

Úloha: Pulsary a Krabí mlhovina

Jméno: Tomáš Plšek, 461281

Datum odevzdání: . 29.3.2017 .

Shrnutí úkolů:

Pulsary

1. Na obr. 4 oměřte pětkrát dolní i horní měřítko u každého ze tří záznamů pulsaru. Měřte s přesností na desetiny milimetru. Měření запиšte do tabulky 10. Pokud nebude obrázek 4 nějak výrazně deformován, předpokládejte, že dolní i horní měřítko u každého obrázku jsou stejná. Spočtete pro každý pulsar velikost měřítka, to znamená kolik milimetrů odpovídá jedné sekundě. Výsledky opět запиšte do tabulky.

Tabulka 10: Měřítka obrázku 4.

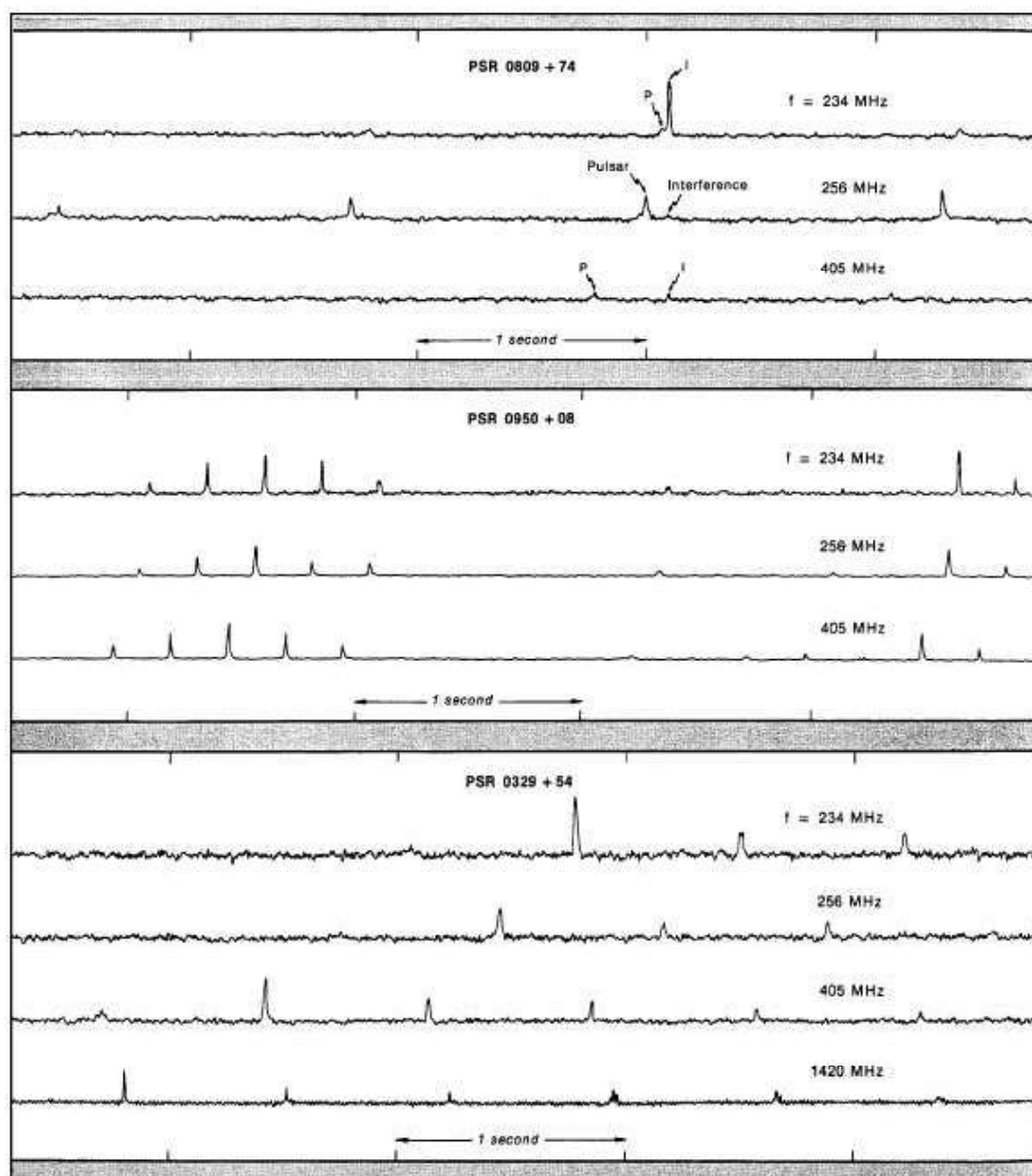
Pulsar	0809+74		0950+08		0329+54	
Měření	škála [mm]		škála [mm]		škála [mm]	
	dolní	horní	dolní	horní	dolní	horní
1	30,3	30,8	30,5	30,6	30,3	30,5
2	30	30,6	30,9	30,9	30,2	30,6
3	30,4	30,3	30,7	30,5	30,5	30,7
4	30,4	30,5	30,2	30,3	30,6	30,5
5	30,5	30,8	30,8	31	30,5	30,4
Průměr [mm]	30,46		30,64		30,48	
Měřítka*	0,03283 s/mm		0,03264 s/mm		0,03281 s/mm	

