

Experiments

Учебен експеримент в природните науки

МЕТОД ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА СРЕДНОТО СЛЪНЧЕВО ВРЕМЕ С ЦИЛИНДРИЧЕН СЛЪНЧЕВ ЧАСОВНИК

Звездо Костов Христов

Русенски университет „Ангел Кънчев“

Резюме. Предложен е метод за измерване на средното слънчево време с цилиндричен слънчев часовник, с иновация използване на гномон – памет с числен регистър на добавката за средното слънчево време, която се изтегля от регистъра чрез подвижна непрозрачна, външна точка (върх на показалка) и нейната сянка.

Keywords: sundial, gnomon, equation of time, zone time, local time

Земята, подвижната част на небесния механизъм Земя - Слънце, въртейки се около оста си, отмерва равни интервали от време – денонощията – и обикаляйки около Слънцето, отмерва по-големия интервал от време – годината. Едновременно този механизъм е и движещата част на небесен часовник, който измерва отмерените от самия него интервали от време.

Астрономите измерват и денонощията, и годишния интервал от време спрямо звездите и затова те са истински и равномерни.

Небесният часовник е звездното небе - дневното, слънчевото небе е неговият циферблат, а Слънцето, е показалката - стрелката. Видимото му движение върху небето от изток на запад по окръжност е денонощието, а преместването на този път от юг на север и обратно – годината.

Особеностите в механиката на движението на Земята по орбитата превръщат отмерваните от нея еднакви интервали от време (звездното денонощие) в неравномерни интервали – истинското слънчево денонощие. Тази неравномерност се „скрива“ от обикновените слънчеви часовници, тъй като те го показват в дъгов ъгъл, мярка независеща от бързината, с която е изминат този път. За тях денонощието е 360° (дъгови), а 1 час от него е 15° (дъгови).

Часовниците, които сега използваме в личния и обществения си живот, измерват равномерно време, равно на средното слънчево време.¹⁾ Около датите: от 23 декември до 15 април и от 15 юни до 1 септември, истинското слънчево време изостава от средното слънчево време с от 0 до 14,3 min, а от 15 април до 15 юни и от 1 септември до 23 декември избързва с от 0 до 16,4 min. Разликата между средното и истинското слънчево време, е „уравнението на времето”(Whitman, 2007; Russel & Cohn, 2012), а за слънчевите часовници за средно слънчево време, това е „добавката” – аритметична сума, на която с истинското слънчево време дава средното слънчево време. Начинът, по който това математическо действие се осъществява от тях, определя особеността на конструкцията им.

Като се пропуснат хиляди години, то преди около две и половина хилядолетия древните астрономи изобретявали слънчеви часовници, състоящи се от гномон²⁾ и циферблат. Знае се например, че древногръцките прочути астрономи Евдокс Киндийски (IV в. пр. Хр.) и Аристарх Самоски (III в пр. Хр.), са изобретили слънчеви часовници с чашковидни, полусферични и хоризонтални циферблати с мрежа от линии, по които се определяло дневното време по месеци и дни.

В статията³⁾ се описват знанията и опита, натрупани през следващите векове по измерването на времето със слънчеви часовници. След като астрономите заменили вертикалния гномон с гномон, успореден на земната ос (насочена към северния небесен полюс), сянката се „успокоила” и заставала на едно и също място върху циферблата, за едно и също време на деня, през всичките месеци на годината.

Това състояние на сянката и появилите се през XIII в. механични часовници, които през XIV в. вече отмервали равни интервали от време, разкрили неравномерността на слънчевите денонощия. Графично тя се изобразявала със симетрична затворена крива – *аналема*⁴⁾ (analemma), спрямо правата линия на истинското слънчево време. Били създадени ръчни и джобни механични часовници, които показвали уравнението на времето, часовете на денонощието, връзката между тях, календарният ден и месеца.

В Лондон е бил приет стандарт за циферблат с аналема: полуокръжност, разделена на две части – едната част за сутринта, разграфена за часовете от 6 до 12, а другата, следобедната, е разграфена за часовете от 12 до 6. Вътре в тях има аналема, околоръст на която са отбелязани местата на месеците. Отдалечеността на линията на аналемата от оста на симетрията (истинското слънчево време), е пропорционално на времето за корекцията. От едната страна на аналемата знакът на корекцията е „+”, а от другата е „-”.

