

* все углы $\ll 1$ радиана $\Rightarrow$ можно использовать приближ. $\sin \alpha \approx \alpha$ и $\cos \alpha \approx 1$

1) Сначала я измерил линейный размер Луны на фотографии:

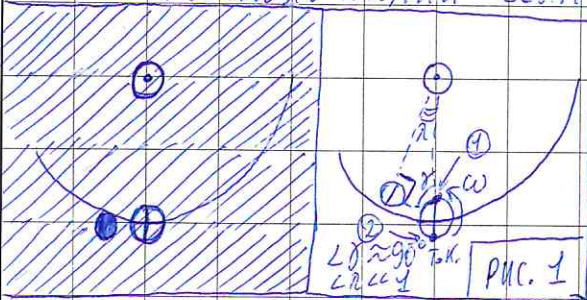
~~Сначала~~ Я провёл 2 параллельные хорды в видимой части Луны, а затем провёл прямую через центры хорд. После этого я сделал так ещё раз и нашёл центр Луны; провёл через центр прямую и получил, что линейное расстояние от центра Луны до ее края на "горизонтальном радиусе" на фотографии $\approx 2,5$ см. Диаметр диска Луны (у.м.) равен $\approx 0,5^\circ$ и $\Rightarrow$ у.м. радиусе $= 0,25^\circ \Rightarrow$ На фотографии 1 см эквивалентен $0,1^\circ$.

* Важно измерить расстояние именно по горизонтали, т.к. Луна находится около горизонта ($67,7$ см $\Leftrightarrow 0,77^\circ$ от него) и рефракция "сжимает" видимый диск Луны по вертикали (т.к. чем ближе к горизонту тем больше рефракция).

У горизонта рефракция $\approx 35'$. На фотографии Луна в $0,77^\circ \approx 46'$ от горизонта. Если вычесть рефракцию, можно получить высоту Луны $= 11'$ над горизонтом. Понижение горизонта также добавляет несколько минут к высоте Луны. Тогда ^{реальная} высота Луны над мат. горизонтом $\approx 9' \approx 0,15^\circ$, что $\approx 0^\circ$.

Фаза Луны на фотографии $\approx 0,5$ (это не затмение, т.к. если провести линию соедин. края терминатора, она пройдет через центр Луны ).

Исходя из этого, ~~мы~~ можно сказать о таком расположении Солнца, Луны и Земли (см. рис. 1) ОТНОСИТЕЛЬНО ДРУГ ДРУГА.



$$h_r = 90 - 14 - 81$$

$$h_l = 14 + 81 - 90$$

Измерив размер северного Оленя на фотографии, я получил 7,5 см, что соответствует $0,75^\circ = 45' = 2700''$

$$r = 206265 \cdot \frac{R_{\text{объекта}}}{R_{\text{до объекта}}}$$

↑
угл. размер
объекта

$$R \approx 2,5 \text{ м} \quad \rho = 2700'' \Rightarrow r = \frac{206265 R}{\rho} = \frac{206265 \cdot 2,5}{2700} \approx 48 \text{ м}$$

То есть фотограф находился в 48 м от оленя.

Вся фотография имеет размер $17,2 \times 14,4 \text{ см}$, что эквивалентно $1,72^\circ \times 1,44^\circ$.

Склонение Луны может меняться от $-i$ до i $i \approx \pm 29^\circ$ от -29° до $+29^\circ$.

Из сферической тригонометрии, $\cos t = -\tan \varphi \cdot \tan \delta$. Олень северный. Берём крайний случай δ (когда $\delta = -29^\circ$ или $+29^\circ$)

В таком случае $t \approx \pm 90^\circ$. То есть заходит и восходит Луна $\approx$ на Западе и Востоке. Если бы Луна восходила, это была бы полночь (см. рис. 1)

(случай ①), если бы Луна заходила, то это была бы полночь (случай ②, см. рис. 1). Полночь это не н.д. т.к. на фотографии освещена $\Rightarrow$ это полночь (время $\approx 12:00$)

Время 12:00 $\Rightarrow$ Солнце над. в верхней кульминации $\Rightarrow h_{\odot} = 90 - |\varphi - \delta_{\odot}|$. Широты северные, а Солнце над горизонтом $\Rightarrow$ момент фотосъёмки - полярный день; через ≈ 7 дней будет полнолуние, а ещё через ≈ 14 дней - новолуние. Также можно заметить, что тени от объектов достаточно длинные, что говорит о небольшой высоте Солнца, что, в свою очередь, говорит о том, что склонение Солнца ≈ 0 и что фото было сделано в пределах нескольких недель $\approx$ около дней равноденствия.

