

ISSN 2406-2626

Број 8
НАСТАВА ФИЗИКЕ



**Зборник радова
са XXXVII Републичког семинара о настави физике**



Кладово 2019.

Милош Дина

НАСТАВА ФИЗИКЕ

Број 8, Мај 2019

ДРУШТВО ФИЗИЧАРА СРБИЈЕ



Часопис *Настава физике* је публикација Друштва физичара Србије. У часопису се публикују радови из методике наставе физике, историје и филозофије физике и прикази дисертација, монографских и уџбеничких публикација из области наставе физике. Намењен је наставницима физике основних и средњих школа, наставницима физике високих школа струковних студија, као и наставницима факултета који се баве истраживањима у области наставе физике.

Гостујуће уредништво
(Комисија за Семинаре ДФС-а)

Саша Ивковић, председник
Андријана Жекић
Милан Ковачевић
Маја Стојановић
Ненад Стевановић
Стеван Јокић
Мирјана Поповић – Божић
Бранка Радуловић
Слађана Николић
Предраг Савић
Братислав Обрадовић

Организациони одбор Семинара

Братислав Обрадовић, председник
Нора Тркља
Иван Крстић
Никола Цветановић
Јелена Марковић
Марија Марковић
Милош Гојковић
Ненад Грозданић
Владимир Марковић
Јована Милијановић

ВД Главог и одговорног уредника
Ивана Богдановић

Технички уредници

Саша Ивковић
Иван Крстић

Наслов:
„Настава физике“

Поднаслов:
„Зборник радова са XXXVII Републичког семинара о настави физике“

Издавач:
Друштво физичара Србије, Београд

Штампарија:
СЗП „Cicero“ Београд

ISSN: 2406-2626

Тираж: 300

CIP – Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

53

НАСТАВА физике: зборник радова са Републичког семинара о настави физике / уредник Ивана Богдановић - 2019, бр. 8 - Београд: Друштво физичара Србије, 2019 - (Београд: Cicero) - 25 cm
Два пута годишње
ISSN 2406-2626 = Настава физике
COBISS.SR-ID 214910476

Релативност истовремености

Милан С. Ковачевић, Љубица Кузмановић

Природно-математички факултет у Крагујевцу

Апстракт. Да би се обезбедила неопходна очигледност, при извођењу формула у теорији релативности користи се метод мисаоних експеримената са космичким бродовима. Тај метод није нов. Њим су се користили, да би нашли одговор на најсложенија питања, највећи физичари 20. века: А. Ајнштајн, Н. Бор, В. Хајзенберг и др. У овом раду је описан један мисаони експеримент којим се показује да догађаји који су истовремени у једном систему референције, не морају бити истовремени у неком другом систему референције.

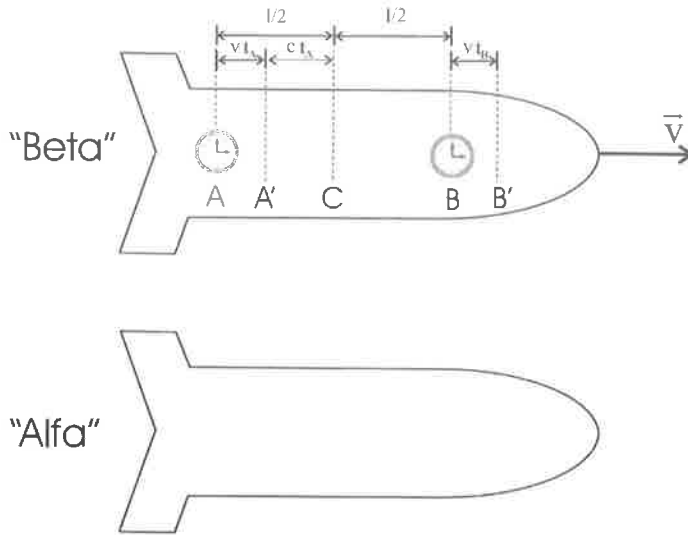
Кључне речи: парадокс часовника, мисаони експеримент.