Слънчеви часовници са правени и използвани в личния и обществения живот на хората до XVII в. След това те се използват като любопитно украшения в паркове и градини, а понякога и върху сгради. Оказва се, че от съществуващите

сега и описаните в различни литературни източници, най-разпространени са хоризонталните слънчеви часовници (Rohr, 1996).

Възможността за приспособяване на част от тях да показват официалното време и за създаване на нови съвременни хоризонтални слънчеви часовници, е представена в скорошната статия на Austin (2001). Тази идея е подкрепена с въведените математически методи и използването на триразмерни схеми за проектиране на хоризонтални слънчеви часовници за средно и истинско слънчево време. В тях към правите часови линии на истинското слънчево време е прибавена аналемата, съответстваща по размер и форма на часа и месеците, което ги прави удобни и достатъчно точни според предназначението им.

В книгата - ръководство на универсален хоризонтален слънчев часовник⁵⁾ за географска ширина от 25 до 50 дъгови градуса и за географска дължина от 75 до 120 дъгови градуса чрез дъги и регулируем гномон се измерва истинското слънчево време, а за преминаване към официалното време на четири часови зони е използван самостоятелен график на уравнението на времето по месеци, със стъпка на добавката 4 min. При тези слънчеви часовници за средно слънчево време с хоризонтален циферблат той е с криви линии, а гномонът е с права линия.

Друг способ за събиране на истинското слънчево време с добавката, е използването на гномон с крива линия.

В съобщението на Martin Bernhardt⁶⁾ е показан слънчев часовник за средно слънчево време с гномон с крива линия, следваща годишния цикъл на Слънцето. Тъй като той е за двете полугодия, отделени от зимното и лятното слънцестоене, кинематично са еднакви, но добавките през тях са различни по стойност и знак, затова се налага да бъде сменяван два пъти през годината.

От Werner Ringer⁷⁾ е открит и пресметнат двоен симетричен прозрачен гномон, който така коригира уравнението на времето, че да показва автоматично официалното време точно (с малка грешка). Това е постигнато като на добавката се разглежда абсолютната ѝ стойност и с апроксимация става една функция - получава се симетрична аналема, която автоматично се събира с истинското слънчево време, без гномонът да бъде сменян.

За удобство и за по-добро изясняване на идеята за слънчев часовник с измерване на средното слънчево време, представям въображаем модел на видимия път на Слънцето по небесната сфера, който да го имитира сполучливо, с незначително отклонение от същността му. Според него видимият денонощен път на Слънцето е по една и съща мислена окръжност, с център върху земната ос, който се движи от юг на север и обратно. В течение на годината мислената окръжност очертава цилиндрична повърхност, вписана в небесната сфера. Равнината на небесния меридиан на географското място на слънчевия часовник пресича небесната сфера в

окръжност, част от която е с дължина $2\delta^{(8)}$ дъгови градуси, се допира в двата края на цилиндричната повърхност, пресича и нея по образуващата ѝ, която е и хордата на дъгата, пресича и равнината на мислената окръжност по нейния диаметър, в края на който се намира Земята и преминава през земната ос.

