

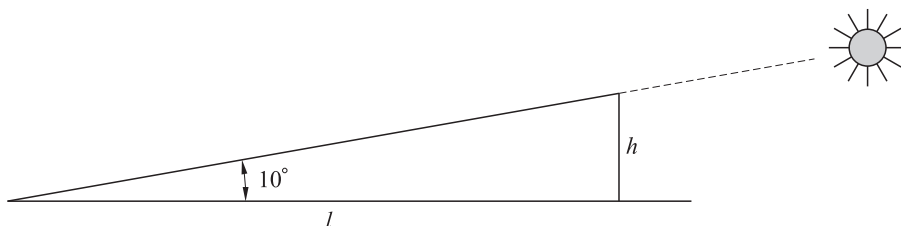


## Par zanimljivih crtica o pomrčini Sunca. Zašto prosječna osoba nije primijetila pomrčinu?

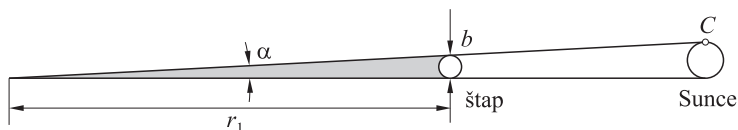
Nikola Poljak<sup>1</sup>

Ove se godine 20. ožujka s prostora Republike Hrvatske mogla opaziti djelomična pomrčina Sunca. Vrijeme u Zagrebu bilo je vedro te je pomrčina bila lako opaziva s mog krova, odakle sam je i slikao fotoaparatom. Kako prolazak Mjesečeva diska preko Sunčeva traje dosta dugo, imao sam vremena promatrati i kretanje grada oko sebe, kad sam zapazio da gotovo nitko nije primijetio ništa neobično. Drugim riječima, oni koji nisu čuli za pomrčinu putem vijesti, nisu ni znali da se dešava. Pitao sam se kako je uopće moguće da se ništa ne primjećuje kad je Mjesečev disk prekrpio gotovo 60% površine Sunčeva diska?

Priču koja će najbolje ilustrirati opažanje pomrčine zgodno je započeti tipičnim srednjoškolskim zadatkom. Pretpostavite da je u tlo zabijen valjkasti štap promjera  $b = 10$  cm i visine  $h = 5$  m. Sunce se nalazi na  $10^\circ$  iznad horizonta. Kolika je duljina sjene koju baca štap? [1] Uobičajeno rješenje zadatka koristi jednostavan trigonometrijski račun i kao rješenje daje  $l = h \operatorname{ctg} 10^\circ = 28.35$  m.



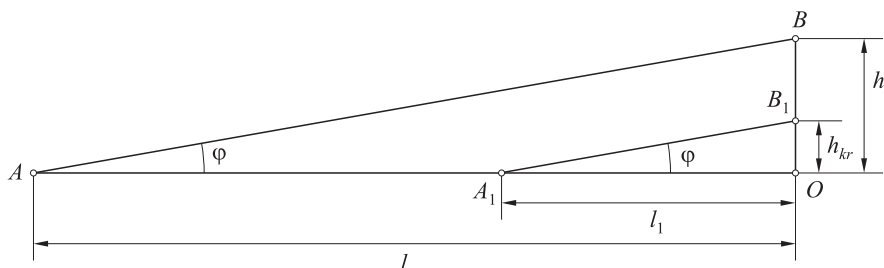
Međutim, ovo rješenje ne uzima u obzir dvije činjenice: da štap ima neku širinu i da Sunce nije beskonačno udaljen točkasti izvor. Ustvari, Sunce je na prosječnoj udaljenosti od Zemlje 149.5 milijuna kilometara i ima promjer od oko 1.4 milijuna kilometara. Gledano sa Zemlje, sunčev disk zatvara kut od oko  $\alpha = 0.54^\circ$ . Zašto je to bitno u razmatranju može se vidjeti sa sljedeće slike, na kojoj se vidi da će puna sjena nastajati samo na onim mjestima s kojih štap potpuno prekriva Sunčev disk. Primijetimo da se ovdje radi o sjeni u zraku, a ne o projekciji na tlo.



