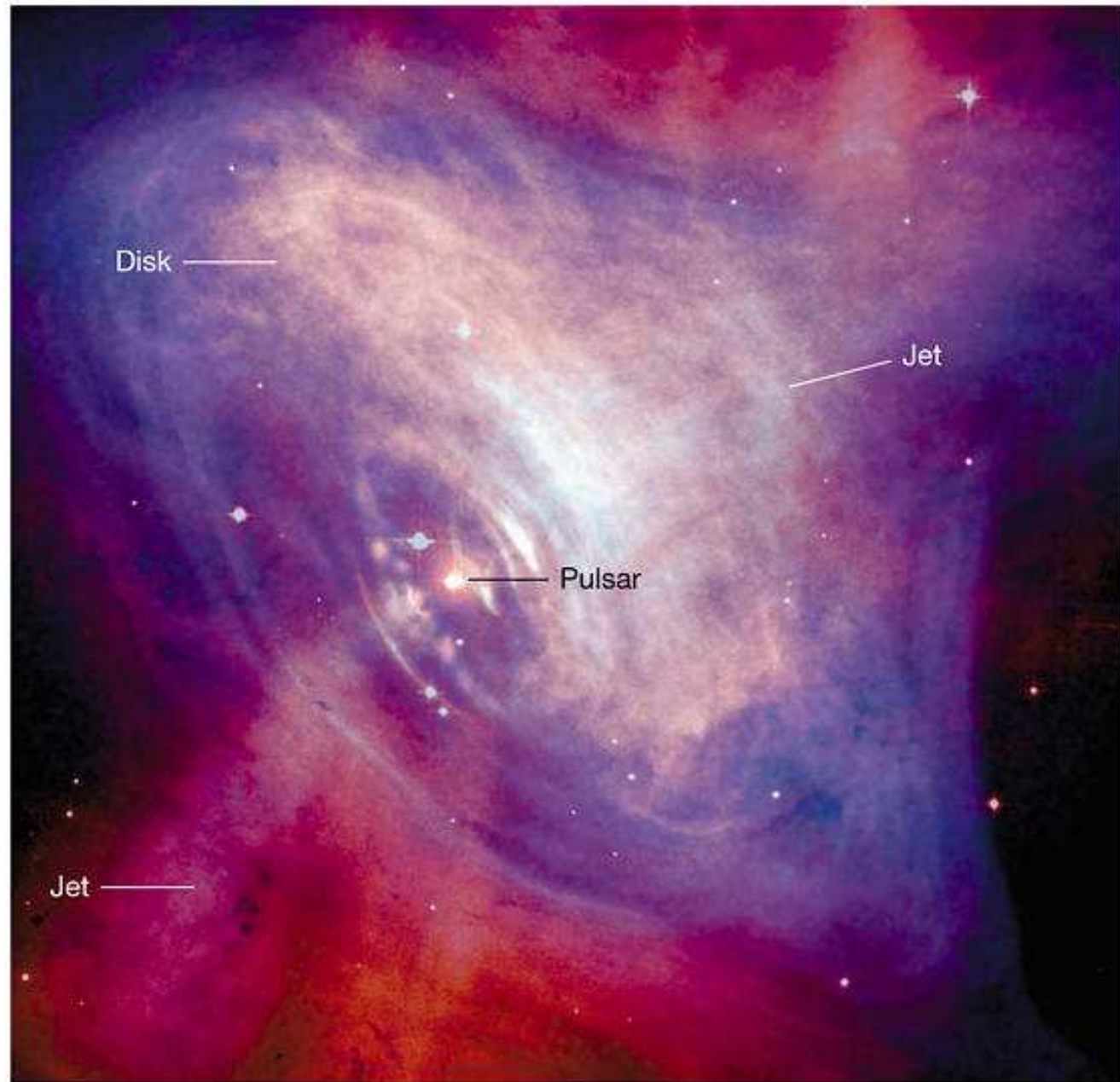
$$\dot{M}_{mlh} = 4\pi R_{mlh}^2 n_H m_H v$$

$m_H$  je hmotnost atomu vodíku,  $M_{neb}$  je hmotnost mlhoviny,  $n_H$  je počet atomů v  $\text{cm}^{-3}$  - 0,2

$$\frac{1}{2} \dot{M}_{neb} v^2 \quad \text{kinetická energie vstřikovaná nezbytná k expanzi mlhoviny}$$

$$\dot{E}_{\text{exp}} = \frac{d}{dt} \left( \frac{1}{2} M_{mlh} v^2 \right) = M_{mlh} v \dot{v} + \frac{1}{2} \dot{M}_{mlh} v^2$$

# Krabí mlhoviny v rtg. oboru





# Krabí mlhovina



# Krabí mlhovina