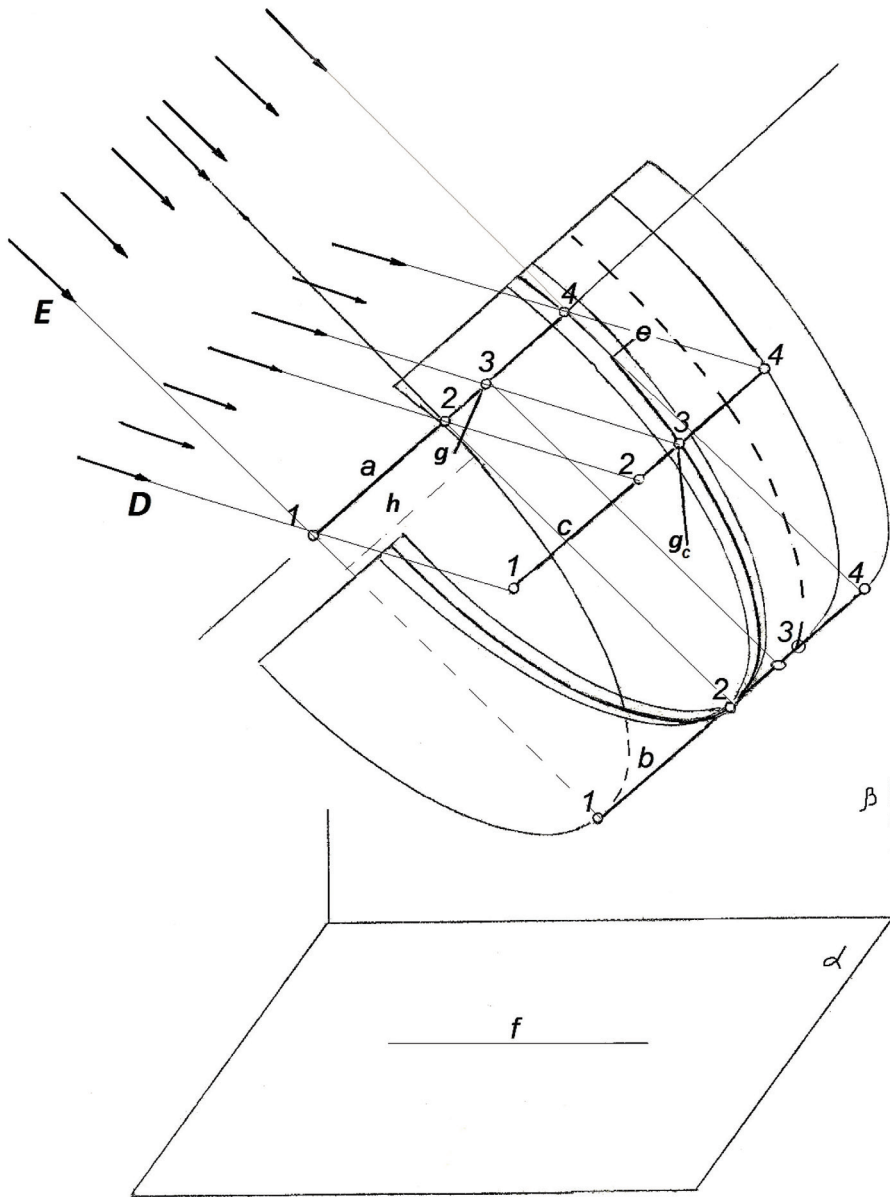
Този небесен модел, смален десетки милиарди пъти, е основа на модела за цилиндричен слънчев часовник с измерване на средното слънчево време.

Непрозрачна отсечка a (Фиг.1) с дължина a е успоредна на земната ос. През нея преминава оста на цилиндрична повърхност с радиус $r = a / \operatorname{tg} \delta$ и широчина, равна на дължината на отсечката a . Равнина, в която лежи отсечката a , успоредна на вертикалната равнина β , пресича цилиндричната повърхност по отсечката b , която е успоредна на земната ос. Друга равнина, перпендикулярна на отсечката a в точката 2_a , пресича цилиндричната повърхност по полуокръжността e .

Съставните елементи на модела на слънчевия часовник са аналогични на елементите на въображаемия модел на видимия годишен път на Слънцето по небесната сфера: отсечката a на хордата на дъгата 2δ ; цилиндричната повърхност – на цилиндричната повърхност, обгръщаща пътя на мислената окръжност на денонощията; радиусът r – на радиуса на мислената окръжност; полуокръжността e – на позицията на мислената окръжност през равноденствията; отсечката b – на земната ос; точката 2_b – на Земята, намираща се в центъра на мислената окръжност през равноденствията.

