

Проблеми при измерванията с гномон

Пенчо Маркишки

Гномонът (от гръцки γνῶμων – указател) е дъвен астрономичен уред, за който може да се каже, че идва от самото начало на астрономията, макар че в усъвършенствана форма се използва и днес. Един модифициран гномон достига и Луната чрез полета на Apollo 17. „Устройството“ му принципно е просто – отвесен прът на хоризонтална площадка, по чиято сянка се измерва височината и посоката на Слънцето. Използван е както в Античността, така и в Средновековието. В тази статия ще обърнем внимание на един проблем при наблюдения, извършвани с гномон, особено ако в ролята на такъв се използва по-висок стълб.

Чрез измервания на сянката на гномон могат да се решат интересни задачи в астрономията, като отчитане на ъгъла на слънчевото греене, определяне на географската ширина на наблюдателя, на продължителността на тропичната година или най-малкото – можем да си направим слънчев часовник. Такива измервания са правени още от Талес Милетски, Анаксимандър и други антични учени. Счита се, че Ератостен (III в. пр. Хр.) е използвал висок стълб, за да изчисли меридианната обиколка на Земята, чрез отчитане на дължината на неговата сянка.

Ако решим да проведем реални наблюдения с гномон, бързо ще стигнем до въпроса с каква максимална точност можем да отчетем дължината на сянката му, а оттам – да пресметнем височината на Слънцето над хоризонта. Ако

използваме по-висок гномон – например стълб, висок няколко метра или няколко десетки метра, ще забележим, че краят (върхът) на неговата сянка няма резки граници, а завършва „размит“ в полусянка. Причината за това е, че Слънцето не е точков световизточник, а има ъглов диаметър около 0.5° . Това означава, че ъгловата ширина на полусянката е също половин градус и можем съвсем лесно да забележим това. Ако се огледаме в градския пейзаж, бързо ще открием различни стълбове – на електропреносната мрежа, антенни, тролейбусни или други, които хвърлят сенките си върху асфалта или тротоарите. Нужно е само да се загледаме колко по-контрастни са сенките от ниските предмети, в сравнение със сянката на висок няколко метра стълб. Същият ефект можем да забележим и ако сравним контрастността

на сенките, хвърляни от високите и от по-ниските клони на дърветата.

В много случаи можем да направим достатъчно точни измервания с гномон висок около 1 м. – с учебна цел в училищни занятия или за да конструираме слънчев часовник на обществено място. Но логиката ни подсказва, че би следвало да можем да направим далеч по-прецизно измерване на височината на Слънцето в даден момент, ако използваме много висок гномон. При реален експеримент с висок стълб обаче се оказва, че силно размитият край на неговата сянка ще ни озадачи, когато трябва да измерим нейната дължина. Как тогава да се справим по-добре и как са се справяли в този случай в древността? Би ли могло да повишим точността на измерването, като приложим груб метод за отчитане на дължината на сянката? Едно решение, за което вероятно ще се досетим, е вместо да измерваме сянката по самата земна повърхност, да намерим точка, от която при височината на своя ръст, наблюдателят ще вижда върха на гномона на фона на слънчевия диск, при това – достигащ до центъра на последния. При работа с гномон, висок поне няколко метра, това не е проблем. Тогава е нужно от височината h_1 на гномона да извадим височината h_2 на гледната точка на наблюдателя (или височината на статива на камерата) и така ще получим коригирана височина на гномона. Тази височина, заедно с коригираната дължина на сянката l_2 можем след това да използваме в по-нататъшните си изчисления.

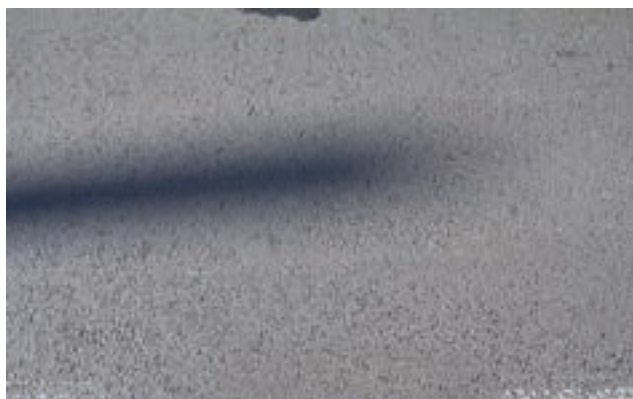
На практика обаче трудно можем да реализираме такова наблюдение визуално, тъй като от снимката въясно се вижда, че наблюдателят би бил заслепен, гледайки срещу Слънцето и няма да бъде в състояние да определи търсена-