СИНХРОНИЗАЦИЈА ЧАСОВНИКА

Из теорије релативности следи да догађаји који су истовремени у једном систему референције, не морају бити истовремени у другом. Како се установљава истовременост догађаја? То је лако утврдити ако се догађаји збивају у нашој близини. Али како ћемо утврдити истовременост догађаја који се дешавају на различитим местима, удаљеним једно од другог? Како ћемо знати да ли су исто време или не кренули возови са станица у Москви и Владивостоку? За то је потребно имати синхронизоване (међусобно усаглашене) часовнике. На свим станицама у Русији постоје часовници који раде по московском времену. Они су синхронизовани помоћу радио сигнала. Брзина радио таласа је, као што је познато, једнака брзини светлости. Дужина радио таласа налази се у интервалу од неколико центиметара до неколико километара. Дужина светлосних таласа је врло мала (мања од једног микрона). Како је брзина простирања радио таласа врло велика време простирања обично занемарујемо. Међутим при прецизним мерењима то морамо узимати у обзир. Растојање од Москве до Владивостока је приближно 9000 km, тако да ће кашњење сигнала износити $\Delta t = 0.03s$. Тачно у подне Москва емитује радио сигнал тачног времена. Часовници у Владивостоку су претходно подешени унапред за интервал Δt . Када сигнал стигне у Владивосток часовници ће бити пуштени у рад. На тај начин они ће бити синхронизовани. Синхронизација се може остварити и на следећи начин. Поставимо радио предајник тачно на средини између Москве и Владивостока и емитујмо сигнал тачног времена. Пошто је брзина простирања радио таласа иста у свим правцима, сигнал ће истовремено стићи и у Москву и у Владивосток и синхронизовати часовнике. У том случају време кашњења не морамо узимати у обзир.

ЈЕДАН МИСАОНИ ЕКСПЕРИМЕНТ

Покажимо да догађаји који су истовремени у једном систему референције, не морају бити истовремени у неком другом референтном систему. Размотримо следећи мисаони експеримент. Поред космичког брода “Алфа” који представља инерцијални систем пролази брзином \vec{v} брод “Бета” (слика 1). На крајевима тог брода у тачкама А и В постављени су часовници које треба синхронизовати.



СЛИКА 1. Мисаони експеримент са два космичка брода.

За синхронизацију ћемо користити светлосни талас. У тренутку када се центри бродова подударе, у центру брода “Бета” пали се сијалица С. Светлост допире до крајева брода “Бета” и специјални апарати пуштају у рад часовнике који су претходно подешени на нулу.

За посматрача у броду “Бета” светлост ће истовремено достићи крајеве брода и часовници ће бити синхронизовани. За космонаута “Алфа”, светлост ће пре стићи до репа брода (уколико се реп брода креће у сусрет светлосном снопу), него до врха брода пошто се врх брода удаљава од светлосног снопа. Дакле, за космонаута “Алфа” прво ће да буде пуштен у рад часовник А, а затим часовник В. Часовник В ће заостајати. Значи, истовременост просторно одвојених догађаја је релативна.

Израчунајмо разлику коју показују часовници А и В у систему “Алфа”. Нека је растојање између часовника у систему “Бета” једнако l_0 , тада је оно у систему алфа краће и износи $l = l_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}$. Ако је време простирања светлосног зрака од сијалице Ц до часовника А тачно t_A , тада ће тај зрак у систему “Алфа” прећи пут $CA' = ct_A$. Часовник А креће се у сусрет зраку и зато време пређе растојање $AA' = vt_A$. Очигледно је $vt_A + ct_A = l/2$, а одатле је $t_A = l/[2(c+v)]$. Нека је време простирања светлосног сигнала до часовника В тачно t_B . За то време часовник,

заједно са бродом, пређе пут $BB' = vt_B$. Светлосни зрак за то време пређе пут $CB' = ct_B$. Очигледно је $ct_B = l/2 + vt_B$, одакле је $t_b = l/[2(c-v)]$. Разлика у времену је

$$\Delta t = t_B - t_A = \frac{2vl}{2(c^2 - v^2)} = \frac{2vl_0}{2c^2(1 - v^2/c^2)} = \frac{vl_0/c^2}{1 - v^2/c^2}. \quad (1)$$

Дакле видимо: ако су у систему “Бета” часовници А и В били пуштени у рад истовремено, у систему “Алфа” часовник А је пуштен раније него часовник В за величину одређену формулом (1) тј. часовник В ће каснити за часовником А за интервал Δt . Закључујемо, два догађаја, истовремена у систему “Бета”, нису истовремени у систему “Алфа”. Истовременост је релативан појам. Као што се види из формуле (1) временски интервал Δt , између два догађаја, зависи од растојања између тачака у којима се догађаји збивају. При $l_0 = 0$ интервал $\Delta t = 0$ тј. догађаји су истовремени у систему “Бета” и дешавају се на истом месту у том систему, па ће бити истовремени и у систему “Алфа”.