*) Měřítka vyjadřuje, kolik milimetrů odpovídá jedné sekundě.

2. Na obr. 4 změřte s přesností na desetiny milimetru vzdálenosti mezi impulsy. Pokud možno neměřte sousední impulsy, ale impulsy od sebe vzdálenější (a měřenou vzdálenost dělte počtem period mezi impulsy). U pulsaru PSR 0809+74 odlišujte pravé impulsy (označené na obr. 4 písmenem P) od pozemního rušení (I – Interference). Pomocí měřítka zjištěného v bodě 1 převed'te naměřené vzdálenosti z délkové do časové škály. Výsledky měření a převodu zapisujte do tabulky 11.

Tabulka 11: Vzdálenost impulsů, periody pulsarů.

Pulsar	Perioda pro frekvenci								Průměrná perioda ze všech frekvencí
	234 MHz		256 MHz		405 MHz		1420 MHz		
	[mm]	[s]	[mm]	[s]	[mm]	[s]	[mm]	[s]	[s]
0809+74	39,40	1,293	39,40	1,293	39,60	1,300	—	—	1,296
0950+08	7,70	0,251	7,70	0,251	7,65	0,250	—	—	0,251
0329+54	21,90	0,719	22,00	0,722	21,88	0,718	21,85	0,717	0,719



Obr. 4: Registrace záření tří pulsarů (National Radio Astronomy Observatory, Green Bank, USA).

3. Změřte na obrázku 4 zpoždění pulsů pro rozdílné frekvence. Naměřené hodnoty převeďte podle zjištěných měřítek na časy Δt v sekundách a pomocí vztahu 2 spočítejte střední disperzní míru nr pro jednotlivé pulsary. Všechny výsledky zapisujte do tabulky 12.

Disperzní míra by měla být pro daný pulsar pro všechny kombinace frekvencí stejná. Ve skutečnosti se bude mírně lišit v důsledku chyb měření. V každém případě je ale nutné dávat pozor na to, abyste proměřovali odpovídající pulsy. Zejména u pulsaru PSR 0329+54 je třeba vybrat ke třem impulsům na prvních třech frekvencích odpovídající čtvrtý na frekvenci 1420 MHz.

4. Pomocí vztahu 2 spočítejte vzdálenosti pulsarů. Předpokládejte přitom, že průměrná koncentrace elektronů v mezihvězdném prostředí je $3 \cdot 10^{-8} \text{ m}^{-3}$. Výsledky запиšte do tabulky 13. Diskutujte, jak jednotlivé kroky, které jste podnikli k určení vzdáleností, a zejména jejich nejistoty ovlivnily výsledné hodnoty vzdáleností. Jak velkou nejistotu v hodnotě vzdálenosti znamená nepřesnost měření 0,2 mm v záznamech na obrázku 4?

Určování měřítka (měřeno 10 krát pro každý pulsar) můžeme oproti samotnému měření spoždění pulsů pro dané frekvence (měřeno pouze jednou) pokládat za relativně přesné. Největší úskalí tedy obnáší měření spoždění pulsů a tedy určení disperzní míry pro dané pulsary.