та позиция. В наше време е най-лесно да реализираме идеята с фотоапарат, монтиран на статив, като с много кратки експозиции при затворена диафрагма на фотообектива заснемаме върха на гномона на фона на слънчевия диск. Задачата е чрез леки премествания на фотоапарата след всеки заснет кадър, да намерим тази негова позиция, от която върхът на гномона видимост ще достига центъра на слънчевия диск.

Но как би се справил древният наблюдател? Дали в Античността е съществувало средство, позволяващо да се наблюдава безопасно слънчевото изображение и едновременно с това да бъде



Стълб висок 10 м от тролейната електрическа мрежа, чиято сянка изглежда доста по-размита от сенките на ниските предмети (вж стр. 86)



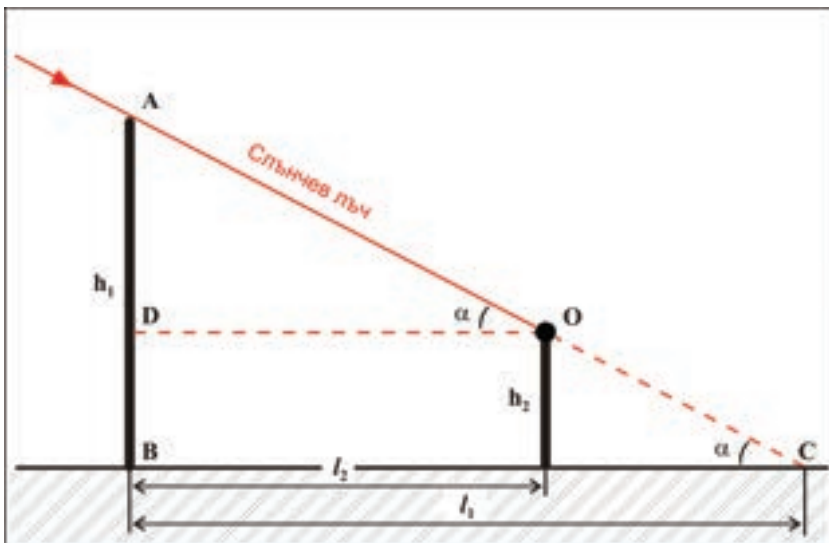
Краят на сянката на 10-метровия стълб от стр. 85. При височина на Слънцето над хоризонта 17.5° , колкото е била в момента на заснемането на кадъра, дължината на сянката е била 31.7 м. Ясно се вижда, че краят (върхът) на сянката е силно размит поради видимия диаметър на Слънцето от 0.5° . Ако имаме задача да отбележим върху асфалта къде точно е краят на сянката, ще бъдем озадачени. Тогава ще трябва да поставим отметка някъде по средата на полусянката



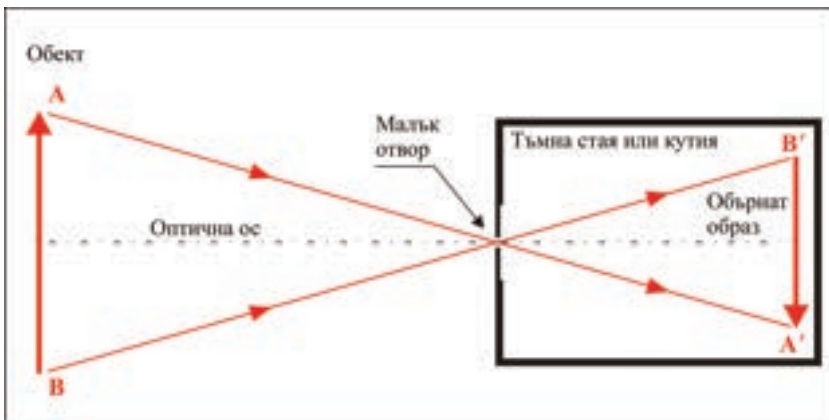
Една обичайна и дори тривиална картина, която виждаме често – сенки от клоните на дървета, хвърляни върху асфалта на улиците, по тротоарите или върху алеите в парковете. Когато Слънцето е високо в небето – например около обяд през лятото, можем да забележим, че сенките от листата на по-високите клони са размити (дясната половина на снимката), докато тези от листата на ниските клони са по-контрастни (вляво). Това се дължи на ъгловия диаметър на слънчевия диск от близо 0.5° и от различните разстояния между клоните и земята. Често преминалата през пролуките между листата светлина изобразява по земната повърхност светли овални петна, които всъщност са несъвършени образи на слънчевия диск – ефект, познат като „камера обскура“