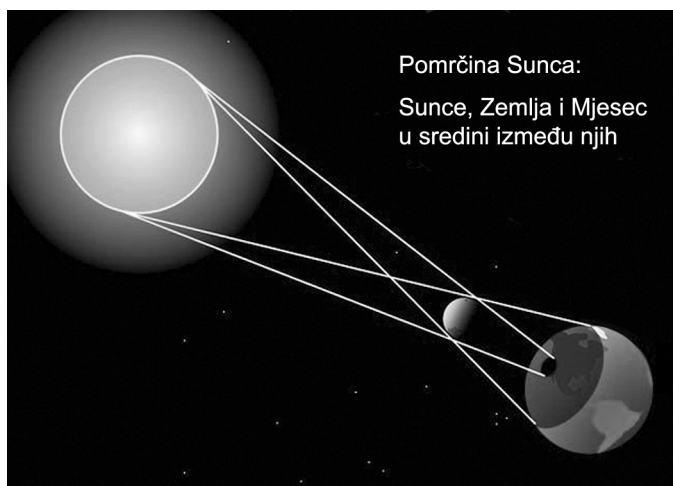
Ako s  $r_1$  označimo duljinu sjene u zraku, tad iz zatamnjenog (približno pravokutnog) trokuta vrijedi  $r_1 = b / \sin \alpha = 11.4$  m. Napokon, duljina pune sjene na podu sad

<sup>1</sup> Autor je docent na Fizičkom odsjeku PMF-a u Zagrebu; e-pošta: npoljak@phy.hr

je  $l_1 = r_1 \cos 10^\circ = 11.2$  m. Zanimljivo je primjetiti da samo dio štapa do visine  $h_{kr} = r_1 \sin 10^\circ = 2$  m daje punu sjenu! Ostatak štapa, do visine 5 m, davat će na tlu ono što nazivamo polusjenom, tj. zaklanjat će samo dio Sunčeva diska, dok će od ostatka diska dolaziti svjetlost.



Potpuno identična situacija ovoj opisanoj dešava se tijekom pomrčine Sunca, uz razliku što štاپ predstavlja Mjesec. Na mjestima na Zemlji gdje Mjesečev disk potpuno zaklanja Sunčev dolazi do potpune pomrčine, a na mjestima gdje se stvara polusjena dolazi do djelomične pomrčine.



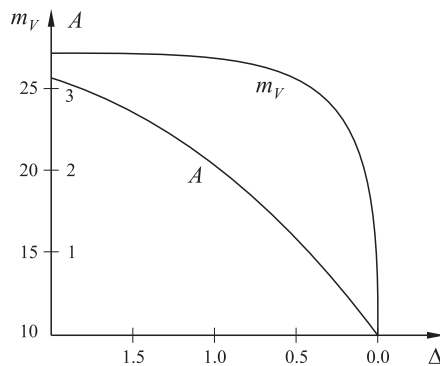
Jako je zanimljivo da je površina pune sjene na Zemlji dosta mala, što govori da je prostorni kut koji zatvara Mjesec gotovo identičan prostornom kutu Sunca. Naravno, to ovisi o relativnim udaljenostima Mjeseca i Sunca, koji se mijenjaju u vremenu. No, ako uzmemo da se udaljenost Sunca mijenja u granicama 147–152 milijuna km, a Mjeseca 363.1–405.7 tisuća km, te promjere Sunca, Mjeseca i Zemlje, ispada da Sunce zatvara kut  $0.528^\circ$ – $0.546^\circ$ , a Mjesec  $0.499^\circ$ – $0.558^\circ$ , što je fantastična podudarnost! Možemo se pitati je li ovo jedinstven slučaj u našem sustavu ili se dešava češće? Zasad je poznato oko 170 prirodnih satelita koji orbitiraju oko 8 planeta i poznate su njihove veličine i udaljenosti od planeta, kao i udaljenosti planeta od Sunca, pa se na pitanje može odgovoriti računski. Ukoliko se razmatra omjer kuta koji zatvara pojedini mjesec i kuta koji zatvara Sunce s površine planeta tog mjeseca, dobivaju se brojevi u rasponu 0.000024 za male mjesece Jupitera do 26.4 za Neptunov najveći mjesec Triton. Omjer je najbliži jedinici upravo za Zemljin mjesec i iznosi u prosjeku 0.98, a vrlo blizu je

i Saturnov mjesec Pandora, s prosjekom omjera 1.03 (uz pretpostavku da se pomrčina može promatrati sa Saturnova ekvatora)!<sup>2</sup>

Iako je ovo razmatranje zanimljivo, ne odgovara na pitanje zašto se tijekom ovogodišnje djelomične pomrčine nije zamijetilo manje dnevno osvjetljenje no inače, iako je Mjesec prekrrio preko 50% površine Sunca? Odgovor ne treba tražiti samo u fizici izvora, već i u fizici detektora, u ovom slučaju ljudskog oka.