Nezle jednoznačně říci jak velkou nejistotu při určení vzdálenosti znamená nepřesnost 0,2 mm. Záleží to na frekvencích, které porovnáváme, a také na měřítku daného pulsaru (ty jsou však téměř stejné).

Tabulka 12: Zpoždění a míra disperze

		Perioda pro frekvenci									Perioda (průměr)
Pulsar		Zpoždění Δt [s] a míra disperze nr pro pulsary									
Frekvence [MHz]		0809+74			0950+08			0329+54			
ν_1	ν_2	[mm]	Δt	nr	[mm]	Δt	nr	[mm]	Δt	nr	P
234	256	2,1	0,069	5,54	1,1	0,036	2,89	10,0	0,328	2,63	
234	405	8,8	0,289	5,72	5,0	0,163	3,23	41,3	1,355	2,68	
234	1420	-	—	—	—	—	—	59,1	1,939	2,63	
256	405	6,7	0,220	5,79	3,9	0,127	3,34	31,3	1,027	2,70	
256	1420	—	—	—	—	—	—	49,2	1,611	2,63	
405	1420	—	—	—	—	—	—	17,8	0,584	2,51	
průměry:		—	—	5,68	—	—	3,15	-	—	2,63	
		*10^-6			*10^-6			*10^-5			

Tabulka 13: Vzdálenosti pulsarů

Pulsar	Vzdálenost r [pc]
0809+74	189,3
0950+08	105,0
0329+54	876,7

Jak už víme, je v označení pulsaru zakódována jeho poloha na hvězdné obloze. Pomocí mapy hvězdné oblohy zjistíte, ve kterém souhvězdí a poblíž které jasnější hvězdy se pulsar nachází. Popište také, kdy je nejlépe příslušná část hvězdné oblohy pozorovatelná pro pozorovatele v Brně. Stačí uvést měsíce nebo roční období. Výsledky запиšte do tabulky 14.

Tabulka 14: Poloha pulsarů na hvězdné obloze.

Pulsar	Souhvězdí	Jasná hvězda v okolí	Viditelnost (roční období)
0809+74	Žirafa	Muscida	Cirkumpolární
0950+08	Lev	Regulus	od Zimy do Léta
0329+54	Žirafa	Mirphak	Cirkumpolární

Krabí mlhovina

- Na obrázcích 5, 6 je označena dvojice hvězd. Jejich úhlová vzdálenost je $385''$. Změřte jejich vzdálenost na snímcích v milimetrech s přesností na desetinu milimetru. Naměřené vzdálenosti запиšte do tabulky 15 spolu se spočtenými průměrnými hodnotami a chybami. Spočítejte také měřítka obou snímků v úhlových vteřinách na milimetr [$''$ /mm] a запиšte na poslední řádek tabulky 15.
- Podle obrázku 3 zidentifikujte pulsar na obou snímcích na obrázcích 5, 6.
- Vyberte si na jednom snímku 10 relativně dobře definovaných bodů, zhustků ve filamentech mlhoviny, zejména na její periferii. Vybrané body si dobře vyznačte, aby

Tabulka 15: Měřítka snímků Krabí mlhoviny.

Měření č.	Snímek z r. 1973 vzdálenost hvězd [mm]	Snímek z r. 2000 vzdálenost hvězd [mm]
1	167,8	167,6
2	168,0	167,9
3	167,5	167,8
4	167,8	168,1
5	168,1	168,3
Průměr	167,8	167,9
Chyba	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$
Měřítka ["/mm]	2,2939 "/mm	2,2925 "/mm

nemohlo dojít k záměně s jiným zhustkem. Pozor také na záměnu s hvězdami. Vybrané body pak naleznete na druhém snímku a opět pečlivě označte.

- Na obou snímcích změřte vzdálenost každého zvoleného bodu k pulsaru s přesností na desetinu milimetru. Výsledky запиšte do tabulky 16 do sloupců r_{1973} a r_{2000} , kde r značí vzdálenost.