Проучимо сада случај када се догађаји у тачкама А и В не дешавају истовремено. Нека се у тим тачкама упале две сијалице. Сијалица А се упали у тренутку t_A (по часовнику А), а сијалица В касније, у тренутку t_B (по часовнику В). Интервал времена између та два догађаја за космонаута “Бета” је $\Delta t_0 = t_B - t_A$.

Одредимо сада колико износи тај временски интервал за космонаута “Алфа”. Ако би се догађаји дешавали на истом месту у систему “Бета”, било би довољно узети само дилатацију времена, која је одређена формулом

$$\Delta t = \Delta t_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2}. \quad (2)$$

Ако би се догађаји дешавали на различитим местима, али истовремено, било би довољно користити формулу несинхронизованости часовника (1). У овом случају имамо и једно и друго, два догађаја нису истовремена и дешавају се на различитим местима. Следи да је временски интервал између паљења сијалица у систему “Алфа”

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \pm \frac{vl_0/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{\Delta t_0 \pm vl_0/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \quad (3)$$

Сијалица В се упалила после сијалице А, при чему је момент паљења одређен по часовнику В који је био пуштен у рад после часовника А. Следи да несинхронизованост часовника (за космонаута “Алфа”) повећава временски интервал између паљења. Значи у формули (3) треба узети знак +. Посматрајмо обрнут редослед догађаја. Нека се сијалица В упали пре сијалице А. Пошто тренутак паљења одређујемо по часовнику В, који је пуштен у рад касније, несинхронизација ће смањити временски интервал између ових догађаја. У формули (3) треба узети знак -. Добијамо, $(\Delta t_0 - vl_0/c^2)/\sqrt{1 - v^2/c^2}$. При довољно великој брзини v и великом растојању l_0 , може се десити да буде $vl_0/c^2 > \Delta t_0$. Тада ће Δt променити знак, тј. промениће се редослед догађаја. Ако се на броду “Бета”, сијалица В упалила пре сијалице А, онда ће се за космонаута “Алфа” пре упалити сијалица А.

Појаснимо у којим условима може доћи до промене редоследа догађаја. Пошто је

$$\Delta t_0 < v l_0 / c^2 \text{ и } \Delta t_0 < \frac{v l_0}{c} \text{ и } v < c; \text{ } v/c < 1, \text{ то је } \Delta t_0 < \frac{l_0}{c},$$

следи, да при прелазу из једног система референције у други, може да се измени редослед догађаја једино онда ако су испуњени следећи услови: интервал времена између догађаја је мањи од времена проласка светлосних сигнала, између тачака у којима се збивају догађаји. Јасно је да међу тим догађајима не може постојати узрочна повезаност, пошто чак ни најбржи сигнал (светлосни) не успе да пређе растојање l_0 за време Δt_0 .

Релативност истовремености доводи до низа парадокса. Један од њих је парадокс часовника (или парадокс близанаца). Његова суштина је у томе да космонаут који се врати са далеког космичког путовања изгледа млађе од свог брата близанца који је остао на Земљи. Овај парадокс се углавном разматра само с тачке гледишта посматрача на Земљи, пошто се Земља јавља као инерцијални систем, а брод – не, јер се он убрзава. Међутим можемо замислити путовање на коме се брод кретао великим делом равномерно и праволинијски, те се тада брод јавља као инерцијални систем (трајање неравномерног кретања је занемарљиво мало). У том случају се и космонаут такође може користити релацијама теорије релативности.

О ЗНАЧАЈУ МИСАОНОГ ЕКСПЕРИМЕНТА У ФИЗИЦИ

Човечанство је одвајкада било заинтересовано за мисаоне експерименте и парадоксе, њихове коцепте и тумачења. Мисаони експеримент прославио је Алберт Ајнштајн, који га је у научно истраживање увео као метод у постављању физичких теорија. Овај метод користи симулацију физичког процеса у мислима чија је сврха да се одређена теорија боље сагледа, да се надогради и/или провери. Неки закони, теорије и експерименти се са лакоћом могу растумачити, док су за разумевање других потребни сати и сати. Један од начина да им се приступи јесте и мисаони експеримент, који је сам по себи понекад и парадокс. Парадокс даје снажан подстицај за размишљање. Обично су код тешко појмљивих проблема постављене релативно једноставне ситуације које их описују, али се из њих изводе закључци који пркосе нашој интуицији и у супротности су са нашим очекивањима.

ЛИТЕРАТУРА

19. Ј. Мердер, Парадокс часовника, Мир, Москва 1974.
20. Г. Б. Аверјанов, Специјална теорија релативности, Виша школа, Минск 1978.
21. Б. Жижић, Курс опште физике, физичка механика, Научна књига, Београд 1979.