Ljudska osjetila prate zakon koji kaže da je taman osjetljiva razlika između dva stimulansa (zvuka, svjetlosna vala, pritiska, mase u ruci itd.) direktno proporcionalna veličini stimulansa. [2] Npr. ako netko može osjetiti razliku između 100 g i 105 g, što je 5% razlike, tad će moći osjetiti i razliku između 200 g i 210 g (isto 5%), ali ne i manje razlike. Iz ovog zakona proporcionalnosti može se izvesti i općenitiji zakon koji govori da je odnos između stimulusa i percepcije tog stimulusa logaritamski, a ne linearan. Vrlo je poznati primjer zvuk – nama se čini da je zvuk perilice (80 dB) nešto glasnjiji od zvuka TV-a (70 dB), koji je pak nešto glasnjiji od razgovora u restoranu (60 dB), dok je u stvarnosti zvuk perilice intenzitetom četiri puta veći od razgovora u restoranu. Identična se situacija dešava s percepcijom svjetlosti, iako se rjeđe spominje. Moglo bi se reći kako ljudska osjetila izglađuju velike varijacije u intenzitetu u male varijacije u percepciji.

Sad se već nazire razlog zašto su djelomične pomrčine Sunca slabo zamjetne. Kako je intenzitet svjetlosti koji dolazi sa Sunca vrlo velik, potreban je i velik pad u intenzitetu kako bi uopće uočili razliku u osvjetljenju. Precizan račun može pokazati kako se odnose percepcija osvjetljenja (vizualna magnituda,  $m_V$ ) i otkrivena površina Sunca ( $A$ ) u odnosu na prividnu udaljenost središta kružnica Sunca i Mjeseca podijeljenu s prividnim polumjerom Sunca  $\Delta$ . [3]



Kratak pogled na graf pokazuje da je uočeno osvjetljenje ( $m_V$ ) gotovo stalno od trenutka kad započinje pomrčina ( $\Delta = 2$ ) pa do trenutka kad je prekriveno 3/4 promjera Sunca ( $\Delta = 0.5$ ). Tad percepcija osvjetljenja počinje naglo padati i pomrčina postaje jasno zamjetna. U slučaju pomrčine 20. ožujka, u trenutku maksimalnog prekrivanja, Mjesec je prekrrio 58% površine Sunca, što odgovara  $\Delta = 0.66$ , tj. taman nedovoljno da se primijeti zamračenje dnevnog svjetla! U zaključku, da bi se primijetilo zamračenje, a time i pomrčina, Mjesec mora prekriti vrlo velik dio površine sunčeva diska (oko 90%), što je i razlog zašto u povijesti uglavnom nisu zabilježene djelomične pomrčine.

<sup>2</sup> Varijacije udaljenosti satelita od točke gledišta na planetu utječu na odstupanje od prosjeka omjera, isto kao i u slučaju Zemlje, opisano ranije.