преносимо? Тук можем да се досетим за първообраза на съвременния фотоапарат – т.нар. „камера обскура“ (от латински: „тъмна стая“). Има исторически сведения, че тя е позната като явление още в древността.

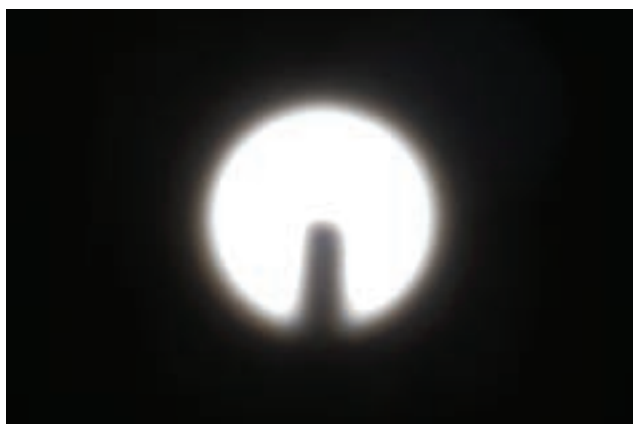
Поведението на светлината, преминала през малък отвор, е било описано в т. нар. „Диалектически глави“ от китайските текстове на учителя Мо Дзин (V в. пр. Хр.), също – от Аристотел и Евклид (IV в. пр. Хр.), от Ибн ал-Хайтам (965 – 1039) и др. Тъмна стая с отвор в стената или в тавана е използвана в миналото за удобно и безопасно наблюдение на слънчеви затъмнения. През средните векове са били конструирани преносими варианти на камера обскура – т.нар. стенопи или стенопични камери, използвани от художниците за точно скициране на пейзажи, както и при получаването на първите фотографски изображения. Обаче проследявайки историята на фотоапарата, изглежда, че няма сведения преносима камера обскура да е била използвана в Античността, въпреки познатия тогава неин принцип. Затова не можем да сме уверени, че древните астрономи са използвали подобно устройство, за да подобрят точността на своите измервания. Налице е обаче едно условие, което отменя необходимостта ка-



Гномон с височина h_1 хвърля сянка с дължина l_1 според височината на Слънцето в момента – ъгъл α . Фотоапарат или камера обскура се намира в т. О на статив с височина h_2 и на разстояние l_2 зад гномона. Камерата вижда върхът А на гномона в центъра на слънчевия диск. Тъй като двата правоъгълни триъгълника ABC и ADO са подобни, то за камерата в т. О върхът на гномона и Слънцето ще се намират също на височина α . До същия извод достигаем и като разгледаме отношенията $h_1/l_1 = (h_1 - h_2)/l_2 = \tan \alpha$



Принцип на действие на камера обскура: Образът $A'B'$ на силно осветения (или светец) обект AB се проектира с обръщане върху задната стена на камерата. Ролята на обектив се изпълнява от малък отвор, с диаметър между 0.5 и 5 mm – според размерите на камерата. Колкото отворът е по-малък, толкова образът е по-контрастен, но и по-слабо осветен. За да може образът да се наблюдава удобно отвън, задната стена на камерата може да бъде заменена с матово стъкло или с полупрозрачна хартия



Върх на висок и отдалечен стълб, видим на фона на слънчевия диск – снимка получена с фотоапарат, пригоден да работи като камера обскура (pinhole камера). Видимият диаметър на слънчевия диск е около 0.5° , но чрез леки премествания на камерата можем да намерим тази нейна позиция, от която върхът на гномона се вижда в центъра на слънчевия диск. Последният се изобразява с достатъчно рязък контур, което ни позволява да направим по-прецизно измерване на височината на Слънцето – с точност значително по-голяма от $\pm 0.25^\circ$