Снята это фотография могла быть в

* $\lambda > 0 \Rightarrow$ вост. деп.
 $\lambda < 0 \Rightarrow$ зап. деп.
 φ и λ в $[\circ]$ —

Гренландия ($\lambda \approx -40$ $\varphi \approx 70$); Исландия, Норвегия, Финляндия ($\lambda \approx 20$ $\varphi \approx 70$);
 юг России (λ от ≈ 40 до ≈ 160 $\varphi \approx 70$), США-Аляска ($\lambda \approx -140$ $\varphi \approx 70$), Канаде ($\lambda \approx -70$ $\varphi \approx 70$), а также на
 Северном полюсе и его пределах ($\varphi \approx 85^\circ$)

Обычно, когда фотографы делают такие снимки, лежа на земле, сгибавшись, чтобы не напугать животного. ~~Таким~~ линейное расстояние от отражения Солнца в воде животного (это больше, т.к. животное в диной природе и других источников света, виденных днем там нет (а Луна уже в калдре)) до уровня воды 6,5 см на фото, что экв. $0,65 \text{ см} \approx 40^\circ$. Отражение Солнца в воде животного находится $\approx$ посередине по

Вертикали $\Rightarrow$ сферичность не искажит отражение
в конкретно данном месте $\Rightarrow$ схематично это
будет выглядеть так (см. рис. 2). То есть сферичность
как-то искажит направление (см. вид сверху), но не искажит вид

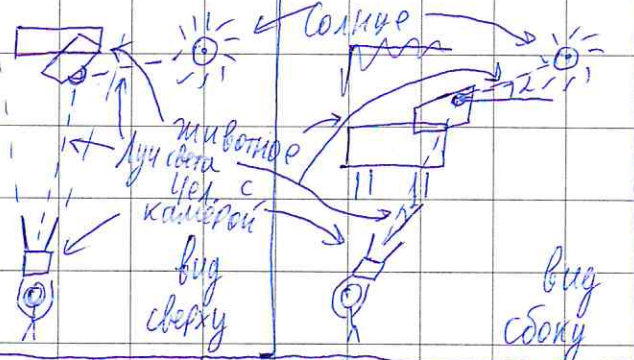
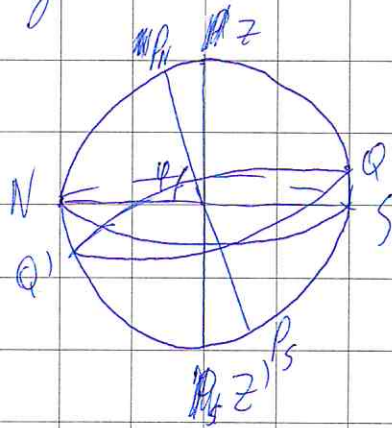


Рис. 2

сбоку (т.к. луч падает
именно в центр глаза
животного). То есть
высота ^{центра} (линия над гори-
зонтом равна 40°), а

если не учитывать сферичность (ден. $\approx 35^\circ$),
то получится, что Солнце $\approx$ на горизонте. Получается,
что и Солнце (находящ. на экв.) и Луна (находящ. на
н.а. орбите с $i \approx 5^\circ$ к экв.) на горизонте, причем между
Луной и Солнцем $\approx 90^\circ$. $h_{\odot} \approx 0 \Rightarrow |\varphi - \delta| \approx 90^\circ$; ~~и т.д.~~
~~и т.д.~~ $\varphi > 0 \Rightarrow \varphi > \delta \Rightarrow \delta = 90 - \varphi$