br.	Ime satelita	Radijus (km)	Poluos putanje (km)	Radijus planeta (km)	Udaljenost (km)	Planet	Udaljenost do Sunca (km)	Veličina sunca (")	Veličina satelita (")	Omjer
1	S/2003 J 9	0,5	23388000	71492	23316508	Jupiter	778928508	0,1029800	0,0000025	0,000024
2	S/2011 J 2	0,5	23329000	71492	23257508	Jupiter	778928508	0,1029800	0,0000025	0,000024
3	S/2010 J 2	0,5	20307000	71492	20235508	Jupiter	778928508	0,1029800	0,0000028	0,000027
4	S/2011 J 1	0,5	20155000	71492	20083508	Jupiter	778928508	0,1029800	0,0000029	0,000028
...										
119	Calypso	9,5	294710	60268	234442	Saturn	1429939732	0,0560962	0,0046435	0,082777
120	Deimos	6,2	23460	3396	20064	Mars	227996604	0,3518173	0,0354101	0,100649
121	Helene	16	377420	60268	317152	Saturn	1429939732	0,0560962	0,0057810	0,103056
122	Telesto	12	294710	60268	234442	Saturn	1429939732	0,0560962	0,0058654	0,104560
123	Adrastea	9	129000	71492	57508	Jupiter	778928508	0,1029800	0,0179336	0,174146
124	Hyperion	135	1500880	60268	1440612	Saturn	1429939732	0,0560962	0,0107384	0,191428
125	Nereid	170	5513400	24764	5488636	Neptun	4499975236	0,0178255	0,0035493	0,199112
126	Mab	5	97736	25559	72177	Uran	2879974441	0,0278524	0,0079382	0,285011
127	Pan	13	133580	60268	73312	Saturn	1429939732	0,0560962	0,0203199	0,362233
128	Thebe	50	221900	71492	150408	Jupiter	778928508	0,1029800	0,0380936	0,369913
129	Atlas	15,3	137670	60268	77402	Saturn	1429939732	0,0560962	0,0226513	0,403793
130	Cupid	5	74392	25559	48833	Uran	2879974441	0,0278524	0,0117330	0,421257
131	Iapetus	735	3560840	60268	3500572	Saturn	1429939732	0,0560962	0,0240603	0,428912
132	Metis	23	128000	71492	56508	Jupiter	778928508	0,1029800	0,0466413	0,452916
133	Phobos	11,1	9380	3396	5984	Mars	227996604	0,3518173	0,2125604	0,604178
134	S/2004 N 1	9	105283	24764	80519	Neptun	4499975236	0,0178255	0,0128085	0,718549
135	Perdita	10	76417	25559	50858	Uran	2879974441	0,0278524	0,0225317	0,808968
136	Amalthea	85	181400	71492	109908	Jupiter	778928508	0,1029800	0,0886221	0,860576
137	Mjeseč	1737	384399	6378	378021	Zemlja	149591493	0,5362057	0,5265319	0,981959
138	Pandora	41	141720	60268	81452	Saturn	1429939732	0,0560962	0,0576813	1,028257
139	Prometheus	47	139380	60268	79112	Saturn	1429939732	0,0560962	0,0680782	1,213599
140	Epimetheus	60	151410	60268	91142	Saturn	1429939732	0,0560962	0,0754372	1,344783
141	Callisto	2408	1882700	71492	1811208	Jupiter	778928508	0,1029800	0,1523492	1,479405
142	Janus	90	151460	60268	91192	Saturn	1429939732	0,0560962	0,1130936	2,016067
...										
150	Rosalind	36	69900	25559	44341	Uran	2879974441	0,0278524	0,0930357	3,340314
151	Rhea	765	527070	60268	466802	Saturn	1429939732	0,0560962	0,1877933	3,347704
152	Cordelia	20	49800	25559	24241	Uran	2879974441	0,0278524	0,0945436	3,394452
153	Desdemona	32	62700	25559	37141	Uran	2879974441	0,0278524	0,0987300	3,544758
154	Dione	563	377420	60268	317152	Saturn	1429939732	0,0560962	0,2034193	3,626260
155	Titan	2575	1221870	60268	1161602	Saturn	1429939732	0,0560962	0,2540212	4,528317
156	Cressida	40	61800	25559	36241	Uran	2879974441	0,0278524	0,1264772	4,540982
157	Tethys	535	294670	60268	234402	Saturn	1429939732	0,0560962	0,2615426	4,662397
158	Juliet	47	64400	25559	38841	Uran	2879974441	0,0278524	0,1386627	4,978485
159	Puck	81	86000	25559	60441	Uran	2879974441	0,0278524	0,1535696	5,513698
160	Oberon	762	583500	25559	557941	Uran	2879974441	0,0278524	0,1565015	5,618964
161	Io	1818	421800	71492	350308	Jupiter	778928508	0,1029800	0,5946771	5,774684
162	Portia	68	66100	25559	40541	Uran	2879974441	0,0278524	0,1922055	6,900864
163	Titania	789	436300	25559	410741	Uran	2879974441	0,0278524	0,2201202	7,903099
164	Naiad	33	48227	24764	23463	Neptun	4499975236	0,0178255	0,1611693	9,041518
165	Miranda	236	129900	25559	104341	Uran	2879974441	0,0278524	0,2591833	9,305606
166	Umbriel	585	266000	25559	240441	Uran	2879974441	0,0278524	0,2788027	10,010011
167	Thalassa	41	50075	24764	25311	Neptun	4499975236	0,0178255	0,1856205	10,413222
168	Larissa	97	73548	24764	48784	Neptun	4499975236	0,0178255	0,2278479	12,782157
169	Ariel	579	190900	25559	165341	Uran	2879974441	0,0278524	0,4012767	14,407265
170	Proteus	210	117647	24764	92883	Neptun	4499975236	0,0178255	0,2590795	14,534236
171	Galatea	88	61953	24764	37189	Neptun	4499975236	0,0178255	0,2711552	15,211675
172	Despina	75	52526	24764	27762	Neptun	4499975236	0,0178255	0,3095703	17,366743
173	Triton	1353	354800	24764	330036	Neptun	4499975236	0,0178255	0,4697640	26,353533

## Literatura

- [1] PETER MAKOVETSKIY, *Smotri v koren!*, Nauka, Moskva, 1976.
- [2] H. E. ROSS AND D. J. MURRAY, *E. H. Weber on the tactile senses*, Erlbaum (UK) Taylor & Francis, 1996.
- [3] WALTER OBERSCHELP et al., *Visualisation of eclipses and planetary conjunction events*, The Visual Computer 17: 310–317, 2001.