Слънчево изображение проектирано върху пода в катедралата Санта Мария дел Фиоре в деня на лятното слънцестоене през 2012 г. За целта в купола на катедралата е оставен неголям отвор (pinhole гномон). Снимка: Wikipedia

мерата да е непременно във вид на добре конструирана затворена кутия и това остава поне малка вероятност обсъжданият метод наистина да е бил прилаган: тъй като Слънцето е много ярък обект, би могла да се използва „отворена“ камера обскура – проста конструкция от тънка непрозрачна плоскост с пробит в нея малък отвор, поставен в т. О. Тогава образът на слънчевия диск, заедно със силуета на върха на гномона в неговите очертания, може да се наблюдава върху каквато и да е плоска повърхност, отдалечена по-назад, в ролята на екран. Използвайки принципа на „камера обскура“ имаме предимството, че получаваме върху екрана слънчево изображение с достатъчно рязък контур, което ни позволява уверено да определим неговия център, както и позицията на върха на гномона на неговия фон.

Съществуват сведения, че векове преди началото на новата ера са били използвани гномони с отвори (pinhole gnomons). Ако пропуснем слънчева светлина през неголям отвор, пробит в непрозрачна плоскост и ако на няколко десетки метра след отвора поставим екран, то проектираното върху екрана слънчево изображение ще бъде със сравнително голям диаметър. Например при разстояние между отвора и екрана 30 м, слънчевият образ

ще бъде с диаметър 26 см. Това позволява по-точни измервания, отколкото по сянката на висок стълб. Точността би била сходна с тази при използването на описания по-горе метод. Недостатък при този начин на работа е нуждата от дълго или високо десетки метри тъмно помещение, за да не попада странична светлина върху екрана (или трябва по друг начин да предпазваме екрана от странично засветвяване). Едно такова съоръжение е било конструирано през 1475 г. от италианския астроном и математик Паоло Дал Тосканели (Paolo dal Pozzo Toscanelli 1397 – 1482). Той

монтирал бронзова плоча с кръгъл отвор с диаметър 4 см в купола на катедралата Санта Мария дел Фиоре във Флоренция, на височина 90 м над нейния под. Подобно на „обектива“ на камера обскура, този отвор проектира върху пода слънчево изображение с диаметър близо 80 см. Това позволява чрез нанесени върху настилката деления да се отчита с добра точност времето около обяд, в продължение на 35 дни преди и след датата на лятното слънцестоене. Възможно е също с нелоша точност да се определи и самата дата на слънцестоенето. ■

Изисквания към авторите на сп. „Природа“

Сп. „Природа“ е научнопопулярно списание, предназначено за широка читателска аудитория: специалисти от различни научни области, преподаватели във висши и общообразователни учебни заведения, студенти, ученици, любознателни читатели с разностранни интереси.

Характерът на списанието налага някои специфични изисквания към авторите: разглеждане на актуален и важен за науката проблем; достъпно изложение; понятен за широката публика език; избягване на чуждици в случаите, когато могат да се употребят съответните български думи; онагледяване на текста с илюстрации, таблици, фигури.

Обемът на статиите е 5–6 машинописни страници (стандартната машинописна страница е 30 реда, 60 знака на ред, като този обем не включва предлаганата илюстрация). Към статиите се прилагат кратки биографични данни за автора и негова снимка.

Кратките научни съобщения и любопитни факти се поместват в отделни рубрики, поради което е необходимо да се посочи научната област, към която се отнася съобщението.

Илюстрациите трябва да са годни за непосредствено полиграфическо възпроизвеждане.

За осъществяване на контакт с авторите е необходимо те да посочат на края на статията или съобщението трите си имена, телефон и имейл.

Ръкописите се представят на електронен носител или се изпращат по имейла.

Текстът трябва да е във формат .doc/.rtf за MS Office XP/97-2003 или .docx за MS Office за Win7.

Не се приемат за издаване или отпечатване произведения, в които илюстративният материал е вмъкнат в .doc/.docx/.rtf файл.

Снимките се предоставят на отделни файлове във формати .jpeg и .tif.