Tabulka 16: Vzdálenosti vyznačených bodů v Krabí mlhovině od pulsaru

Uzlík č.	r_{1973} [mm]	q_{1973} ["]	r_{2000} [mm]	q_{2000} ["]	Δq ["]	w ["/rok]	T [roky]
1	65,5	150,25	68,5	157,04	6,79	0,251	624,6
2	50,5	115,84	53,0	121,50	5,66	0,210	579,4
3	38,0	87,17	39,5	90,55	3,39	0,125	721,9
4	45,5	104,37	46,5	106,60	2,23	0,083	1290,5
5	39,5	90,61	40,5	92,85	2,24	0,083	1119,9
6	17,0	39,00	17,5	40,12	1,12	0,042	964,5
7	34,5	79,14	36,5	83,68	4,54	0,168	497,9
8	45,5	104,37	46,5	106,60	2,23	0,083	1290,5
9	53,5	122,72	54,5	124,94	2,22	0,082	1519,9
10	52,0	119,28	54,0	123,79	4,51	0,167	740,5

- S použitím zjištěného měřítka snímků spočítejte úhlovou vzdálenost q zhustků od pulsaru a doplňte tabulku 16.
- Spočítejte rozdíl úhlových vzdáleností Δq zhustků od pulsaru mezi roky 1973 a 2000 pro každý proměřený zhustek. Z něj poté určete průměrnou rychlost vyvrhovaného materiálu ve vybraných bodech vzhledem k centrálnímu pulsaru w v úhlových vteřinách za rok a výsledky запиšte do tabulky 16.

Střední rozptyl v Δq indikuje stochastickou chybu ve vašich měřeních vzdáleností. Spočtete střední hodnotu Δq a její chybu.

$$\overline{\Delta q} = \dots\dots\dots (3,5 \pm 0,6) \text{ (p} = 0,683, n = 9)$$

7. Posledním krokem je výpočet celkového času T , který uplynul od exploze supernovy. Spočtené hodnoty запиšte do posledního sloupce tabulky 16. Spočtete střední hodnotu doby rozpínání Krabí mlhoviny \overline{T} a chybu určení.

Doba $\overline{T} = \dots\dots\dots (935 \pm 126) \text{ let}$ (p = 0,683, n = 9), takže k explozi supernovy podle našich zjištění došlo v roce $\dots\dots\dots 1079\dots\dots\dots$. Jistě víte, že správná hodnota, tedy rok, kdy došlo k explozi supernovy, je 1054. Srovnajte s vaším výsledkem a diskutujte důvod rozdílu. Pomoci by vám mohla i nápověda, že výše popsané a provedené určení stáří Krabí mlhoviny bylo učiněno za jednoho dosud nevyřčeného předpokladu o rychlosti plynných zbytků supernovy. Jakého? Jak moc ovlivnily váš výsledek chyby vašeho měření vzdáleností na snímcích? Diskutujte.

Můj výsledek se liší od reality o $25 \pm 126 \text{ let}$.

Nejistota měření vzdáleností jednotlivých zhustek plynu (jednotlivé vzdálenosti jsem odečítal s přesností 0,5 mm) má na celkové nejistotě dominantní podíl. Nejistota vzniklá při určování měřítka je oproti ní minimální.

Základním zjednodušujícím předpokladem je lineární závislost rychlosti zhustek na čase.

8. Krabí mlhovinu poprvé pozoroval v roce 1731 John Bevis. Nezávisle ji znovu objevil Charles Messier v roce 1758. Spočtete (i s naším zjednodušujícím předpokladem) jaký úhlový rozměr měla Krabí mlhovina v roce, kdy ji pozoroval Charles Messier.

Messier používal ke svým pozorováním refraktor o průměru přibližně 100 mm. Jakou měl jeho přístroj teoretickou rozlišovací schopnost?

Úhlový rozměr Krabí mlhoviny v roce 1758 byl $\dots\dots\dots \sim 280''$, přičemž teoretická rozlišovací schopnost Messierova dalekohledu byla $\dots\dots\dots 1,4'' \dots$

Pojďme ale ještě dále do minulosti. Největší dalekohled Galilea Galileiho měl průměr 58 mm. Řekněme, že si jej vyrobil už v roce 1610. Jakou měl teoretickou rozlišovací schopnost? Mohl tehdy Krabí mlhovinu pozorovat? Diskutujte.