Д 01-078

стр. 5 43 5



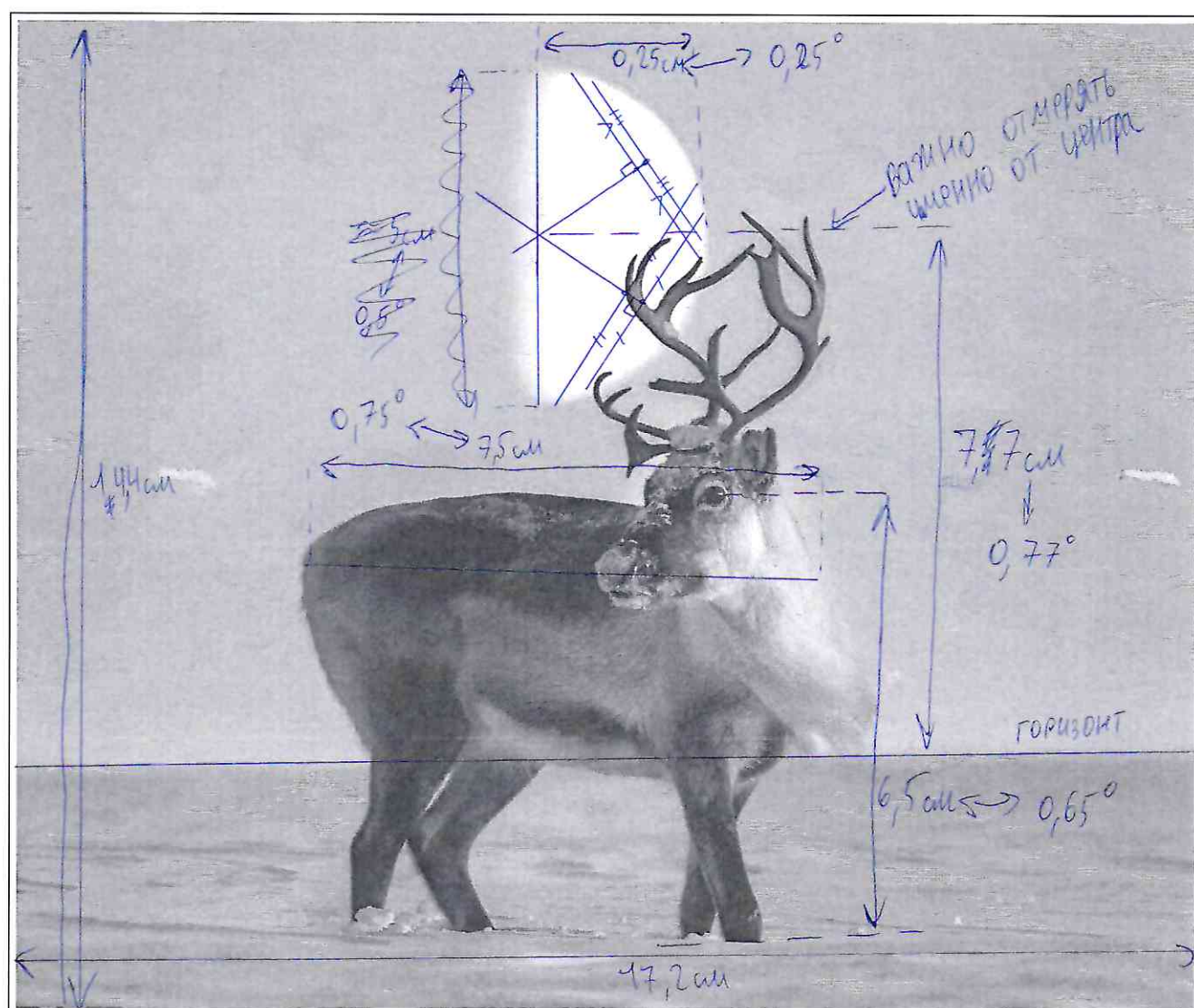
**XXXII Санкт-Петербургская
Астрономическая олимпиада**
практический тур

2025

**2
марта**

9 класс

Вам дана фотография северного оленя, сделанная в его естественной среде обитания и при естественном освещении. Прямо над оленем — Луна. Определите для этой фотографии возможные географические координаты места, где она была снята, а также возможные даты и примерное местное время съемки.



Решения задач и результаты олимпиады будут размещены на сайте
<http://school.astro.spbu.ru>