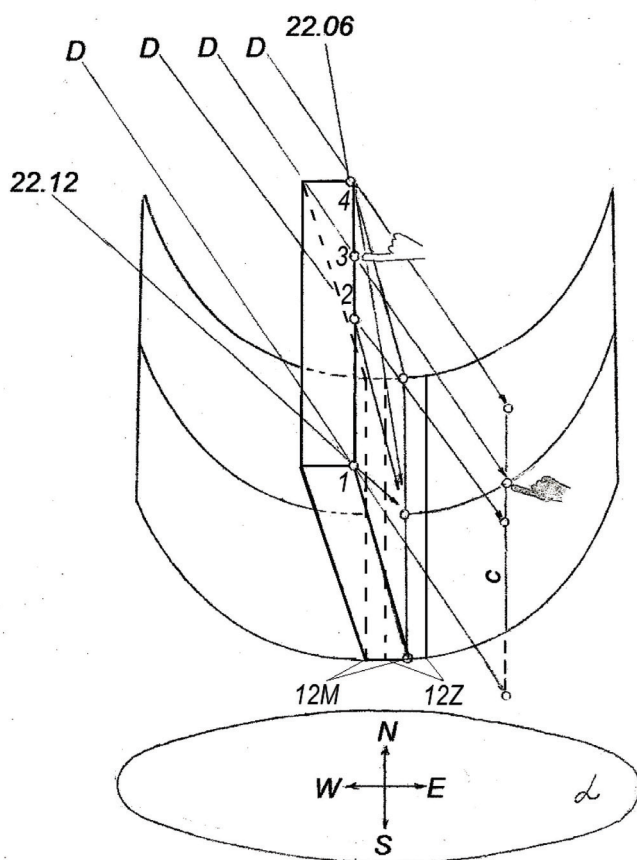
Основен фактор за подобие на истинския видим път на Слънцето по небесната сфера, неговият небесен модел и моделът на слънчевия часовник е ъгълът ϵ между слънчевите лъчи и равноденствената им равнина.

През равноденствията Слънцето е в пресечната точка на видимия му денонощен път с меридиана на географското място на часовника. Оттам сноп успоредни лъчи E пресича хордата на дъгата 2δ , равнината на мислената окръжност на небесния модел и пада перпендикулярно на отсечката a , а нейната сянка пада върху отсечката b , в точка $2_b - 12$ h местно истинско слънчево време. През всеки друг ден d , сноп от успоредни слънчеви лъчи D осветлява отсечката a под ъгъл ϵ . Позицията на сянката c има две посоки: радиалната, по радиуса на цилиндричната повърхност, показваща времето на денонощията и осовата, напречна на нея, показваща преместването ѝ по посока на земните полюси – показва редуването на денонощията. В началото на първото полугодие, сянката т. 1_c , а във второто полугодие, сянката т. 4_c , са върху линията e . На схемата, денят d е или след пролетното равноденствие, или – преди есенното равноденствие. Останалите други дни от годината също имат своя точка от отсечката a , сянката на която през тях, също да е върху линията e , в мястото където сянката я пресича. Именно тази закономерност я прави лесна за изчисляване при конструиране на такъв слънчев часовник и за



Фиг. 1. Същност на метода за определяне на средното слънчево време

a – гномон-непрозрачна отсечка; **b** – сянка на отсечката **a** през равноденствията (21.03 и 23.09); **c** – сянка на отсечката **a** в даден ден **d**; **g** – показалка; **g_c** – сянка на показалката; **e** – ос на скалата на часовете; **E** – поток от слънчеви лъчи, осветляващи отсечката **a** при равноденствие и **D** – през друг ден на годината; точките (т.) са за дните: 1 - 22 декември; 2 - 21 март и 23 септември; 3 – деня **d**; 4 - 22 юни; **f** – пладнената линия; **h** – регистър на уравнението на времето.

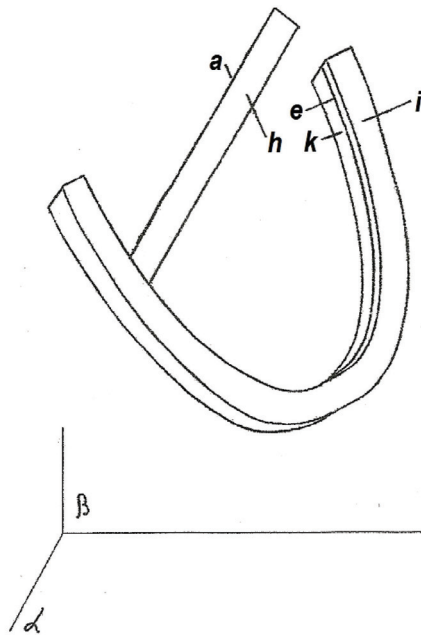


Фиг. 2. Идейна схема за монолитен слънчев часовник за определяне на средното слънчево време 12 М – 12 ч. местно истинско слънчево време; 12 Z – 12 ч. зонално (поясно) истинско слънчево време (*останалото е според Фиг. 1*)