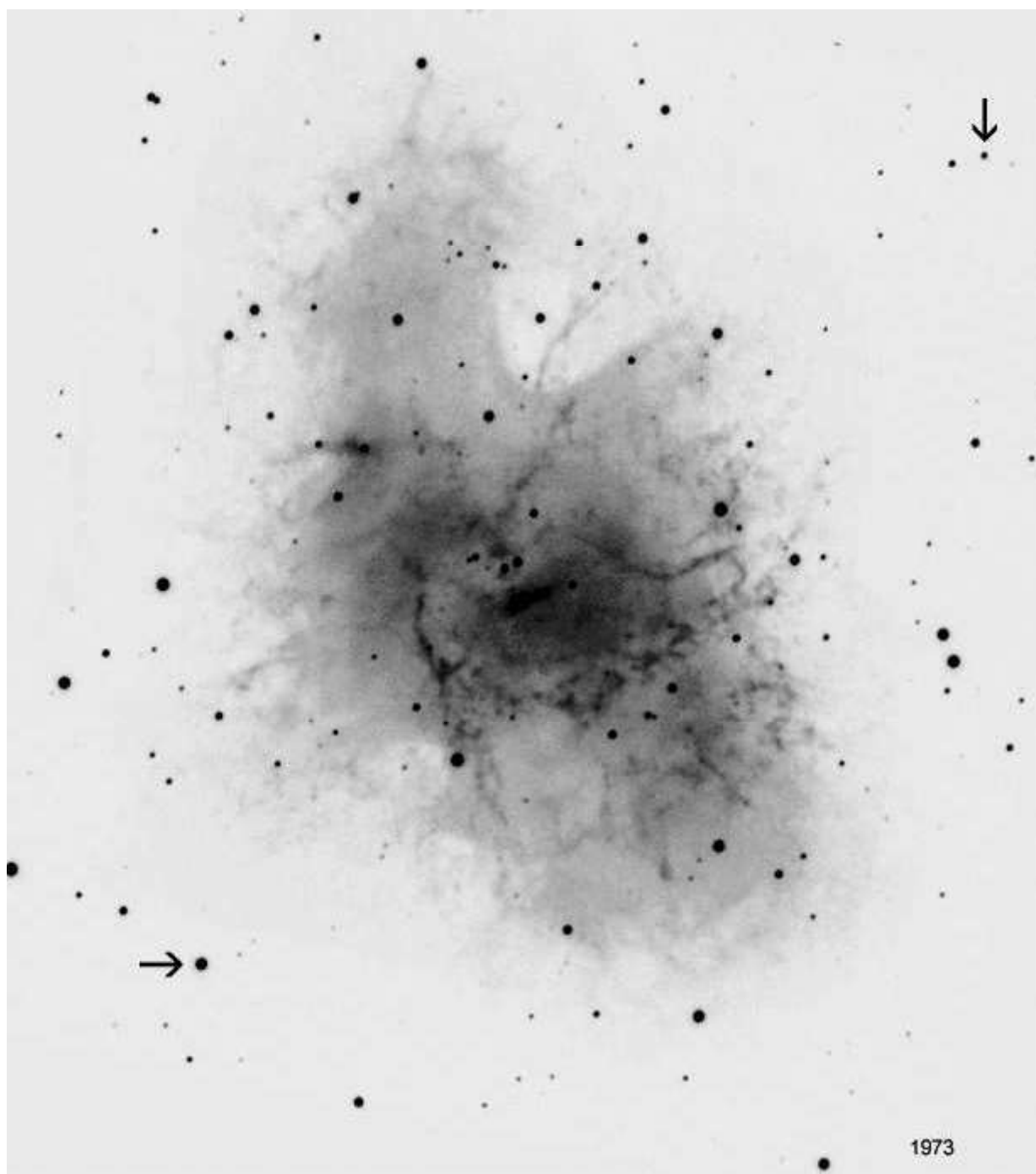
Úhlový rozměr Krabí mlhoviny v roce 1610 byl $\dots\dots\dots \sim 220''$, přičemž teoretická rozlišovací schopnost Galileova dalekohledu byla $\dots\dots\dots 2,4'' \dots$

Ano, nepochybně ji mohl pozorovat.

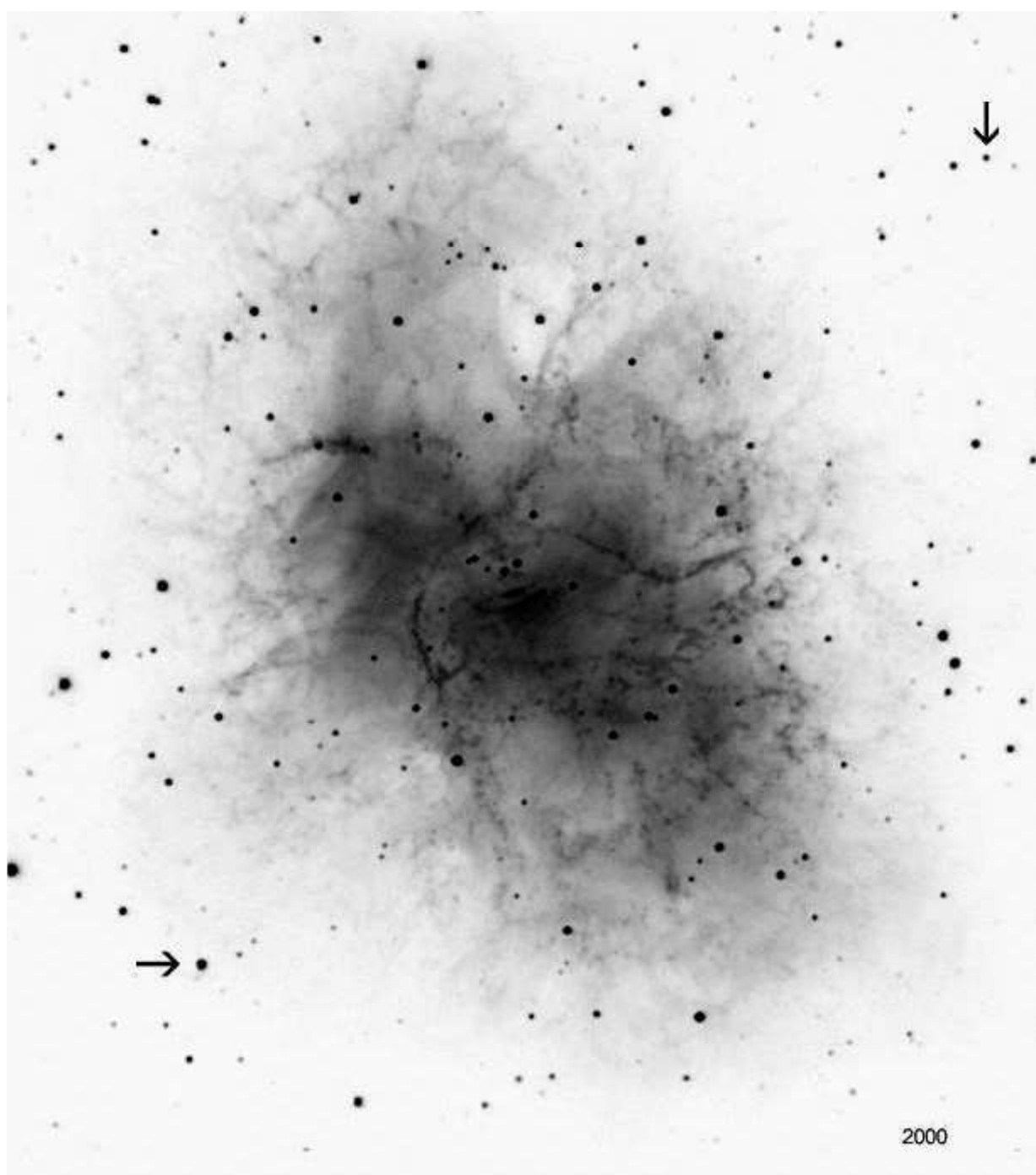
*) Nynější průměrnou velikost Krabí mlhoviny jsem aproximoval jako vzdálenost dvou hvězd z obr. 6 (tedy 385"). Reálná úhlová velikost krabí mlhoviny je $420'' \times 290''$ [1].

Zdroje:

[1]...www.en.wikipedia.org/wiki/Crab_Nebula



Obr. 5: Krabí mlhovina v roce 1973.



Obr. 6: Krabí mlhovina v roce 2000.