откриването ѝ при определянето на средното слънчево време. За изчисляване на позицията ѝ спрямо т. 2а са необходими астрономически данни за ъгъла, под който идват слънчевите лъчи до Земята – зенитното отстояние или ъгловата височина на Слънцето над хоризонта, за географската широчина на слънчевия часовник. Мястото ѝ върху гномона (отсечката *a*) на осъществен такъв слънчев часовник се открива с помощта на външна непрозрачна точка (върх на показалката *g*), като се търси позицията, при която сянката ѝ пада върху часовата линия на скалата (линията *e*). Към гномона – памет, с означена позицията на всички дни през годината, е прибавен регистър с тяхната добавка за средното слънчево време. В него числено е отбелязана добавката на тези дни, за които стойността им е цяло число, със

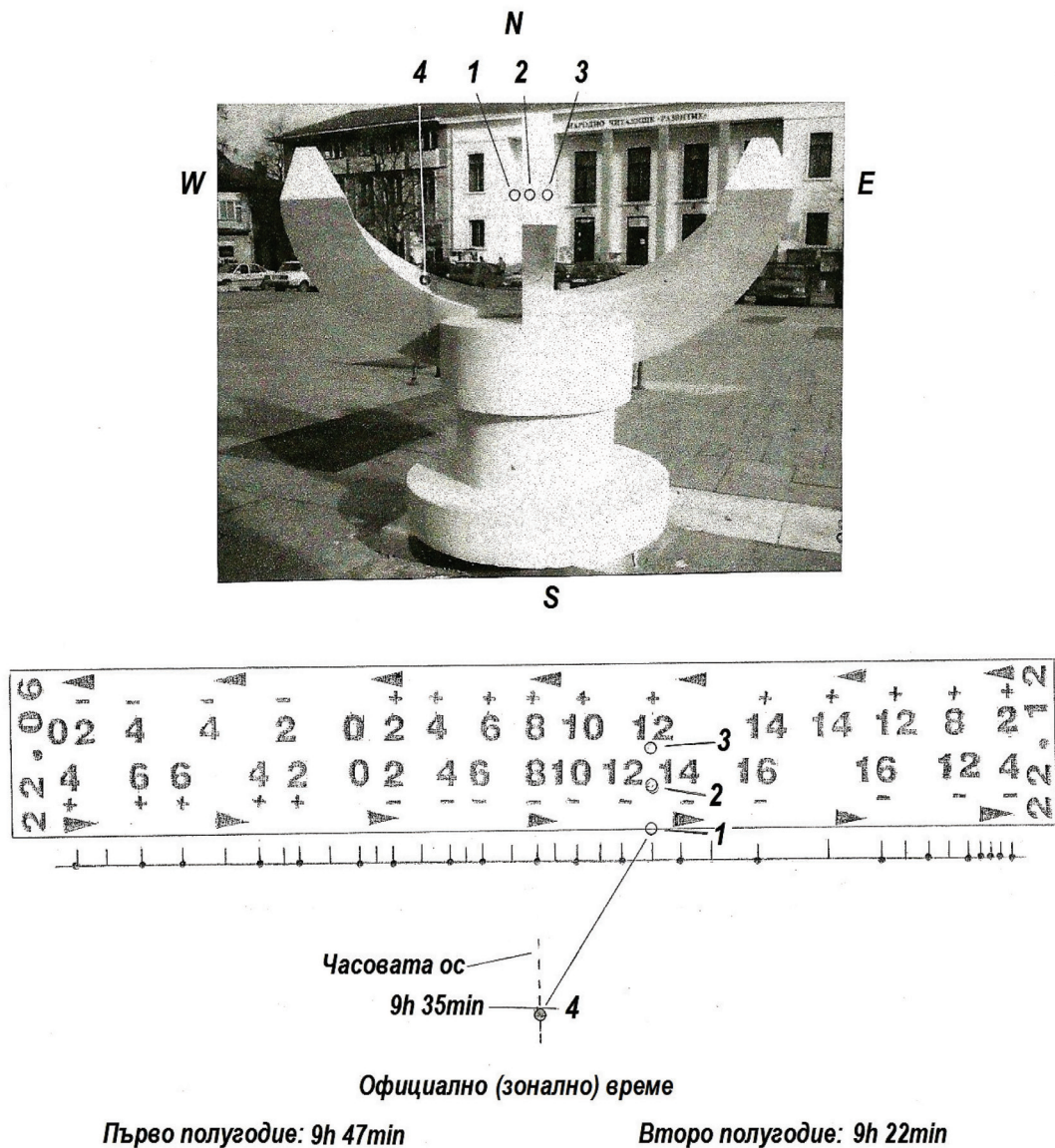
стъпка по дължината на гномона, също цяло число, а между тях са интерполирани стойности като деления в проста дроб.

На Фиг. 2 е показана идейна схема за монолитен слънчев часовник, състоящ се от две крила – западно за сутрешното и източно, за следобедното време, свързани с колона с два гномона /ръбовете на колоната/, с регистър за добавката, написан между тях (или върху страничните повърхности на колоната). На Фиг. 3 е показана схема на вариант на компактна конструкция на цилиндричен слънчев часовник с гномон – памет с числов регистър. А на Фиг. 4 е осъществена конструкция на слънчев часовник според идейната схема от Фиг. 2. Различава се от нея по това, че циферблатът ѝ е с конусна повърхност, което осигурява еднакво удобно гледане на часовата скала и от двете страни. Радиусът на часовата скала е 573 mm, а дължината на двата гномона – 500 mm. В регистъра добавката за дните, в които тя е цяло число е отбелязана с точка, със стъпка 2 min, а без точка – 1 min. Между тях добавката се определя чрез интерполация.



Фиг. 3. Идейна схема на компактна конструкция на слънчевия часовник

а – гномон – памет на уравнението на времето; **h** – регистър на уравнението на времето; **е** – скала на истинското слънчево време; **к** – циферблат с цилиндрична повърхност; **i** – циферблат с пръстеновидна повърхност; **f** – пладнена линия; **α** – хоризонтална равнина; **β** – вертикална равнина.



Фиг. 4. Определяне на официалното (зонално) време

1 – място на върха на показалката; 2 – добавка на времето през второто полугодие (-13 min); 3 – добавка на времето през първото полугодие (+12 min); 4 – сянка на върха на показалката

БЕЛЕЖКИ

1. Средното слънчево денонощие, е средното средната стойност на продължителността на истинските слънчеви денонощия през годината. Средното слънчево време на средния меридиан на дадена часова зона (пояс), е официалното време на цялата зона /15 дъгови градуса географска дължина.
2. Гномонът е древен астрономически уред във вид на отвесен стълб, по сянката на който върху хоризонтална повърхност астрономите са определяли различни астрономически величини.
3. <http://www.timezone.com/extras/200711101492>
4. Аналемата в по-тесен смисъл е графичното изобразяване на функцията.
5. <http://www.horussundials.com/Horus%20Sundial%20User%20Guide.pdf>
6. <http://www.praezisions-sonnenuhr.de/>
7. <http://riegler.home.cern.ch/riegler/sundial/tmpfiles/3Danalemma.pdf>
8. Ъгълът δ , е между равнината на еклиптиката и равнината на земната орбита.

REFERENCES:

- Austin, D. (2011). The shadow knows: how to measure time with a sundial. *Feature Column – Amer. Math. Soc.*, 08.
- Rohr, R.J. (1996). *Sundials: history, theory and practice*. New York: Dover.
- Russel, J. & Cohn, R. (2012). *Equation of time*. New York: VSD.
- Whitman, A.M. (2007). A simple expression for the equation of time. *J. North Amer. Sundial Soc.*, 14, 19-23.

METHOD OF MEASURING OF SUN TIME WITH A CYLINDRICAL SUNDIAL

Abstract. A method of measuring the average sun time with a cylindrical sundial is presented in this article. The innovation represents the use of a gnomon–memory system, which has a numerical register consisting of information about the time addition necessary for the average sun time to be determined. This information can be found on the register using a moving, opaque, output point (a top of a pointer) and its shadow.

✉ Dr. Zvezdo Kostov Hristov, Associate Professor
Angel Kanchev University of Ruse,
8, Studentska Str., 7017 Ruse, BULGARIA
E-Mail: bkostov@uni-ruse.bg